

Capítulo 11. Estudio de la estabilidad fisicoquímica de microcápsulas de maguey morado obtenidas mediante secado por aspersión



ENRIQUE BONILLA ZAVALA*^{*}

MARCELA ROSAS NEXTICAPA**^{**}

CATALINA CERVANTES ORTEGA***^{***}

MARÍA VIRGINIA DEL SOCORRO MATEU ARMAND****^{****}

MARTHA PAOLA RASCÓN DÍAZ*****^{*****}

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.392.11>

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el efecto protector de la maltodextrina 10DE y 20DE sobre el contenido de antioxidantes presentes en el extracto de maguey morado, así como en las microcápsulas obtenidas mediante secado por aspersión y durante el almacenamiento a una temperatura de 25, 35 y 45 °C. Los resultados mostraron que el proceso de secado por aspersión (Tinlet de 130 °C; Toutlet de 80 °C) mejora el grado de protección en el contenido de polifenoles, actividad antioxidante, antocianinas y color, con respecto al extracto puro. Se encontró que los antioxidantes no sufren una degradación significativa en el intervalo de actividad de agua entre 0.1 y 0.4, independientemente de la temperatura de almacenamiento. Por otra parte, la maltodextrina 10DE mostró una mejor protección de los antioxidantes con respecto a la maltodextrina 20DE independientemente de la temperatura de almacenamiento.

* Doctor en Biotecnología. Profesor de tiempo completo en Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2675-628X>; correo electrónico: enbonilla@uv.mx

** Doctora en Ciencias de los Alimentos. Investigadora de tiempo completo, Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7119-4728>

*** Doctora en Gobierno y Administración Pública. Profesora de tiempo completo en Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9085-2631>

**** Maestra en Investigación Clínica. Profesora de tiempo completo en Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3283-0001>

***** Doctora en Ciencias en Alimentos. Investigadora de tiempo completo en Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4272-1810>

Palabras clave: *secado por aspersión, antioxidantes, maltodextrina, actividad antioxidante.*

Introducción

La encapsulación es el proceso de construir una barrera entre una sustancia bioactiva (núcleo) y un material de pared para evitar reacciones químicas y físicas con el propósito de mantener las propiedades biológicas, funcionales y fisicoquímicas del núcleo (Rodríguez et al., 2022). Este proceso permite obtener pequeñas cápsulas (núcleo + material de pared) en nanómetros (nano encapsulación), micrómetros (microencapsulación) o escala milimétrica. Las partículas obtenidas pueden tener forma regular o irregular. En este sentido, el secado por aspersión es una operación para formular alimentos en polvo y tiene un papel importante en la microencapsulación de ingredientes naturales para la industria alimentaria. El proceso se conforma por tres fases: atomización del alimento, contacto de las gotas atomizadas con el aire de secado y recogida de los polvos (Bordón et al., 2023). Se considera un método óptimo para proteger los compuestos activos de reacciones adversas, deterioro e interacciones indeseables con otros ingredientes; a su vez mejora su solubilidad y puede ocultar los sabores desagradables (Ferraz et al., 2022).

La maltodextrina se obtiene por hidrólisis enzimática o ácida del almidón y está formada por moléculas de D-glucosa unidas por enlaces α -(1,4) y α -(1,6), y presenta una equivalencia de dextrosa inferior a 20, lo que indica que está compuesta por cadenas de carbohidratos con un 2-3 % de glucosa y un 5-7 % de maltosa. Este biopolímero suele utilizarse como material de pared para encapsular alimentos, medicamentos, aceites esenciales y otras sustancias, ya que las microcápsulas basadas en maltodextrina pueden mejorar el color, aroma, sabor de los productos y la estabilidad de los materiales del núcleo, además de que permite liberarlos de manera lenta y controlada (Xiao et al., 2022).

Un antioxidante se define como aquella sustancia que cuando está presente en concentraciones bajas, en comparación con las de un sustrato oxidable, demora o previene la oxidación de ese sustrato. Los compuestos

bioactivos que presentan alta actividad antioxidante se utilizan para proteger la célula contra especies reactivas de oxígeno (ERO) las cuales son producidas en respuesta a factores estresantes bióticos o abióticos (Coulombier et al., 2021). El maguey morado es una planta con alto contenido de antioxidantes (antocianinas) y usada en particular en México y algunos países de América del sur donde las hojas se hierven y se toman por vía oral durante el tratamiento del cáncer (Rosales et al., 2008). Los estudios también muestran que el extracto acuoso de maguey morado exhibe una actividad antitumoral en ratas (Rosales et al., 2008), mientras que los extractos etanólicos de hoja son antígenotóxicos (González et al., 2003) y antimutagénicos, por ser capaces de prevenir el daño del ácido desoxirribonucleico (ADN) causado por alquilación y especies reactivas del oxígeno.

Los efectos farmacológicos y terapéuticos la reducción de la enfermedad coronaria, efectos anticancerígenos, antitumorales antiinflamatorios y antidiabéticos; además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo, están relacionados con su actividad antioxidante debido a la presencia de antocianinas (Astrid, 2008).

Es así, que por lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el efecto protector de la maltodextrina 10DE y 20DE sobre el contenido de antioxidantes presentes en el extracto de maguey morado, así como en las microcápsulas obtenidas mediante secado por aspersión y durante el almacenamiento.

Material y método

El maguey morado (*Rhoeo discolor*) se recolectó en el municipio de Omealca, Veracruz. Se tomaron algunos criterios para la selección de la muestra, dentro de los cuales se encuentran la no presencia de rupturas, envejecimiento, cambios de color, así como nulo contenido de plaga o agentes patógenos. La muestra fue procesada recién recolectada. Los reactivos utilizados fueron maltodextrina 10 y 20DE (Amfer Foods, México), agua tridestilada y etanol puro obtenido de una distribuidora local, Folin-Ciocalteau (Aldrich, México), 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DDPH) (Sigma-Aldrich, México) HCL concentrado, carbonato de sodio (99.5 %) (Aldrich, México). Así como sales

de LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg (NO₃)₂, NaNO₂, NaCl, KCl y CH₃COONa (Alyt, México) para la generación de microclimas.

Extracción acuosa de antioxidantes

Para la realización de la extracción acuosa de antioxidantes se elaboraron infusiones a 95 °C/20 min utilizando una relación 1:4 (planta: agua trides-tilada). Las hojas de magüey morado fueron cortadas en pequeños trozos para mejorar la extracción (Reverchon et al., 2006).

Preparación de las soluciones acuosas con el agente encapsulante

Para la elaboración de la solución a secar por aspersion se realizó la mezcla del extracto acuoso de magüey morado con los dos agentes encapsulantes a un contenido de sólidos totales de 20 %. Como mecanismo de mezcla se utilizó un homogeneizador convencional por un tiempo de 10 minutos.

Actividad antioxidante mediante ensayo DPPH

En este trabajo se utilizó el método propuesto por Reyes et al. (2009), con algunas modificaciones de Brand et al. (1995), siendo este método el seleccionado debido a que permite evaluar la actividad de sustancias con características antioxidantes frente al radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH).

Determinación de polifenoles totales

Para la determinación de polifenoles totales se empleó un método espectrofotométrico a 760 nm (Thermo Scientific Evolution 260-BIO) basado en una reacción colorimétrica de óxido-reducción, utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu y usando una solución patrón de ácido gálico como refe-

rencia para la construcción de una curva de calibración que permitió calcular y expresar el contenido de polifenoles como equivalentes de ácido gálico (Marino y Batchvarov, 2011). Las mediciones fueron realizadas al extracto acuoso antes y después de su mezcla con la maltodextrina, así como a las microcápsulas obtenidas mediante secado por aspersión.

Determinación de antocianinas

Para realizar la determinación de antocianinas monoméricas, se tomaron muestras de 1 mL y se le adicionó solución buffer de KCL (4 mL) con un valor de pH 1.0. De igual forma, se prepararon diluciones de 1 mL de extracto con la solución buffer de acetato de sodio con pH 4.5 (Arbayza et al., 2014).

Determinación de parámetros de color

Para la medición del color se usó un colorímetro Konica Minolta Chroma-meter cr-400. Los parámetros de color se determinaron en la escala L, a* y b*. Estos valores sirven para obtener el tono o ángulo matiz y pureza o croma del color (Lee et al., 2005).

Secado por aspersión

La solución acuosa extracto: agente encapsulante se pasó al secador por aspersión (Büchi mini spray dryer B-290, Flawil, Switzerland), con una temperatura de entrada de 130 °C y de salida de 80 °C, y velocidad de alimentación de 9 mL/min y 4 bares de presión de aire.

Análisis estadístico

Se utilizó el *software* Kaleida Graph 4.0 (Synergy Software, Reading, PA, E.U.A) para el análisis de los datos y realización de las gráficas. Se realizó

un análisis de varianza (ANOVA) para establecer las diferencias significativas. Las mediciones realizadas en este trabajo fueron por triplicado.

Resultados y discusión

Caracterización del extracto de maguey morado

Este extracto caracterizado fue utilizado para la preparación de las soluciones acuosas con extracto/material de pared para su posterior secado por aspersión. Los resultados mostraron que la cantidad de polifenoles totales de maguey morado es casi tres veces mayor a las del té verde que es de 9.538 EAG/L, y para el té negro cuyo valor es de 8.012 EAG/L (tabla 1). De igual forma, estos valores son ligeramente mayores al contenido de polifenoles en betabel 15.5 EAG/L (Manzocco et al., 1998).

Tabla 1. *Resultados de la caracterización del extracto acuoso de maguey morado*

<i>Parámetro</i>	<i>Resultado M ± Sd</i>
Polifenoles totales	21.74 ± 0.21 EAG/L
Actividad antioxidante	27.43 ± 0.32 %
Antocianinas	5 ± 0.14 mg/L
Color (ΔE)	17.57 ± 0.27

Fuente: elaboración propia.

Caracterización de las soluciones acuosas de maguey morado con material de pared

En lo referente a los parámetros obtenidos de los análisis correspondientes a cada solución de extracto/material de pared, al realizar la comparación en el contenido de compuestos con actividad antioxidante y presentes en la solución extracto/material con la del extracto acuoso, se observó que los compuestos con actividad antioxidante aumentan significativamente independientemente del material de pared utilizado, lo cual demuestra el efecto

protector del material sobre los antioxidantes presentes en el maguey morado (tabla 2).

Tabla 2. Caracterización del extracto/maltodextrina 10DE y 20DE

Parámetro	Resultado
Polifenoles totales MD 10DE	32.53 ± 0.24 EAG/La
MD 20DE	31.74 ± 0.42 EAG/Lb
Actividad antioxidante MD 10DE	34.13 ± 0.26 %a
MD 20DE	32.74 ± 0.25 %b
Antocianinas MD 10DE	7.32 ± 0.34 mg/La
MD 20DE	7.63 ± 0.17 mg/La
Color (ΔE) MD 10DE	24.63 ± 0.16 ^a
MD 20DE	23.61 ± 0.14 ^b

Nota: los valores están expresados como la media ± desviación estándar (n = 3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa p < 0.05.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la actividad antioxidante, polifenoles y antocianinas presentes en la solución extracto/material comparado con la del extracto acuoso, mostraron que en las soluciones en donde se utiliza un agente encapsulante (MD 10DE y 20DE) tuvieron un incremento significativo en los valores analizados. Se observa que el uso de MD 10DE permite obtener mayores valores de polifenoles totales y actividad antioxidante con respecto a MD 20DE.

Caracterización de las microcápsulas de maguey morado secados por aspersión

Los resultados de los análisis de las microcápsulas obtenidas del secado por aspersión muestran que el uso de MD 10DE permite obtener mayores valores de polifenoles totales y actividad antioxidante con respecto a MD 20DE. En el caso del análisis del contenido de antocianinas y variación de color no existe diferencia significativa entre los dos agentes encapsulantes (tabla 3).

Tabla 3. Caracterización de las microcápsulas de maguay morado con maltodextrina 10DE y 20DE

Parámetro	Resultado
Polifenoles totales MD 10DE	40.62 ± 0.34 EAG/La
MD 20DE	39.85 ± 0.22 EAG/Lb
Actividad antioxidante MD 10DE	43.64 ± 0.21 %a
MD 20DE	42.33 ± 0.14 %b
Antocianinas MD 10DE	1.56 ± 0.17 mg/La
MD 20DE	1.48 ± 0.18 mg/La
Color (ΔE) MD 10DE	47.28 ± 0.26 ^a
MD 20DE	47.57 ± 0.13a

Nota: Los valores están expresados como la media ± desviación estándar (n = 3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa p < 0.05.

Fuente: elaboración propia.

Evaluación de la actividad antioxidante

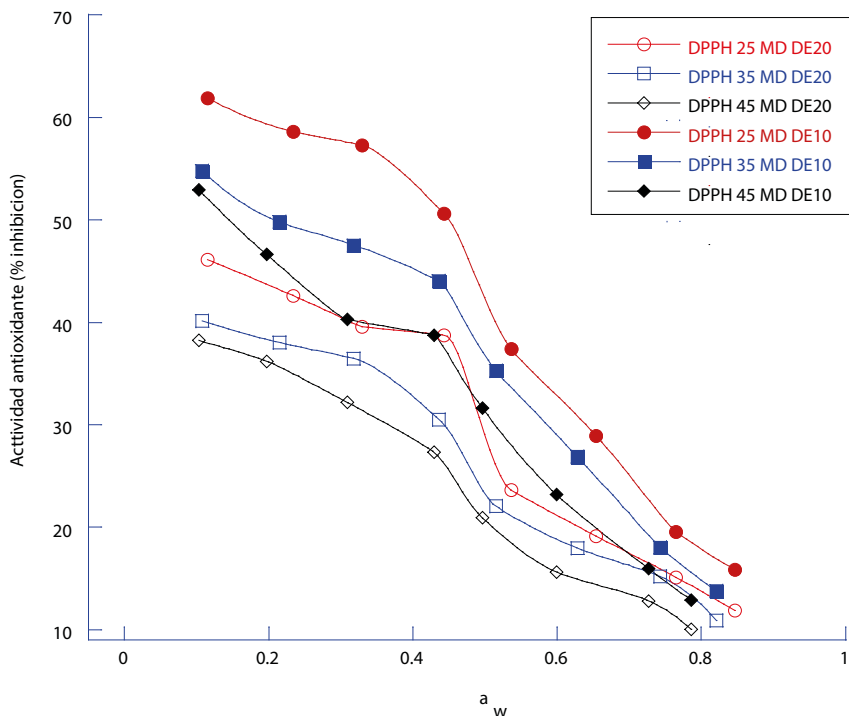
La variación en la actividad antioxidante por efecto de la aw en microcápsulas de maguay morado utilizando maltodextrina 10DE y 20DE, y almacenadas a 25, 35 y 45 °C, muestran en los resultados el efecto de la aw sobre la actividad antioxidante (% inhibición) para las microcápsulas de maguay morado secados por aspersión.

La evaluación del uso de la maltodextrina 10DE y 20DE como material protector y almacenado a diferentes temperaturas (25, 35 y 45 °C). Se observa que el uso de la maltodextrina 10DE promueve una mayor protección a la degradación con respecto a la maltodextrina 20DE, independientemente de la temperatura de almacenamiento utilizada; de igual forma se observa que el uso de temperaturas altas favorece la pérdida de la actividad antioxidante siendo de la siguiente forma: 45 > 35 > 25 respectivamente.

Los valores donde la actividad antioxidante permanecen casi constantes varían desde 0.1 a 0.4 o de 0.1 a 0.3; sin embargo, a mayores a esos puntos ejercen un cambio notable en la actividad antioxidante provocado por la ganancia de humedad de las microcápsulas, lo que causa un colapso estructural, disolución de las microcápsulas y, por consiguiente, la degradación de los antioxidantes encapsulados en la matriz polimérica, independiente-

mente de la temperatura de almacenamiento. Para efectos prácticos de almacenamiento se recomienda almacenar las microcápsulas con maguey morado a a_w máximas de 0.4 a una temperatura de 25 °C y utilizando MD 10DE como agente encapsulante (figura 1).

Figura 1. Variación de la actividad antioxidante con respecto a la a_w en microcápsulas de maguey morado utilizando maltodextrina 10DE y 20DE almacenadas a 25, 35 y 45 °C



Fuente: elaboración propia.

Trabajo a futuro

De la información obtenida se plantea realizar el estudio del proceso de adsorción de vapor de agua para conocer las condiciones óptimas de almacenamiento de estas microcápsulas. Esto a través de un análisis termodinámico utilizando diferentes modelos de adsorción.

Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron que la encapsulación utilizando maltodextrina 10DE como material protector logra una mejor retención de antioxidantes con respecto a la maltodextrina 20DE. La variación total de color en las microcápsulas almacenadas se ve afectada por el aumento de la temperatura y la actividad de agua a valores superiores de 0.6. El método de secado por aspersión promueve una mejor protección de los antioxidantes de maguay morado con respecto al extracto acuoso. De acuerdo con los análisis realizados a las microcápsulas durante su almacenamiento se determinó que las mejores condiciones para la protección de la actividad antioxidante se logran durante el almacenamiento a 25 °C y a_w menor a 0.6.

Referencias

- Arbayza, F. J., Ruiz, R. S., Venegas, E., Ruidias, R. D. y Cosavalente, B. K. (2014). Capacidad antioxidante del zumo y de los extractos hidroalcohólico y acuoso obtenidos de *Punica granatum* y su relación con el contenido de polifenoles. *Revista Farmacia*, 2(2), 50-55.
- Astrid, G. G. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.
- Bordón, M. G., Alasino, N. P. X., Camacho, N. M., Millán, F., Pedroche, J. J., Villanueva, Á., Ribotta, P. D. y Martínez, M. L. (2023). Mathematical modeling of the spray drying processes at laboratory and pilot scales for the development of functional micro-particles loaded with chia oil. *Powder Technology*, 430. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119018>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28(1), 2530. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Coulombier, N., Jauffrais, T. y Lebouvier, N. (2021). Antioxidant compounds from microalgae: a review. *Marine Drugs*, 19(10), 549. <https://doi.org/10.3390/md19100549>.
- Ferraz, M. C., Procopio, F. R., Furtado, G. de F. y Hubinger, M. D. (2022) Co-encapsulation of paprika and cinnamon oleoresin by spray drying using whey protein isolate and maltodextrin as wall material: development, characterization and storage stability. *Food Research International*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112164>
- González, M., Arriaga, M., de la Garza, M., Hernández, M. del C., Domínguez, M. A., Fatel, S. S. y Villa, S. (2003). Antigenotoxic, antimutagenic and ROS scavenging activi-

- ties of a Rhoeo discolor ethanolic crude extract. *Toxicology in Vitro*, 17, 77-83. doi: 10.1016/s0887-2333(02)00120-0.
- Lee, J., Durst, W. R. y Wrolstad, R. E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269-1278.
- Manzocco, L., Anese, M. y Nicoli, M. C. (1998). Antioxidant properties of tea extracts as affected by processing. *LWT. Food Science and Technology*, 31(7 y 8), 694-698.
- Marinova, G. y Batchvarov, V. (2011). Evaluation of the methods for determination of the free radical scavenging activity by DPPH. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(1), 11-24.
- Reverchon, E., Rappo, E. S. y Cardea, S. (2006). Flexible supercritical CO₂-assisted process for poly (methyl methacrylate) structure formation. *Polymer Engineering & Science*, 46(2), 188-197.
- Reyes, M. A., Azuara, N. E., Beristain, C. I., Cruz, S. F. y Vernon, C. E. J. (2009). Propiedades antioxidantes del maguey morado (Rhoeo discolor). *CyTA, Journal of Food*. 7(3), 209-216.
- Rodríguez, L. M., Aragüez, Y. y Pino, J. A. (2022). Microencapsulación de aceites vegetales mediante secado por aspersión. *Afinidad*, 79(596), 326-337.
- Rosales, T., de la Garza, M., Arias, C., Rodríguez, M., Fattel, S., Arce, E., Hernández, S. y Villa-Treviño, S. (2008). Aqueous crude extract of Rhoeo discolor, a mexican medicinal plant, decreases the formation of liver preneoplastic foci in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 115(3), 381-386. doi: 10.1016/j.jep.2007.10.022.
- Xiao, Z., Xia, J., Zhao, Q., Niu, Y. y Zhao, D. (2022). Maltodextrin as wall material for microcapsules: a review. *Carbohydrate Polymers*, 298, 120113. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.120113