



Optimización de la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides

Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with mixtures of hydrocolloids

Ana Arteaga¹; Hubert Arteaga^{2,*}

¹ Granja Las Casuarinas S.A.C Avda. Mansiche 2519-El Cortijo Trujillo Perú.

² Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias Norte 225, Campus Fernando Costa USP, CEP, 13635-900, Pirassununga, SP, Brasil.

Received May 12, 2016. Accepted June 28, 2016.

Resumen

El objetivo fue optimizar la capacidad antioxidante (CAX), contenido de antocianinas (CA) y capacidad de rehidratación (CR) de polvo de arándano microencapsulado; en función de la mezcla de hidrocoloides goma arábica, maltodextrina y almidón modificado. Se utilizó arándano de la variedad Biloxi en estado maduro del cual se extrajo el zumo, y se preparó disoluciones cuya composición en masa fue de 85% de zumo y 15% de mezclas de goma arábica, maltodextrina y almidón modificado en diferente proporción según el diseño simplex con centroide ampliado. La microencapsulación se realizó mediante el secado por atomización a una temperatura de 120 °C obteniéndose polvo de arándano microencapsulado, al que se determinó la CAX, el CA y la CR. Se realizó un ANVA para los modelos de regresión eligiéndose el que presentó significancia ($p < 0,05$) y buen ajuste ($R^2_{aj} > 0,7$). El modelo que resultó significativo ($p < 0,03$) y con buen ajuste ($R^2_{aj} > 0,9$) fue el especial cubico, a partir del cual los valores que maximizan la CAX (52,7% de inhibición) y CA (81,56 mg cianidina 3-glucosido / 100 g), fueron: maltodextrina (11,89%), almidón modificado (12,13%) y goma arábica (75,98%). Sin embargo, para CR las proporciones utilizadas de los microencapsulantes no tuvieron efecto significativo.

Palabras clave: arándano, microencapsulación, antocianinas, capacidad antioxidante, capacidad de rehidratación.

Abstract

The aim this work was to optimize the antioxidant capacity (CAX), anthocyanins (CA) and rehydration (CR) microencapsulated powder cranberry; based on the mixture of hydrocolloids gum arabic, maltodextrin and modified starch. Cranberry variety Biloxi was used in mature state which the juice is extracted, and solutions were prepared whose composition by weight was 85% juice and 15% of mixtures of gum arabic, maltodextrin and modified starch in different proportions according to the design simplex with extended centroid. Microencapsulation was performed by spray drying at a temperature of 120 °C to obtain microencapsulated cranberry powder, which CAX, CA and CR were determined. ANOVA was performed for regression models being chosen that showed significance ($p < 0.05$) and good fit ($R^2_{aj} > 0.7$). The model was significant ($p < 0.03$) and with good fit ($R^2_{aj} > 0.9$) was the special cubico, from which the values that maximize the CAX (52.7% inhibition) and CA (81.56 mg cyanidin 3-glucoside / 100 g) were maltodextrin (11.89%), as amended (12.13%) starch and gum arabic (75.98%). However, the proportions used for CR of microencapsulating had no significant effect.

Keywords: blueberry, microencapsulation, anthocyanins, antioxidant capacity, rehydration capacity.

* Corresponding author

E-mail: harteaga@unitru.edu.pe (H. Arteaga).

© 2016 All rights reserved.

DOI: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.05

1. Introducción

El arándano (*Vaccinium corymbosum*) es una planta nativa del hemisferio norte; esta fruta es muy reconocida por sus potenciales beneficios para la salud (Muñoz *et al.*, 2008). Dicho efecto protector está asociado en gran medida a la capacidad antioxidante de distintos fotoquímicos capaces de prevenir o ralentizar los procesos oxidativos que intervienen en numerosas patologías. Los compuestos fenólicos son los principales responsables de dicha capacidad antioxidante, siendo los frutos del arándano una de las mejores fuentes de fenoles de distinta naturaleza; ácidos fenólicos, flavonoles, antocianinas y proantocianidinas (Vásquez *et al.*, 2012). Por eso surge la importancia de conservar estos compuestos en los alimentos que lo contienen como es el caso del arándano, siendo la microencapsulación uno de los métodos para este fin.

El proceso de microencapsulación consiste en el empaquetamiento de materiales sólidos, líquidos o gaseosos a través de la aplicación de una cubierta delgada denominada pared, sobre partículas de tamaño del orden de los micrones, de esta forma se obtienen microcápsulas que consisten de una membrana semipermeable, fuerte y delgada de un material polimérico que rodea y contiene a la sustancia de interés, denominada centro o núcleo activo. Estas microcápsulas pueden liberar su contenido a velocidades controladas bajo condiciones específicas a la vez que protege al compuesto encapsulado de la luz y el oxígeno, cumpliendo de esta manera la función de conservación de propiedades biológicas o fisicoquímicas. Las sustancias que pueden ser microencapsuladas son vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, saborizantes, antioxidantes, aceites esenciales y enzimas (Parzanese, 2013).

El método más utilizado para la microencapsulación es el secado por aspersion ya que es capaz de transformar una disolución, una emulsión, una suspensión o una dispersión líquida en un

producto totalmente seco y estable. Este tipo de secado es ampliamente utilizado en la industria de los alimentos por ser un método efectivo en la encapsulación de diversos materiales (Lozano, 2009). El método se basa en atomizar la solución que va a ser secada en forma de gotas muy finas, en el seno de una corriente de gas caliente que generalmente es aire. