

Extracción y encapsulación de compuestos fenólicos provenientes de cascarilla de arroz

Deisy Sánchez-Molina¹, Mayra Vargas-Porras¹, Rodrigo Ortega-Toro², Yineth Piñeros-Castro^{1*}

¹ Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Carrera 4 # 22-61, Bogotá D.C., Colombia.

* Correo electrónico: yineth.pineros@utadeo.co

² Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de los Alimentos, Carrera 6 # 36-100, Cartagena de Indias D.T. y C., Colombia. Correo electrónico: rortegap1@unicartagena.edu.co.

Recibido para evaluación: 22 de febrero de 2018

Aceptado para publicación: 24 de septiembre de 2018

RESUMEN

En la actualidad, el aprovechamiento de los subproductos agroindustriales es de vital importancia. El objetivo del presente trabajo fue estudiar una alternativa de valorización de la cascarilla de arroz, mediante la extracción y la encapsulación de compuestos fenólicos provenientes de las cascarillas. Este proceso fue llevado a cabo en un reactor batch con agitación mecánica a 453,15 K y 1 MPa durante 1 h, se usó agua como solvente. Se evaluó la micro-encapsulación de los componentes del extracto mediante liofilización usando como material encapsulante maltodextrina en diferentes proporciones.

Los extractos acuosos mostraron un pH de 3,7, contenido de compuestos fenólicos de 8,2 mg equivalentes de ácido gálico/g de cascarilla, y una actividad antioxidante de 14,6 mg Eq.trolox/g de cascarilla. Mediante análisis de espectroscopía de infrarrojo se identificaron bandas representativas de grupos funcionales presentes en los compuestos fenólicos, reconocidos por su actividad antioxidante. La eficiencia de encapsulación fue de 99,8 % usando 14,3 % de maltodextrina, se obtuvieron cápsulas con 10,08 mg fenoles/g de encapsulado y un tamaño de partícula adecuado para la liberación y retención de los compuestos fenólicos de 63 μm . Posteriormente, se estudió la estructura semicristalina de las cápsulas mediante difracción de rayos X.

Como conclusión, estas microcápsulas antioxidantes pueden ser adecuadas para su utilización en la industria farmacéutica o de alimentos como componente de envases alimentarios.

Palabras clave: Subproducto, actividad antioxidante, compuestos fenólicos, liofilización, maltodextrina.

SUMMARY

Extraction and encapsulation of phenolic compounds from rice hus

Currently, the use of agro-industrial by-products is of vital importance. The aim of the present work was to study an alternative of valorisation of the rice husk, by extraction and encapsulation of phenolic compounds from the husks. This process was carried out in a batch reactor with mechanical stirring at 453.15 K and 1 MPa for 1 h, water was used as the solvent. Microencapsulation of the extract components was evaluated by lyophilisation using maltodextrin at different proportions as encapsulating material. The aqueous extracts showed a pH of 3.7, contained phenolic compounds of 8.2 mg gallic acid/g of husk, and an antioxidant activity of 14.6 mg Eq.trolox/g of husk. By infrared spectroscopy analysis, representative bands of functional groups present in the phenolic compounds, recognised for their antioxidant activity, were identified. The encapsulation efficiency was 99.8 % using 14.3 % maltodextrin; capsules were obtained with 10.08 mg phenols/g capsules and a particle size suitable for the release and retention of phenolic compounds of 63 μm . Subsequently, the semi-crystalline structure of the capsules was studied by X-ray diffraction. To conclude, these antioxidant microcapsules may be suitable for use in the pharmaceutical or food industry as a component of food packaging.

Key words: By-product, antioxidant activity, phenolic compounds, freeze-drying, maltodextrin.

INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los alimentos básicos en distintas culturas del mundo y hace parte relevante en la dieta de los colombianos. En Colombia, el arroz tiene un área de cultivo de 478.878 hectáreas de superficie de arroz Paddy seco, con una producción cercana a los dos millones de toneladas por semestre [1] mientras que a nivel global la producción de arroz en el mundo alcanza 638 millones de toneladas en el año [2]. De la totalidad de arroz producido se estima que un 20 % w/w corresponde a cascarilla de arroz [3].

La cascarilla de arroz es considerada como un material de bajo valor agregado, su principal inconveniente es la baja biodegradabilidad, por lo que se acumula en grandes cantidades. Uno de los usos comunes es su aprovechamiento como combustible, luego de la incineración son arrojados a fuentes de agua y suelo, lo que repercute negativamente en el medio ambiente [4]. La cascarilla es un material de carácter frágil, abrasivo, de densidad baja, peso específico de 125 kg/m^3 y poder calorífico de $3281,6 \text{ Kcal/kg}$ [5].

Respecto a sus características orgánicas, su composición puede variar de acuerdo con la región del mundo donde se cultiven. La cascarilla de arroz está compuesta por alrededor de 82 g de material orgánica/100 g de biomasa, alrededor de 40 % de celulosa, aproximadamente 19 % hemicelulosa y por cerca de 14 % de lignina. Adicionalmente se encuentran polisacáridos como xilosa, arabinosa y galactosa [6].

De otro lado, la cascarilla de arroz es una cubierta que protege al grano del potencial oxidante del medio exterior. Entre los componentes de la cascarilla, la lignina se destaca por su elevado contenido de estructuras fenólicas, las cuales pueden dar origen a compuestos fenólicos de alto valor agregado, ya que se ha demostrado que estas estructuras son captadoras de radicales libres [7]. Entre los componentes antioxidantes presentes en la cascarilla de arroz se destacan el ácido vainillínico y p-cumárico [8]. También se ha reportado que contiene compuestos antioxidantes como anisol, vainillina y siringaldehído [9]. Estas características convierten a la cascarilla de arroz en una fuente importante de antioxidantes naturales que puede ser aprovechada.

Dado que la mayoría de los compuestos antioxidantes fenólicos de la planta se encuentran en forma de unión covalente a un polímero insoluble, es necesario establecer un método de procesamiento eficaz para la liberación de estos componentes [8]. Algunas investigaciones han planteado procesos para el aprovechamiento de los compuestos activos de este material lignocelulósico, utilizando hidrólisis ácida y alcalina a diferentes temperaturas [2]; también se han evaluado diferentes solventes como acetona, etanol, y agua a diferentes temperaturas, encontrando las mayores actividades antioxidantes con agua [9].

Por otro lado, es necesario encapsular los antioxidantes para su protección de condiciones ambientales adversas como luz, oxígeno, humedad y temperatura, generando en el producto activo una vida útil más prolongada y facilitando su manipulación [10], para lo cual se usan agentes encapsulantes, que varían dependiendo de la finalidad del producto deseado así como la afinidad con el componente bioactivo. Estos materiales pueden ser puros o mezclas compuestas de diversas sustancias como azúcares, gomas, proteínas, polisacáridos, lípidos y polímeros. En diversos estudios se ha implementado la maltodextrina como material encapsulante dada su efectividad para la conservación de componentes antioxidantes [11, 12]. Entre los métodos de encapsulación se suele usar el secado por aspersión, coacervación, emulsión, liposomas, micro o nano-encapsulación y liofilización.

Esta última se utiliza en la conservación de moléculas sensibles a la temperatura o con alto contenido de aromas y ha sido efectivo en la encapsulación utilizando maltodextrina, ya que ofrece una adecuada protección de los componentes fenólicos durante el almacenamiento [10].

En este trabajo se estudió la encapsulación de los compuestos del extracto acuoso de cascarilla de arroz con maltodextrina mediante liofilización como estrategia de valorización de este material lignocelulósico, fuente de compuestos con actividad antioxidante.

METODOLOGÍA

Materiales

La cascarilla de arroz provenía del Espinal-Tolima, Colombia, la cual fue molida hasta un tamaño de $0,45 \mu\text{m}$ usando un molino de martillos. Se utilizó maltodextrina grado USP. Los reactivos Folin-Ciocalteu a 2N, 2,2-difenil-1-picrilhidracilo, ácido gálico, trolox, hidróxido de potasio y carbonato de potasio fueron grado analítico de Sigma-Aldrich. La cascarilla de arroz antes y luego de la extracción fue caracterizada en cuanto a su contenido de cenizas, lignina y carbohidratos totales de acuerdo con la metodología de reportada por National Renewable Energy Laboratory [13].

Obtención y caracterización de extracto antioxidante. Se utilizaron 400 g de cascarilla de arroz por cada litro de agua en la extracción. La cascarilla se dejó en remojo durante 24 h a temperatura ambiente previo a la extracción, la cual se realizó en un reactor batch de acero inoxidable 316 de 2 L de capacidad, con agitación mecánica a 200 rpm, temperatura de 453,15 K y presión manométrica de 1 MPa, durante 1 h. Se separó por filtración el extracto, se determinó el volumen, pH, actividad antioxidante, contenido de polifenoles totales y se identificaron los grupos funcionales de compuestos fenólicos por FTIR. La capacidad antioxidante de los diferentes extraíbles se analizó mediante el método propuesto por Kim *et al.* [14] en el que se analiza la reducción del radical libre del componente 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). Para el contenido de fenoles totales presentes en los extraíbles se empleó el método de Folin-Ciocalteu [15]. Finalmente, con el fin de determinar los grupos funcionales presentes en el extracto seco se realizó un análisis de espectrometría utilizando Infra Rojo con Transformada de Fourier (FTIR), en espectrofotómetro Agilent Technologies (Cary 630 FTIR, USA).

Encapsulación del extracto antioxidante. Para realizar el microencapsulado mediante liofilización se utilizó como agente encapsulante maltodextrina comercial grado USP. Para esto se prepararon soluciones con distintas concentraciones de maltodextrina 0,25 (E1), 0,15 (E2), 0,125 (E3) y 0,1 (E4) g/cm^3 , las cuales fueron adicionadas en un volumen de 10 cm^3 a 20 cm^3 del extracto. Para la microencapsulación se utilizó el método

descrito por Deladino *et al.* [11]. Las mezclas se calentaron a 323,15 K con agitación constante de 100 rpm durante 1 h, hasta obtener una mezcla homogénea. Luego se enfriaron a temperatura ambiente y posteriormente se liofilizaron. La liofilización se llevó a cabo en un equipo a escala del laboratorio a 223,15 K y 0,2 MPa.

Caracterización fisicoquímica de las microcápsulas. La determinación del tamaño de partícula, se realizó por un tamizado en tamiz portable Sieve Shaker Moler (Ro-Tap, WS Tyler, Inc., Mentor, Ohio) haciendo un análisis diferencial. Se midió la densidad aparente según Kaderides *et al.* [16]. Finalmente, el porcentaje de humedad se midió por medio de método gravimétrico con una balanza de humedad Mettler Toledo HB43-S Halogen Classic Plus a 105° C. Mediante difracción de rayos X se determinó la estructura semicristalina del material empleando un difractómetro automático Shimadzu XRD-6000, las muestras fueron analizadas a temperatura ambiente con una humedad relativa de 53 %, entre 2θ : 5°-80°, usando una radiación de $K\alpha$ -Cu, con una longitud de onda de 1542 Å, 40 Kv, 40 mA y un tamaño de paso de 0,05°.

El contenido de fenoles totales presentes en el material encapsulado se determinó mediante Folin-Ciocalteu [15]. Se disolvió una cantidad conocida de encapsulado en 2 cm³ de agua con el fin de solubilizar el material encapsulante correspondiente a la maltodextrina. De igual forma se realizó extracción con etanol 96 % y se procedió a hacer la determinación del contenido de fenoles totales. Con los resultados obtenidos se determinó el porcentaje de liberación y la eficiencia de encapsulación teniendo en cuenta la relación entre el total de extracto en las microcápsulas (TE) y el total de extracto en la superficie del encapsulado (SUE), según Davidov-Pardo *et al.* [17].

Análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron tratados mediante un análisis de varianza (Anova) usando el *software* Statgraphics Plus para Windows (Manugistics Corp., Rockville, MD). También se realizó el teste de Fisher de mínimas diferencias significativas (LSD) con un 95 % de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención y caracterización del extracto

En la tabla 1 se encuentran los datos de caracterización de la fracción sólida obtenida luego de la extracción realizada a 453,15 K y 1 MPa durante 1 h.

El material extraído presenta un porcentaje mayor de lignina que en el material sin tratar, debido a que la condición de la temperatura utilizada permite una mayor solubilización de la hemicelulosa permitiendo tener disponible los compuestos fenólicos característicos de la lignina en la cascarilla de arroz [18]. Así mismo se puede apreciar lo que otros autores afirman respecto a la composición de ceniza, dado que la cascarilla de

arroz contiene aproximadamente 10 % a 17 % de óxido de silicio [19], lo cual puede ser aprovechado como agente de refuerzo en la fabricación de materiales compuestos [20].

Tabla 1. Composición de la cascarilla de arroz antes y luego de la extracción acuosa.

Muestras	Cenizas (%)	Lignina (%)	Carbohidratos (%)
Cascarilla de arroz sin pretratar	20,27 ± 2,14 ^a	29,5 ± 0,5 ^a	50,3 ± 3,4 ^a
Fracción sólida luego de la extracción	19,9 ± 0,8 ^a	33,4 ± 2,6 ^b	46,6 ± 1,7 ^b

Letras superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$ %).

Con relación a la fase líquida se encontró un valor de pH ácido debido a la producción de ácido acético dado por los rompimientos de los grupos aceto presentes en los azúcares. En cuanto a los valores de actividad antioxidante y compuestos fenólicos, estos fueron similares a los obtenidos en estudios previos [18]. Este proceso trae como beneficio la no implementación de sustancias químicas contaminantes al medio ambiente, así como la generación de un proceso industrial más eficiente, dado que en este no se tendría que neutralizar la muestra para posteriores implementaciones en sectores alimenticios y cosméticos y se utiliza agua como solvente.

Al comparar los resultados con los reportados por Martins *et al.* [2], quienes obtuvieron extractos ricos en antioxidantes a partir de cascarilla de arroz, mediante métodos alcalinos y ácidos, se observa que los extractos de la presente investigación tienen mayor concentración de componentes fenólicos. Es posible inferir que la extracción con agua a 453,15 K y 1 MPa de presión permite el acceso a los compuestos antioxidantes, principalmente restos fenólicos que se solubilizan y que se derivan de la lignina [21].

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar de pH, fenoles totales y actividad antioxidante del extracto líquido.

Característica	Extracto líquido
pH	3,4 ± 0,2
Fenoles totales (mg equivalentes de AG/g biomasa seca)	8,2 ± 0,6
Fenoles totales (mg de equivalentes de AG/L)	1024,1 ± 0,5
Actividad antioxidante (mg de equivalentes de trolox/g biomasa seca)	14,6 ± 0,2
Actividad antioxidante (mg de equivalentes de trolox /L)	1831,6 ± 0,3
Sólidos solubles g/L	111,40 ± 8,24

Por otro lado, la figura 1 muestra el espectro infrarrojo del extracto seco obtenido, se puede apreciar una banda ancha a $IR_{n\ max}$ 3380 cm^{-1} correspondiente al grupo -OH; las bandas localizadas en el rango $IR_{n\ max}$ de 1670-1280 cm^{-1} indican presencia de grupos C=O, mientras que en el rango $IR_{n\ max}$ de 1620 a 1530 cm^{-1} se observan bandas C=C típicas de grupos aromáticos, siendo representativas de diferentes extractos fenólicos [11].

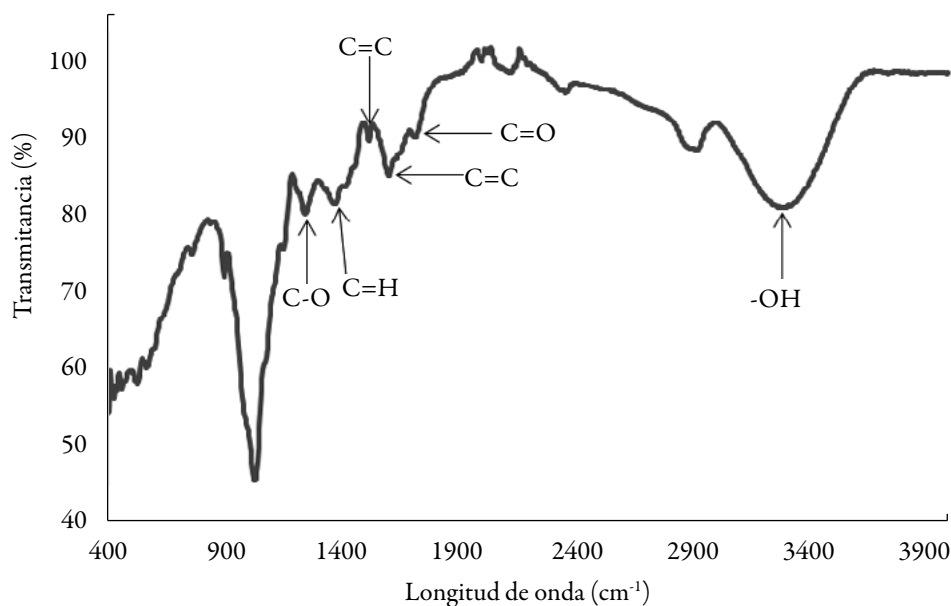


Figura 1. Espectro FTIR de los sólidos soluble en el extracto acuoso obtenido.

Encapsulación del extracto antioxidante

Para mantener la estabilidad y actividad antioxidantes de los compuestos fenólicos presentes en el extracto líquido obtenido de la cascarilla de arroz es necesario limitar su interacción con el oxígeno y la luz, debido a que la estructura química se modifica por reacciones secundarias [22, 23].

El extracto líquido obtenido a partir de la cascarilla de arroz fue encapsulado mediante liofilización usando como material encapsulante maltodextrina. En la tabla 3 se presenta información sobre la caracterización de las microcápsulas obtenidas.

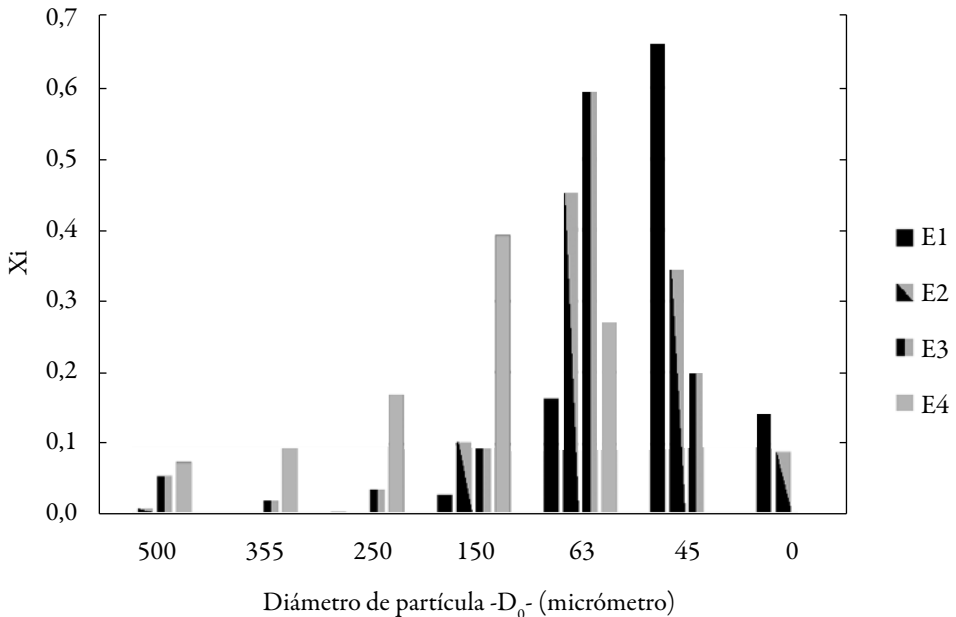
Según los resultados, a mayor contenido de extracto en el microencapsulado, mayor será la cantidad de compuestos fenólicos, debido principalmente a que contiene la menor cantidad de maltodextrina y por lo tanto una mayor proporción de los sólidos solubles en el extracto. Se observa que los valores de humedad son similares y los valores de densidad aparente oscilan entre 1,5 y 0,6. Posiblemente la concentración de la maltodextrina promueva un aumento en la densidad de las microcápsulas.

Tabla 3. Características de las microcápsulas, valores medios y desviación estándar del contenido de fenoles (mg fenoles/ g microencapsulado), humedad (%) y densidad aparente (g/cm^3).

Ensayo	Concentración de la maltodextrina g/cm^3 solución	Contenido de fenoles solubles en agua	Humedad	Densidad aparente
E1	0,25	$7,22 \pm 1,5^a$	$4,6 \pm 0,9^a$	$1,3 \pm 0,4^b$
E2	0,15	$10,26 \pm 3,37^{ab}$	$4,7 \pm 1,2^a$	$1,5 \pm 0,4^b$
E3	0,125	$12,41 \pm 2,9^{ab}$	$4,5 \pm 0,7^a$	$0,9 \pm 0,3^a$
E4	0,10	$14,92 \pm 3^b$	$4,3 \pm 1,0^a$	$0,6 \pm 0,2^a$

Letras superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$ %).

En la figura 2 se encuentra la distribución de tamaños de partícula de las microcápsulas. Esto se determinó mediante un análisis diferencial de tamizado. El tamaño de las microcápsulas determinarán su comportamiento durante su uso práctico. Con partículas de tamaño pequeño se podría usar como componente de una matriz polimérica de propiedades activas. Se observa una curva de distribución del tamaño donde más del 50 % de las microcápsulas de cada ensayo se encuentran entre $63 \mu\text{m}$ y $45 \mu\text{m}$. Las variaciones que se pueden presentar dependen de la proporción entre el extracto líquido y el material encapsulante. El tamaño de partícula afectará directamente la densidad aparente. Cuando la densidad aparente fue muy baja, la manipulación del material fue difícil debido a su facilidad de dispersarse en el aire.

**Figura 2.** Distribución de tamaño de partícula de los tratamientos estudiados.

Por otro lado se analizó la estructura de las microcápsulas por medio de difracción de rayos X, tal como se presenta en la figura 3. Para este análisis se consideró el material previamente seleccionado E2 y se tomaron muestras de los tamaños de partícula más representativos ($63\mu\text{m}$ y $45\mu\text{m}$).

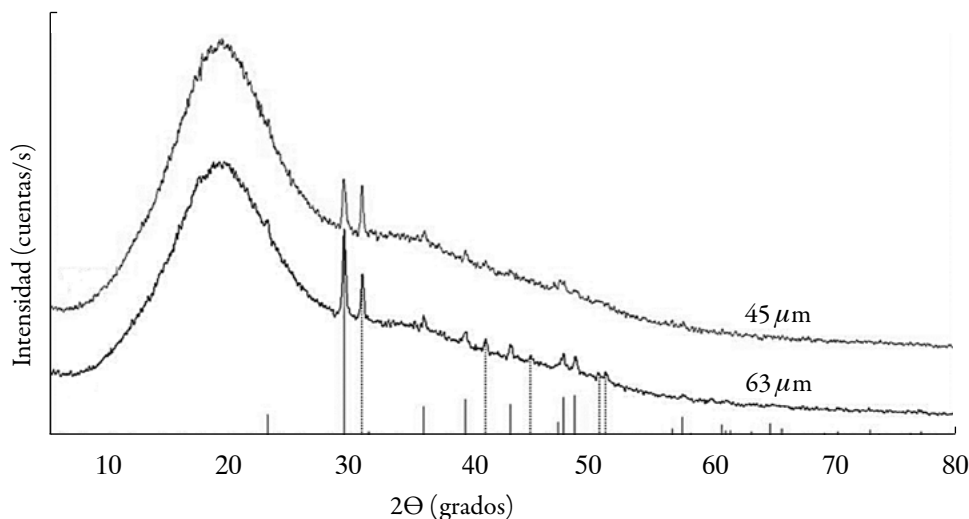


Figura 3. Difracción de rayos X del material E2.

Los difractogramas muestran la estructura de las microcápsulas como un sólido semi-cristalino. La banda ancha a 2θ : 20° , aproximadamente, representa la parte amorfa y los picos finos a 2θ : $29,2^\circ$, $30,7^\circ$, $39,4^\circ$, $41,2^\circ$, $44,7^\circ$, $48,3^\circ$ y $50,2^\circ$, las formaciones cristalinas. La liofilización conlleva un proceso lento de sublimación de agua congelada, las condiciones de este proceso son adecuadas para que el sólido resultante tenga tanto zonas vítreas como zonas cristalinas [24]. El microencapsulado $63\mu\text{m}$ presentó estructura más cristalina indicando mejor organización de la estructura y mayor estabilidad del extracto encapsulado bajo las condiciones del ensayo E2.

Liberación de compuestos fenólicos según el tamaño de partícula

De cara al aprovechamiento de los microencapsulados en la industria cosmética o alimentaria (envasado y embalaje) se procedió a hacer el estudio de la liberación de los compuestos polifenólicos en agua. La figuras 4 muestra la capacidad de liberación del producto activo en medio acuoso para los diferentes contenidos de maltodextrina con tamaños de partícula de $63\mu\text{m}$ y $45\mu\text{m}$. No se observan diferencias significativas para los tratamientos E1 y E2. Tampoco se observan diferencias marcadas entre los dos tamaños de partícula a los mismos contenidos de maltodextrina. El porcentaje de

liberación en agua en cada ensayo es mayor al 91 %, debido a que el material encapsulante posee gran afinidad por el agua [25]. Esto genera migración rápida del extracto desde interior de las cápsulas hacia el medio acuoso. La microencapsulación se confirmó ya que en todos los casos la liberación de los compuestos fenólicos luego del lavado con etanol fue muy baja, con un valor promedio del 0,01 % de los compuestos fenólicos.

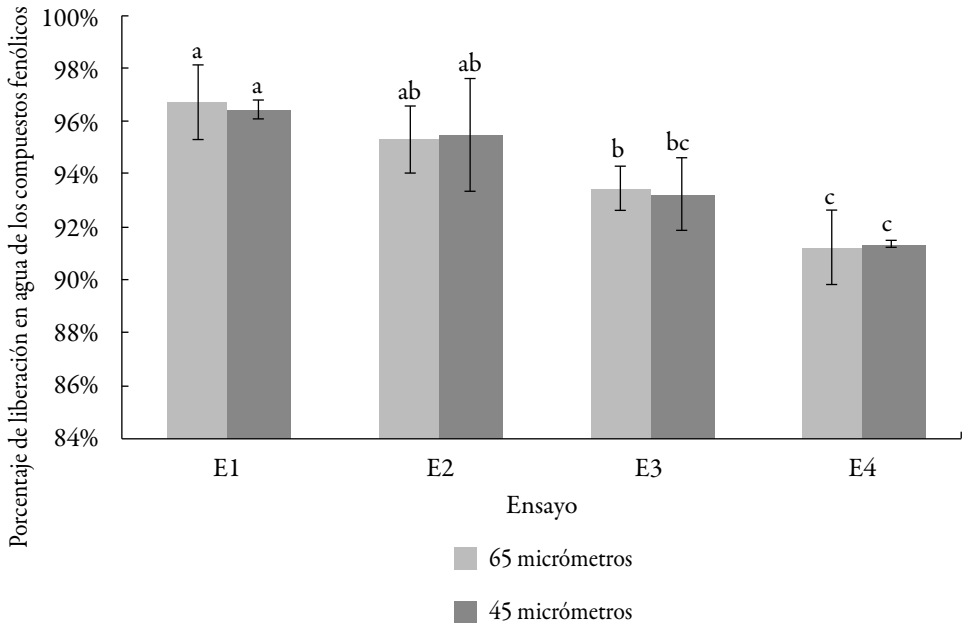


Figura 4. Liberación de compuestos fenólicos para cada uno de los ensayos para dos tamaños de partícula: 63 μm (barras lisas) y 45 μm (barras subdivididas). Barras de error y grupos homogéneos ($p < 0,05$ %).

De acuerdo a los resultados, un contenido de maltodextrina del material obtenido bajo las condiciones del ensayo E2, que contiene 11,1 g/100 cm^3 de mezcla a liofilizar, es el más adecuado para la encapsulación; este porcentaje de maltodextrina es similar a lo encontrado por otros autores, quienes reportan un valor entre 14 % a 18 % [12] generando productos más estables, de características más adecuadas para la manipulación y con una capacidad de liberación de compuestos antioxidantes en medio acuoso alta.

CONCLUSIONES

El extracto líquido proveniente del pretratamiento con agua caliente a 453,15 K, 1 MPa durante 1 h, de la cascarilla de arroz, permite una adecuada extracción de compuestos fenólicos con actividad antioxidante, obteniendo valores de concentración de antioxidantes de 14,6 mg Eq.trolox/g biomasa seca y de componentes fenólicos equivalentes a 8,2 mg Eq.AG/g biomasa seca. El desarrollo de microencapsulados con actividad antioxidante ofrece alternativas a la industria cosmética y alimentaria para generar productos de alto valor agregado aprovechando residuos agroindustriales. Las cápsulas obtenidas con 11,1 % (p/v) de maltodextrina presentan alta eficiencia de encapsulación y liberación, generando un material sólido con estructura semicristalina. El tamaño de partícula más adecuado fue 63µm, ya que permitió la liberación y retención del producto activo, con características adecuadas para su manipulación y estabilidad a condiciones ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y Universidad de Cartagena por el apoyo en la ejecución de este trabajo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, Cuarto censo nacional arrocero, <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/censo-nacional-arrocero/boletin-tecnico-4to-censo-nacional-arrocero-2016.pdf>, consultado en febrero de 2018.
2. V. Vadivel, P. Brindha, Antioxidant property of solvent extract and acid/alkali hydrolysates from rice hulls, *Food Bioscience*, **11**, 85 (2015).
3. N. Soltani, A. Bahrami, M.I. Pech-Canul, L.A. González, Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials, *Chemical Engineering Journal*, **264**, 899 (2015).

