

Microencapsulación de compuestos bioactivos

Castagnini, Juan M.; Rasia, Mercedes C.; Scattolaro, Ornella M.; Capodoglio, Daniel L.; Agout, María F.; Chacón, Carolina; Gerard, Jorge A.

AUTORES: Facultad de Ciencias de la Alimentación. Universidad Nacional de Entre Ríos. (Concordia, Entre Ríos, Argentina).

CONTACTO: castagninij@fcal.uner.edu.ar

Resumen

En la presente investigación se estudió la microencapsulación de un extracto de antocianinas obtenido a partir de una extracción sólido-líquido de restos sólidos de piel de arándanos los cuales son un subproducto de la elaboración de jugo de arándanos. La encapsulación se realizó mediante liofilización utilizando como material de pared maltodextrina, almidón modificado y proteína de suero lácteo. Mediante un ensayo de mezcla se realizó una optimización de la eficiencia de encapsulación, la productividad de microcápsulas y la higroscopicidad del producto de manera tal de maximizar los dos primeros factores y minimizar el último en función del material encapsulante utilizado. Las propiedades de las microcápsulas se evaluaron tanto desde el punto de vista físico y químico como funcional. Los resultados indicaron que la mejor formulación para proteger las antocianinas es utilizar una mezcla 70:30 de proteína de suero lácteo y maltodextrina. Desde el punto de vista de la funcionalidad, el ensayo de digestión in vitro permitió determinar que según el tipo de material elegido para recubrir las microcápsulas, se puede dirigir la liberación de las antocianinas, ya sea hacia la fase de digestión estomacal o hacia la intestinal.

Palabras clave: microencapsulación de antocianinas, arándanos, digestión in vitro

Objetivos propuestos y cumplidos

Objetivo general

Estabilizar compuestos bioactivos por medio de la tecnología de microencapsulación para su posterior utilización como ingrediente funcional en el desarrollo de alimentos con propiedades beneficiosas para la salud del consumidor.

Objetivos específicos

- Extraer compuestos bioactivos presentes en el arándano.
- Preservar los compuestos de interés por medio de la tecnología de microencapsulación.
- Evaluar el contenido de compuestos bioactivos del producto final.
- Incorporar las microcápsulas a una matriz alimentaria.
- Evaluar la biodisponibilidad in vitro y liberación de los compuestos incluidos en las cápsulas.

Todos los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación se cumplieron según lo estipulado.

Marco teórico y metodológico (síntesis)

Las antocianinas son pigmentos naturales, que se pueden encontrar en raíces, hojas, frutas y flores de diversas plantas (Mahdavee Khazaei, Jafari, Ghorbani, & Hemmati Kakhki, 2014). Su color atractivo y propiedades funcionales como, por ejemplo, prevención de enfermedades neuronales, cardiovasculares, cáncer y diabetes, hacen que las antocianinas sean un excelente sustituto a los colorantes sintéticos en la industria de alimentos (Castañeda-Ovando et al., 2009). Estos colorantes naturales son solubles en agua, inestables y resultan influenciados por factores como la temperatura de proceso, la temperatura de almacenamiento, el pH, la estructura química y la concentración de antocianina, la luz, oxígeno, enzimas, proteínas e iones metálicos (Patras, Brunton, O'Donnell, & Tiwari, 2010). La microencapsulación es una técnica que permite empaquetar y estabilizar materiales en la forma de micro y nano partículas de manera tal de protegerlos de factores como la humedad, calor, luz y oxidación (Jafari, Assadpoor, He, & Bhandari, 2008). Por otro lado, esta técnica puede incrementar la disponibilidad de las antocianinas en el intestino (G. Flores et al. 2015). Distintos procedimientos han sido utilizados en la encapsulación de productos alimenticios como por ejemplo, la liofilización (Šaponjac et al. 2017; Kuck & Noreña 2016; Wilkowska et al. 2016; Rocha-Parra et al. 2016; Tatar Turan et al. 2015), el secado spray (Kuck & Noreña 2016; Akhavan Mahdavi et al. 2016; Paim et al. 2016; Santana et al. 2016; F. P. Flores et al. 2015) y la coacervación compleja (Yuan et al. 2017; Wang et al. 2015).

La hipótesis de trabajo del presente proyecto de investigación planteó que es posible extraer antocianinas de arándanos, protegerlas mediante la tecnología de microencapsulación y obtener, de esta manera, un ingrediente en polvo, rico en compuestos antioxidantes que pueda ser utilizado en la formulación de alimentos funcionales. Los arándanos necesarios para realizar la extracción fueron donados por productores de la zona de Concordia. La fruta se procesó mediante un esquema de elaboración de jugo de arándanos publicado por Castagnini, Zapata, Quinteros, & Noceti, 2017. Los restos sólidos provenientes de la filtración de este proceso de elaboración de jugo representan la materia prima para el desarrollo de la presente investigación. Los materiales de pared se adquirieron en empresas de la región, se utilizó almidón modificado (Capsul ED 7462), maltodextrina (15DE) y concentrado de proteína de suero lácteo (WPC 35). Para realizar la encapsulación se mezclaron y homogeneizaron los materiales de pared y de núcleo y se co-liofilizaron para obtener las microcápsulas secas.

Síntesis de resultados y conclusiones

Extracción y caracterización de los compuestos bioactivos de los arándanos

El diagrama de flujo del proceso de extracción se presenta en la Figura 1.

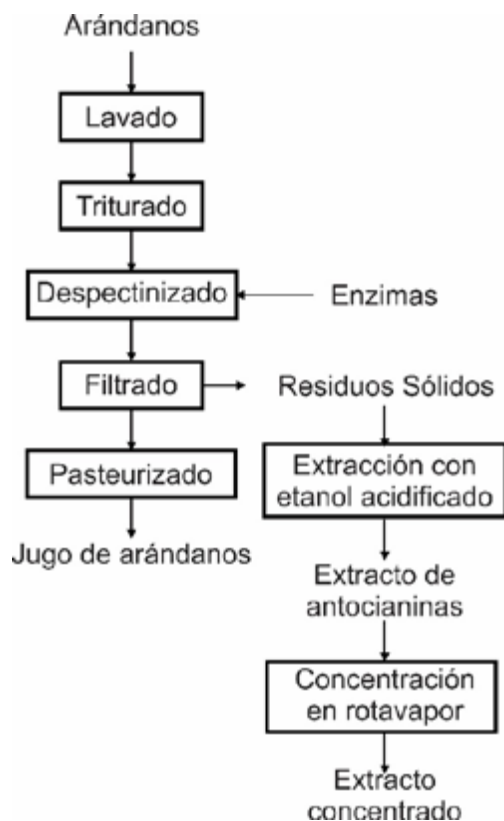


FIGURA 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de jugo de arándanos y extracto de antocianinas.

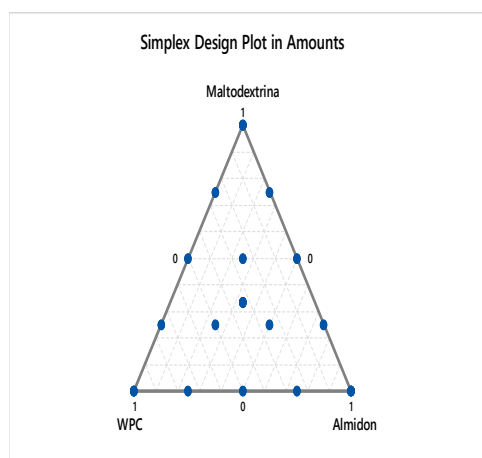
Como se puede observar en la tabla 1, la concentración de antocianinas en el extracto sin concentrar es un 80% mayor que en el jugo de arándanos obtenido. Esto pone en evidencia la importancia de la recuperación de esta cantidad de compuestos antioxidantes presentes principalmente en la piel de la fruta. El contenido de antocianinas del extracto sin concentrar es del mismo orden que el obtenido por otros autores como Flores et al. 2013 y Pertuzatti et al. 2014.

TABLA 1. Caracterización de la materia prima, jugo y extracto de antocianinas.

	Arándano (mg/Kg de fruta)	Jugo (mg/L de jugo)	Extracto (mg/L de extracto)	Extracto concentrado (mg/L de jugo)
Antocianinas monoméricas	560.94 ± 42.03	369.89 ± 8.37	675.97 ± 22.25	2524.87 ± 135.07
Fenoles totales	1795.74 ± 272.83	1956.27 ± 25.98	4086.16 ± 72.32	11240.53 ± 907.83
ABTS	1612.56 ± 168.16	7660.51 ± 324.68	12259.02 ± 201.35	27161.13 ± 5712.86
DPPH	2372.97 ± 314.43	2973.56 ± 277.21	2744.33 ± 203.75	8888.71 ± 755.67
Color polimérico		28.85 ± 1.36	43.33 ± 0.84	20.66 ± 8.48

Microencapsulación del extracto concentrado de arándanos

Para evaluar y optimizar el proceso de microencapsulación por liofilización del extracto concentrado de antocianinas, se realizó un diseño experimental de mezcla, con un grado 4 de reticulado, con 3 repeticiones en el punto central y 3 repeticiones en los extremos, como se presenta en la figura 2. Se seleccionaron tres matrices encapsulantes: maltodextrina (15 DE), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC 35%) y almidón modificado (Capsul ED 7462). Las variables respuestas seleccionadas fueron: la eficiencia de encapsulación, la productividad de microcápsulas y la higroscopicidad de las microcápsulas obtenidas. Se optimizó el diseño haciendo uso de las superficies de respuesta y la función deseabilidad con el objetivo de obtener la mayor eficiencia de encapsulación, la mayor productividad de microcápsulas y la menor higroscopicidad.

**FIGURA 2.** Diseño experimental de mezcla

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de eficiencia de encapsulación (EE), se puede inferir que ésta está influenciada por la composición de los materiales de pared utilizados tanto en las mezclas binarias como las ternarias. Los valores de EE variaron entre 87-99%, resultados similares han sido publicados para la encapsulación de pulpa de jussara con mezclas de goma arábica:almidón:WPC (Santana et al. 2016). El coeficiente de determinación (R^2) para el modelo ajustado fue de 75,25%. La Figura 3a presenta la superficie de respuesta obtenida. Se puede observar una tendencia de mayor EE para las formulaciones binarias de WPC:almidón y WPC:maltodextrina con una proporción de WPC de 50%

o más. Las mezclas ternarias WPC:almidón:maltodextrina y WPC:maltodextrina:almidón resultaron en altos valores de EE cuando el tercer componente, maltodextrina y almidón, respectivamente, no superó el 10%. La zona de menor eficiencia de encapsulación es la que está entorno al 100% de almidón.

En cuanto a la productividad de encapsulación (PE), ésta se ve claramente afectada por la composición de la matriz encapsulante encontrándose valores por debajo del 50% cuando se utilizó sólo WPC. El coeficiente de determinación (R^2) para el modelo ajustado fue de 90,28%. La Figura 3b presenta la superficie de respuesta obtenida. Se puede observar una tendencia de mayor PE para las cápsulas obtenidas sólo con almidón o maltodextrina y todas las mezclas binarias almidón:maltodextrina que se pueden obtener. En el caso de las muestras ternarias, la PE fue alta para los casos en que la proporción de maltodextrina estuvo entre 0,15-0,55, WPC 0,3-0,7 y almidón 0,12-0,35.

Por último, en cuanto a la higroscopicidad, se puede decir que, en general, los jugos de frutas en polvo son altamente higroscópicos y pueden absorber humedad fácilmente, lo que provoca problemas de flujo y pegajosidad (Ferrari et al. 2012). La pegajosidad en este tipo de productos se relaciona con la alta concentración de azúcares de bajo peso molecular y ácidos orgánicos. Algunos de los agentes encapsulantes utilizados, como las maltodextrinas, tienen la propiedad de aumentar la temperatura de transición vítrea del producto, evitando los problemas de pegajosidad y disminuyendo la higroscopicidad del polvo (Ferrari et al. 2012). La higroscopicidad de las microcápsulas obtenidas varió entre el 22 y el 34%. El coeficiente de determinación (R^2) para el modelo ajustado fue el menor de todas las variables respuesta, 61,01%. En la figura 3c se puede observar que la zona de menor higroscopicidad está delimitada por una proporción de WPC entre 0,6-0,9, maltodextrina entre 0,4-0,06 y almidón ente 0,46-0,07.

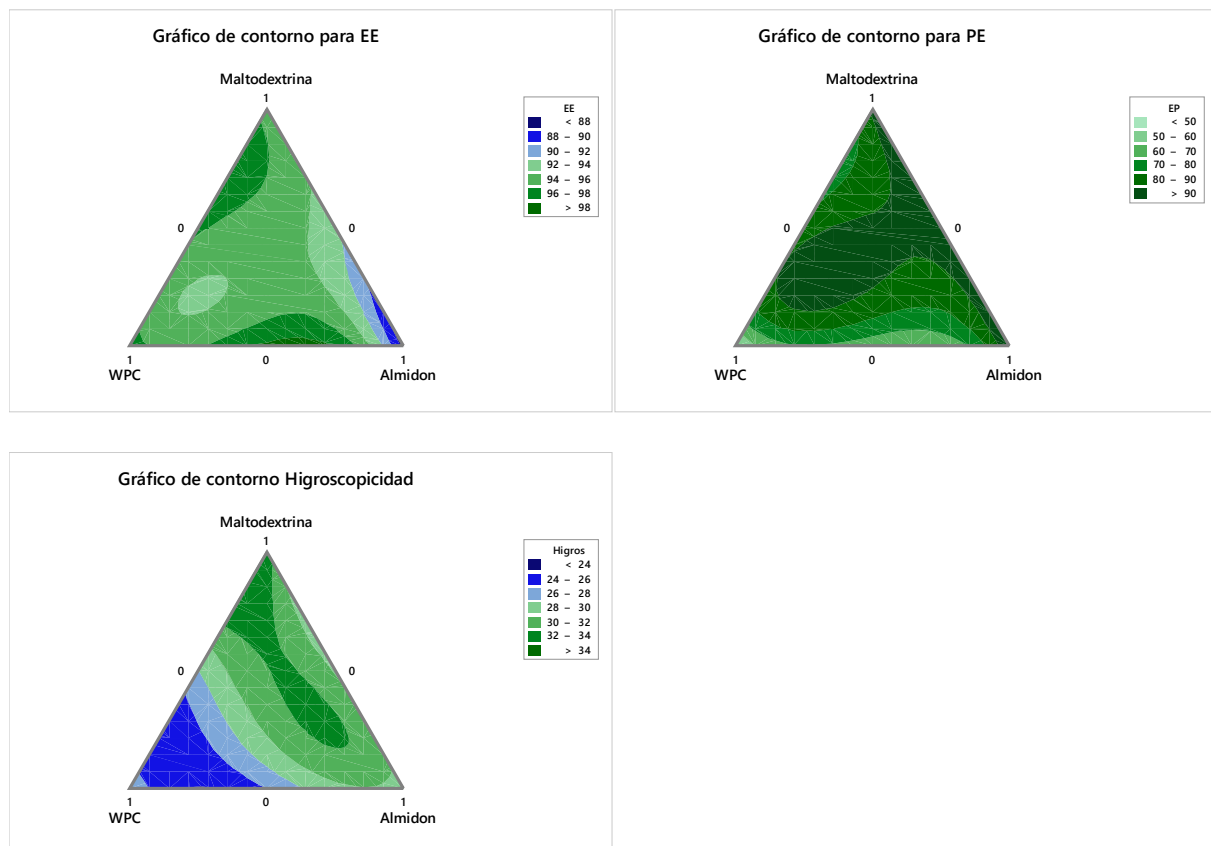


FIGURA 3. Gráficos de contorno para las superficies de respuesta obtenidas mediante el modelo de regresión cúbico completo. 3a: Variable respuesta EE. 3b: Variable respuesta PE. 3c: Variable respuesta higroscopicidad.

Mediante la función deseabilidad, que es una técnica estadística utilizada para determinar los niveles de variables independientes que permiten la optimización simultánea de las variables respuesta estudiadas, transformando así, las variables respuesta en una sola medición (Derringer and Suich, 1980; Islam et al., 2009), se seleccionó la mejor formulación para la microencapsulación de antocianinas por liofilización con el criterio de maximizar las respuestas de EE y EP y minimizar la respuesta de higroscopicidad. Para ajustar los valores de la función deseabilidad, los valores de las variables respuesta se privilegiaron en el siguiente orden: eficiencia de encapsulación, higroscopicidad y productividad de encapsulación. Además, en términos generales, a partir de mezclas binarias de los materiales de pared se obtuvieron resultados mejores o similares a los obtenidos por mezclas ternarias con una proporción muy baja del tercer componente, por esto, se privilegiaron las mezclas binarias por sobre las ternarias. Finalmente, teniendo en cuenta las consideraciones antes expuestas, la combinación óptima de las matrices encapsulantes seleccionadas fue: 0.3 maltodextrina, 0.7 de WPC y 0 de almidón modificado.

Teniendo en cuenta que una parte muy importante del análisis de las microcápsulas obtenidas es la observación al microscopio, se solicitó el servicio de microscopía de fluorescencia al Laboratorio de Microscopía Aplicada a Estudios Moleculares y Celulares (LAMAE) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos. Observando la morfología externa de las microcápsulas se puede ver que presentan una forma irregular, esto se debe a que, en todos los casos, el producto liofilizado es triturado mediante un mortero, por lo cual, la forma de las partículas no depende ni de las características del proceso, ni de las características de la matriz encapsulante. En la figura 4, en blanco y negro se puede observar que las características de las partículas obtenidas con maltodextrina. En la figura 4a, se observa una estructura tridimensional e irregular. En la figura 4b, donde el campo de observación es más amplio se puede observar la variedad de formas y tamaños que toman las partículas, así como también que estas presentan cierta transparencia.

En la figura 5 se observa la muestra obtenida con WPC 35. La microscopía en este caso corresponde a un tratamiento de la imagen que da como resultado distintas coloraciones de la muestra. En la figura 5a, se observa la cápsula de color rosado y pequeños puntos de coloración más rojiza. En la figura 5b, se observa la cápsula sin ningún tipo de filtro lo que deja en evidencia la textura de la cápsula. Por último, la figura 6 presenta las cápsulas obtenidas con una mezcla 1:1 de maltodextrina y WPC. La figura 6a ha sufrido un tratamiento de imagen que permite observar la cápsula de una coloración celeste y sobre la superficie de algunas unos puntos rojos. En la figura 6b, nuevamente en blanco y negro se puede apreciar la morfología superficial de la cápsula.

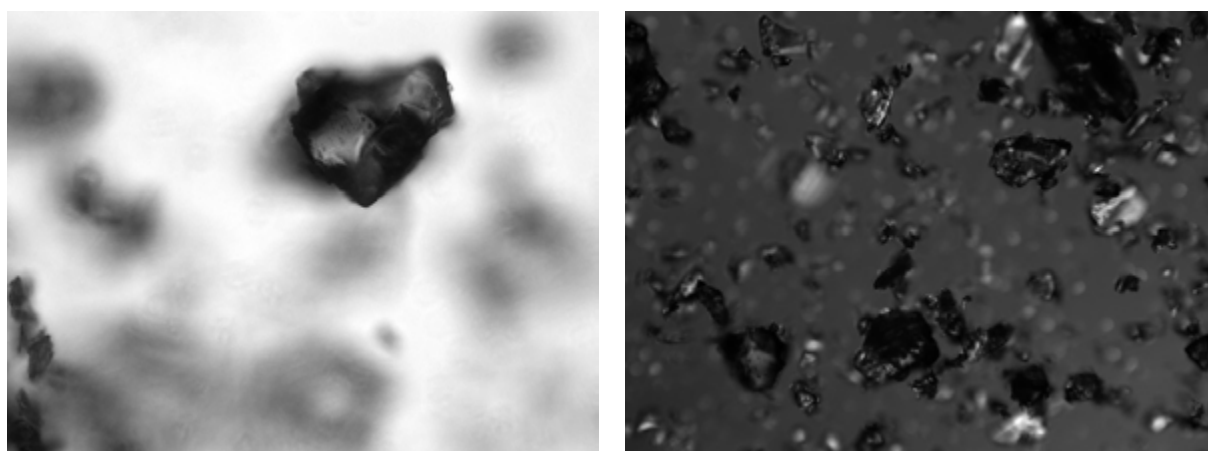


FIGURA 4. Composición de la microcápsula: Maltodextrina (15DE) + Extracto de antocianinas

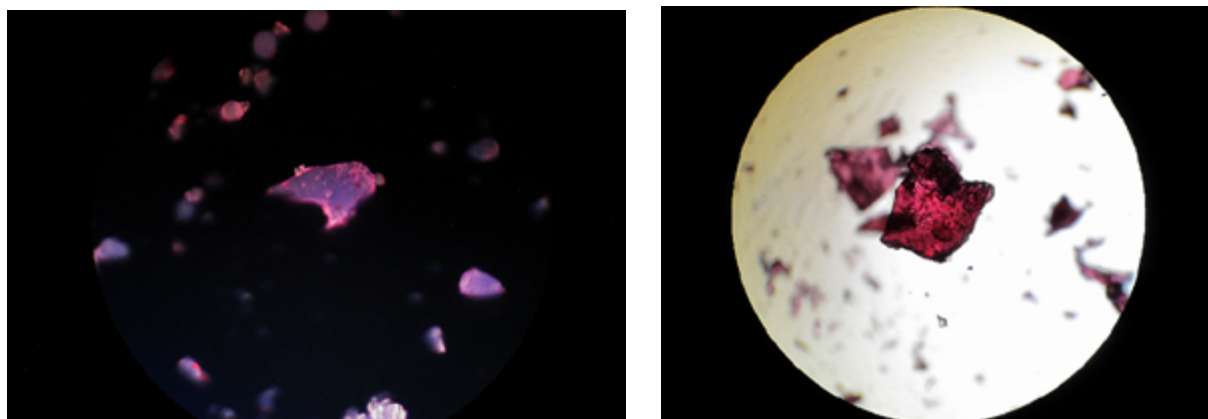


FIGURA 5. Composición de la microcápsula: WPC 35 + Extracto de antocianinas

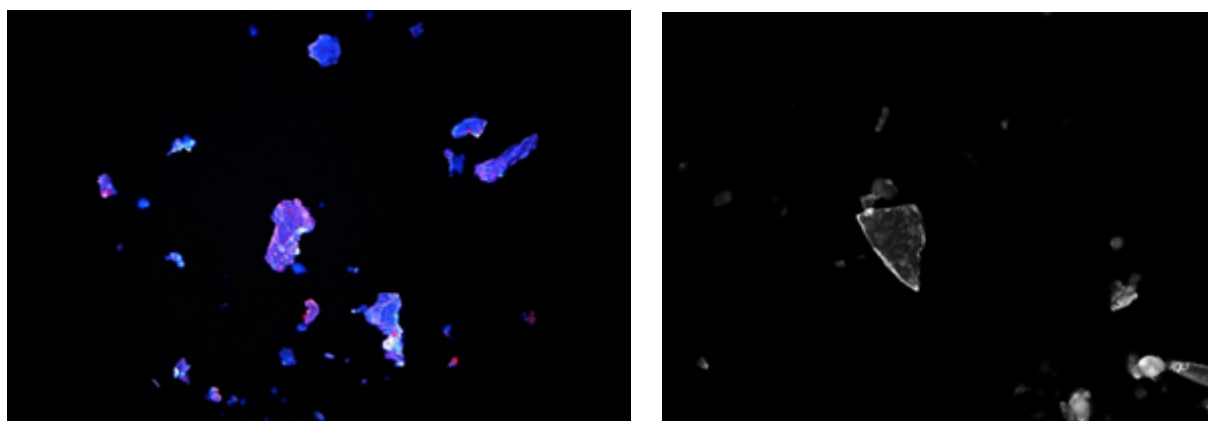


FIGURA 6. Composición de la microcápsula: Maltodextrina:WPC (mezcla 1:1) + Extracto de antocianinas

Los resultados microscópicos obtenidos, requieren de un proceso de estandarización por parte tanto de los investigadores que solicitaron el servicio como de los técnicos que intervinieron. Hasta el momento no se han publicado este tipo de fotografías de microscopía de fluorescencia en temáticas de microencapsulación, pero debido a toda la potencialidad explorada se cree que resultan en una novedad e innovación desde el punto del conocimiento de la morfología y ubicación de las antocianinas en la microcápsulas. Las imágenes obtenidas hasta el momento nos permiten hipotetizar que las antocianinas están distribuidas en toda la cápsula, tanto en la superficie como en el interior. Esto es lógico puesto que el procedimiento de encapsulación que se está utilizando consiste en que todos los componentes se encuentran disueltos o suspendidos en una única fase acuosa que después se congela y liofiliza.

Determinación de la vida útil del producto obtenido

Para determinar la vida útil del extracto concentrado de antocianinas y de las microcápsulas se realizó un ensayo acelerado colocando las muestras a 25, 50 y 60°C y determinando la concentración de antocianinas monoméricas totales cada 15 días. Los resultados se modelaron mediante una cinética de orden uno. En términos de tiempo de vida media, es decir, el tiempo que debe transcurrir para que la concentración de antocianinas monoméricas caiga por debajo del 50% de la concentración inicial, la temperatura provoca una degradación muy importante, siendo el tiempo de vida medio de 19 días a

25°C y de 4 y 2 días a 50 y 60°C respectivamente. En el caso de las microcápsulas el tiempo de vida medio más largo se verificó para la formulación WPC+Malt (0.7+0.3) fue de 488 días a 25°C, 222 días a 50°C y 167 días a 60°C. Comparando estos tiempos de vida medio queda demostrado el efecto protector de los materiales de pared contra la acción de la temperatura.

Adicionalmente, se calculó mediante la ecuación de Arrhenius y de Eyring distintos parámetros termodinámicos relacionados con la reacción de degradación de antocianinas. La mayor energía de activación calculada, 50.91 kJ/mol, correspondió al extracto de antocianinas. Por otro lado, la energía de activación para las microcápsulas estuvo en el orden de los 18-25 kJ/mol. La entalpía de reacción (ΔH) es una medida de la barrera energética que las moléculas reactivas deben superar (Scheckel & Sparks 2001). Los valores de ΔH entre 10 y 48 kJ/mol indican que la reacción de degradación es endotérmica. La entropía de activación (ΔS) es un parámetro relacionado con el ancho del punto de silla de la superficie de energía de reacción sobre la que las moléculas reaccionantes deben pasar como complejos activados (Scheckel & Sparks 2001). Los valores de ΔS entre -0.11 y -0.24 kJ/mol.K indican que la reacción es del tipo disociativo. La energía libre de activación de Gibbs (ΔG) se considera como la diferencia en energía libre entre el complejo activado y los reactivos a partir de los cuales este se formó (Scheckel & Sparks 2001). Los valores de ΔG alrededor de 80 kJ/mol indican que estas reacciones requieren energía para convertir los reactivos en productos.

Incorporación de las microcápsulas en la formulación de un alimento funcional

Se elaboró yogur a escala de laboratorio. Se adicionaron 5g de cápsulas cada 200g de mezcla inicial, se incubó a 37°C durante 5h y se realizaron ensayos reológicos en los yogures obtenidos con cada una de las cápsulas.

Las propiedades viscoelásticas de los yogures elaborados con distintas microcápsulas se presentan en la figura 7. El módulo de almacenamiento (G'), que representa el comportamiento como un sólido elástico se graficó con líneas rojas y con líneas azules se graficó el módulo de pérdida (G'') que representa la respuesta viscosa. El barrido de frecuencia permite inferir cómo es la microestructura del material bajo análisis. Cuando la fuerza aplicada es menor que la fuerza molecular o interna del material, entonces G' es mayor que G'' y el material tiene cierta capacidad para almacenar energía y debería ser capaz de regresar a su configuración inicial después de que la fuerza mecánica cese. En todas las formulaciones de yogur se observó que la gráfica de G' se encuentra por encima de G'' por lo cual se puede inferir que el yogur tiene una estructura interna con alta cohesividad. Además, el módulo de almacenamiento más elevado es el correspondiente a la formulación de yogur adicionada con WPC+Malt, esto significa que la estructura de este yogur es más consistente que la de las otras formulaciones. Por otro lado, la formulación con menor consistencia o estructura interna resultó ser la adicionada con cápsulas recubiertas con almidón, observando que tanto la G' como la G'' se encuentra inclusive por debajo de la formulación control a la cual no se le adicionaron microcápsulas.

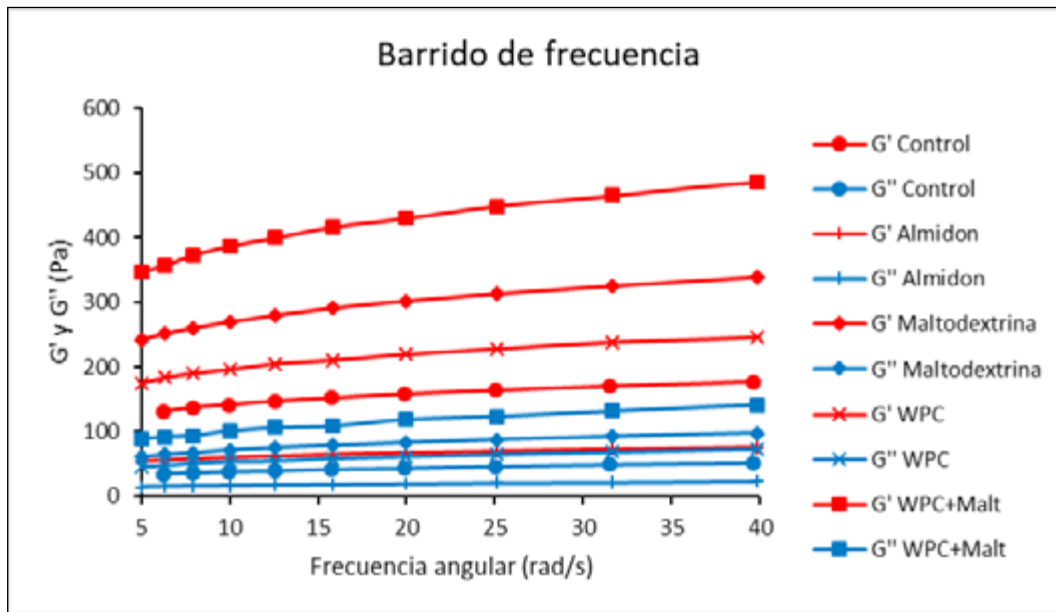


FIGURA 7. Ensayo oscilatorio. Barrido de Frecuencia

En segundo lugar, se realizó una caracterización reológica mediante un ensayo rotacional. En la figura 8 se pueden observar las curvas de flujo para cada formulación modeladas mediante la ley de potencia. Analizando las curvas se puede apreciar que todos los yogures presentan un comportamiento pseudoplástico.

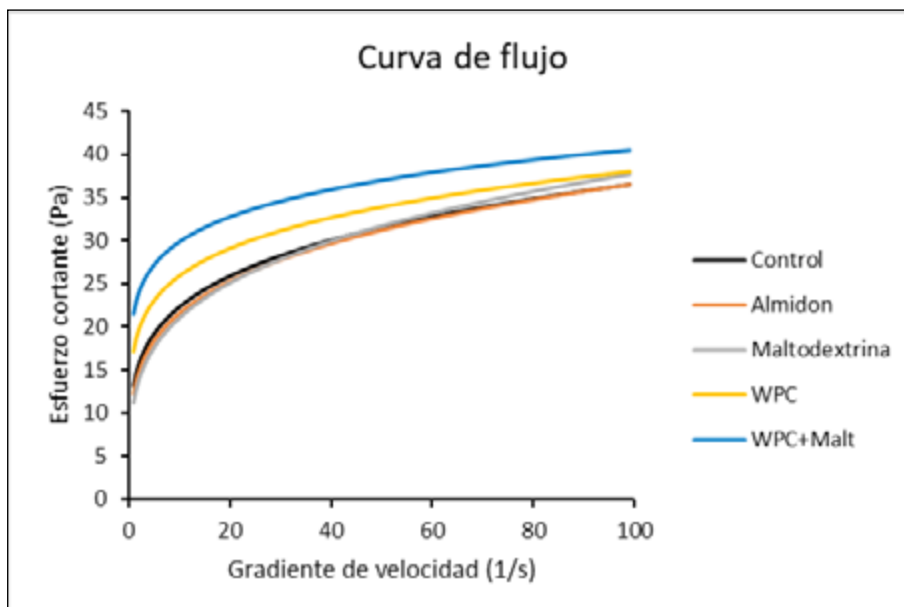


FIGURA 8. Curva de flujo para las distintas formulaciones de yogures

Los parámetros correspondientes al índice de consistencia (k) e índice de comportamiento al flujo (n) se presentan en la tabla 2. En todos los casos, por el valor de n menor a 1 se verifica un comportamiento pseudoplástico. Comparando los índices de consistencia se puede apreciar lo mismo que en el caso de lo observado en la figura 7, la formulación de yogur adicionada con cápsulas de WPC+Malt es la que mayor índice de consistencia tuvo, y la formulación con almidón presentó el menor índice de consistencia.

TABLA 2. Parámetros de la ley de potencia

	n	k	R ²
Control	0.22 ± 0.01	13.59 ± 1.24	0.94
Almidón	0.23 ± 0.01	12.71 ± 1.15	0.79
Maltodextrina	0.25 ± 0.02	11.78 ± 1.20	0.97
WPC	0.17 ± 0.05	17.69 ± 5.19	0.82
WPC+Malt	0.13 ± 0.01	22.06 ± 0.25	0.89

Evaluación de la biodisponibilidad in vitro de los compuestos bioactivos

Se realizó un ensayo de digestión in vitro, utilizando soluciones modelo para cada una de las fases digestivas. El contenido de antocianinas monoméricas totales durante el proceso de digestión in vitro se presenta en la tabla 3. En todos los casos se pudo observar una reducción del contenido de antocianinas al final de la digestión, esto puede deberse a la acción del pH y de las enzimas digestivas. Comparando la concentración de antocianinas en cada etapa y para cada matriz, se pudo observar que en el caso de las cápsulas de Maltodextrina y Almidón, hay un elevado contenido de antocianinas en la fase estomacal, que después decrece en la fase del intestino 1 y 2. Esto se debe a que estos dos materiales se disuelven en las soluciones modelos del estómago, liberando el contenido de antocianinas. En el caso del WPC y WPC+Malt se observó un comportamiento distinto, ya que hay una baja concentración de antocianinas en el estómago y una alta concentración en el intestino 1 y 2. Este resultado hace evidente que estas dos matrices encapsulantes permiten que las antocianinas resistan la fase estomacal y se liberen en el intestino. Resultados similares fueron informados para la digestión in vitro de cápsulas de antocianinas formadas con goma arábiga (Flores et al. 2014).

La importancia de los resultados obtenidos tanto en el caso de la maltodextrina y almidón como en el caso del WPC y WPC+Malt radica en que al primer grupo se lo puede clasificar como matrices de rápida liberación y pueden impartir citoprotección contra el estrés oxidativo en el estómago (Alvarez-Suarez et al. 2011; Ogawa et al. 2011). Por otro lado, el segundo grupo de cápsulas se pueden clasificar como de liberación controlada debido a la liberación sostenida de antocianinas durante todo el proceso digestivo. Por esta razón, este último grupo de cápsulas puede atenuar el estrés oxidativo posprandial de todo el tracto gastrointestinal (Flores et al. 2014).

TABLA 3. Concentración de antocianinas durante la digestión in vitro

	Inicial	Estómago	Intestino 1	Intestino 2
Maltodextrina	1206.4 ± 71.08	1214.04 ± 18.33	889.21 ± 56.79	579.99 ± 53.04
Almidón	1108.37 ± 60.25	1080.45 ± 11.39	937.85 ± 11.39	814.22 ± 28.05
WPC	1013.14 ± 71.50	282.6 ± 40.84	922.51 ± 48.47	869.66 ± 51.32
WPC+Malt	1015.49 ± 56.69	458.22 ± 20.33	766.63 ± 33.21	826.36 ± 26.88

Como conclusiones del presente proyecto de investigación se puede decir que fue posible obtener un extracto rico en antocianinas a partir de restos sólidos del proceso de elaboración de jugo de arándanos, recuperando de esta manera una importante cantidad de compuestos antioxidantes y agregando valor a un subproducto del citado proceso. Este extracto se concentró a vacío y mediante la tecnología de microencapsulación se obtuvo un producto con características convenientes para uso industrial, tanto por el elevado nivel de estabilidad obtenido como por la practicidad de su dosificación por tratarse de un polvo. La matriz encapsulante WPC+Malt resultó ser la mejor para todos los ensayos realizados. Desde el punto de vista funcional, el ensayo de digestión in vitro permitió determinar que la elección de la matriz encapsulante es determinante para direccionar la liberación de las antocianinas en la zona de interés según el tipo de funcionalidad deseada.

Indicadores de producción

Publicaciones

Actualmente el equipo investigador se encuentra redactando un artículo científico para publicar a nivel internacional los resultados obtenidos en el presente proyecto.

Castagnini, J. M., Zapata, L. M., Quinteros, C. F., & Noceti, A. (2017). Multiple response optimization of blueberry juice depectinization. *Ciencia Rural*, 47(4), 1–9.

Zampedri, C., Zampedri, P., Scattolaro, O., Zapata, L. M., Castagnini, J. M. ENVIADO. Evaluación de la biodisponibilidad in vitro de compuestos bioactivos de arándanos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*.

Zapata, L. M., Castagnini, J. M., Quinteros, C. F., Carlier, E., Jimenez-Veuthey, M., & Cabrera, C. (2016). Estabilidad de antocianinas durante el almacenamiento de jugos de arándanos. *Vitae*, 23(3), 175–185.

Presentaciones a congresos nacionales

Castagnini J. M., Zampedri C., Zampedri P., Flores A., Mongelat S., Scattolaro O., Quinteros F., Zapata L.M. Determinación de vida útil de microcápsulas de antocianinas. *I Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha de Frutas y Hortalizas*. 25-27 de octubre de 2017. Concordia. Entre Ríos.

Presentaciones a congresos internacionales

Castagnini, J. M., Rasia M.C., Zapata L.M., Capodoglio D.L., Zampedri C.A., Zampedri P. En prensa. Microencapsulación de antocianinas mediante liofilización. *Libro de trabajos completos del VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2016 (CICYTAC 2016)*.

Bibliografía

AKHAVAN MAHDAVI, S. et al., 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, pp.379–385.

ALVAREZ-SUAREZ, J.M. et al., 2011. Strawberry polyphenols attenuate ethanol-induced gastric lesions in rats by activation of antioxidant enzymes and attenuation of MDA increase. *PLoS ONE*, 6(10).

CASTAGNINI, J.M. et al., 2017. Multiple response optimization of blueberry juice depectinization. *Ciencia Rural*, 47(4), pp.1–9.

FERRARI, C.C. et al., 2012. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(6), pp.1237–1245.

FLORES, F.P. et al., 2013. Antioxidant and enzyme inhibitory activities of blueberry anthocyanins prepared using different solvents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(18), pp.4441–4447.

- FLORES, F.P. et al., 2015. In vitro release properties of encapsulated blueberry (*Vaccinium ashei*) extracts. *Food Chemistry*, 168, pp.225–232. Available at:
- FLORES, F.P. et al., 2014. Total phenolics content and antioxidant capacities of microencapsulated blueberry anthocyanins during in vitro digestion. *Food Chemistry*, 153, pp.272–278. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.063>.
- FLORES, G. et al., 2015. In vitro fermentation of anthocyanins encapsulated with cyclodextrins: Release, metabolism and influence on gut microbiota growth. *Journal of Functional Foods*, 16, pp.50–57.
- KUCK, L.S. & Noreña, C.P.Z., 2016. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 194, pp.569–576. Available at:
- OGAWA, K. et al., 2011. The protective effect and action mechanism of *vaccinium myrtillus* L. on gastric ulcer in mice. *Phytotherapy Research*, 25(8), pp.1160–1165.
- PAIM, D.R.S.F. et al., 2016. Microencapsulation of probiotic jussara (*Euterpe edulis* M.) juice by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, 74, pp.21–25. Available at:
- PERTUZATTI, P.B. et al., 2014. Antioxidant activity of hydrophilic and lipophilic extracts of Brazilian blueberries. *Food Chemistry*, 164, pp.81–88.
- ROCHA-PARRA, D.F. et al., 2016. "Influence of storage conditions on phenolic compounds stability, antioxidant capacity and colour of freeze-dried encapsulated red wine." *LWT - Food Science and Technology*, 70, pp.162–170.
- SANTANA, A.A. et al., 2016. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *Food Chemistry*, 212, pp.1–9.
- ŠAPONJAC, V.T. et al., 2017. Encapsulation of sour cherry pomace extract by freeze drying: Characterization and storage stability. *Acta Chimica Slovenica*, 64(2), pp.283–289.
- SCHECKEL, K.G. & Sparks, D.L., 2001. Temperature Effects on Nickel Sorption Kinetics at the Mineral–Water Interface. *Soil Science Society of America Journal*, 65(3), p.719.
- TATAR TURAN, F., Cengiz, A. & Kahyaoglu, T., 2015. Evaluation of ultrasonic nozzle with spray-drying as a novel method for the microencapsulation of blueberry's bioactive compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32, pp.136–145.
- WANG, B. et al., 2015. Microencapsulation of tuna oil fortified with the multiple lipophilic ingredients vitamins A, D3, E, K2, curcumin and coenzyme Q10. *Journal of Functional Foods*.
- WILKOWSKA, A. et al., 2016. Effect of Microencapsulation by Spray-Drying and Freeze-Drying Technique on the Antioxidant Properties of Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) Juice Polyphenolic Compounds. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(1), pp.11–16.
- YUAN, Y. et al., 2017. Complex coacervation of soy protein with chitosan: Constructing antioxidant microcapsule for algal oil delivery. *LWT - Food Science and Technology*, 75, pp.171–179.

PID 8082

Denominación del Proyecto

Microencapsulación de compuestos bioactivos

Director del proyecto

Juan Manuel CASTAGNINI

Unidad Ejecutora

Facultad de Ciencias de la Alimentación

Dependencia

Universidad Nacional de Entre Ríos

Área:

Ciencia y Tecnología de alimentos

Contacto

castagninij@fcal.uner.edu.ar - jmcastagnini@gmail.com

Integrantes del Proyecto

RASIA, Mercedes Carolina; CAPODOGLIO, Daniel Luis; AGOUT, María Fabiana;
CHACÓN, Carolina; GERARD, Jorge Amado

Becarios de iniciación a la investigación

SCATTOLARO, Ornella María

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

10-09-2015 y 09-09-2017

Aprobación del Informe Final por Resolución CS N° 111/18 (05-06-2018)

[<<< VOLVER AL INICIO](#)