4. R.S. Bie, X.F. Song, Q.Q. Liu, X.Y. Ji, P. Chen, Studies on effects of burning conditions and rice husk ash (RHA) blending amount on the mechanical behavior of cement, *Cement and Concrete Composites*, **55**, 162 (2015).
5. A. F. Castro, “Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante”, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería de Perú, (2017).
6. S. Zhang, Q. Dong, L. Zhang, Y. Xiong, Effects of water washing and torrefaction on the pyrolysis behavior and kinetics of rice husk through TGA and Py-GC/MS, *Bioresource Technology*, **199**, 352 (2016).
7. W. Wang, J. Guo, J. Zhang, J. Peng, T. Liu, Z. Xin, Isolation, identification and antioxidant activity of bound phenolic compounds present in rice bran, *Food Chemistry*, **171**, 40 (2015).
8. P. Wanyo, N. Meeso, S. Siriamornpun, Effects of different treatments on the antioxidant properties and phenolic compounds of rice bran and rice husk, *Food Chemistry*, **157**, 457 (2014).
9. P. Wanyo, N. Kaewseejan, N. Meeso, S. Siriamornpun, Bioactive compounds and antioxidant properties of different solvent extracts derived from Thai rice by-products, *Applied Biological Chemistry*, **59**, 373 (2016).
10. S. Ray, U. Raychaudhuri, R. Chakraborty, An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology, *Food Bioscience*, **13**, 76 (2016).
11. L. Deladino, P.S. Anbinder, A.S. Navarro, M.N. Martino, Encapsulation of natural antioxidants extracted from *Ilex paraguariensis*, *Carbohydrate Polymers*, **71**, 126 (2008).
12. M.J. Ramírez, N.Y. Salgado-Aristizabal, C.E. Orrego-Alzate, Conservación de polifenoles en un jugo de fruta modelo secado por aspersión y liofilización, *Vitae*, **19**, S87 (2012).
13. A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, D. Crocker, Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass, Laboratory Analytical Procedure of National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-510-42618 (2012).

14. J.H. Kim, J.L. Noh, S. Lee, J. Choi, H. Suh, H. Chung, Y. Song, W. Choi, The first total synthesis of 2,3,6-tribromo-4,5-dihydroxybenzyl methyl ether (TDB) and its antioxidant activity, *Bulletin of the Korean Chemical Society*, **23**, 661 (2002).
15. L.Y. Chen, C.W. Cheng, J.Y. Liang, Effect of esterification condensation on the Folin–Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols, *Food Chemistry*, **170**, 10 (2015).
16. K. Kaderides, A.M. Goula, K.G. Adamopoulos, A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **31**, 204 (2015).
17. G. Davidov-Pardo, I. Arozarena, M.R. Marín-Arroyo, Optimization of a wall material formulation to microencapsulate a grape seed extract using a mixture design of experiments, *Food and Bioprocess Technology*, **6**, 941(2013).
18. Y. Piñeros, A. Otalvaro, A. Campos, W. Cortés, J. Proaños, G. Velazco, “Aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz”, Editorial Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C., 2011, Vol. 1, p. 35.
19. R. Pode, Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **53**, 1468 (2016).
20. S.K. Yeh, C.C. Hsieh, H.C. Chang, C. Yen, Y.C. Chang, Synergistic effect of coupling agents and fiber treatments on mechanical properties and moisture absorption of polypropylene–rice husk composites and their foam, *Composites Part A*, *Applied Science and Manufacturing*, **68**, 313 (2015).
21. W.G. Ortiz, Tratamientos aplicables a materiales lignocelulósicos para la obtención de etanol y productos químicos, *Revista de Tecnología*, **13**, 39 (2016).
22. N. Martins, L. Barros, M. Dueñas, C. Santos, I. Ferreira, Characterization of phenolic compounds and antioxidant properties of *Glycyrrhiza glabra* L. rhizomes and roots, *Royal Society of Chemistry Advances*, **5**, 26991 (2015).
23. Y. Zhao, B. Huang, C. Yang, W. Xia, Visible-Light-Promoted direct amination of phenols via oxidative cross-dehydrogenative coupling reaction, *Organic Letters*, **18**, 3326 (2016).
24. D. Xu, L. Wei, R. Guangyue, L. Wenchao, L. Yunhong, Comparative study on the effects and efficiencies of three sublimation drying methods for mushrooms, *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, **8**, 91 (2015).

25. B. Nurhadi, Y.H. Roos, V. Maidannyk, Physical properties of maltodextrin DE 10: Water sorption, water plasticization and enthalpy relaxation, *Journal of Food Engineering*, **174**, 68 (2016).

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

D. Sánchez-Molina, M. Vargas-Porras, R. Ortega-Toro, Y. Piñeros-Castro, Extracción y encapsulación de compuestos fenólicos provenientes de cascarilla de arroz, *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **47**(3), 410-423 (2018).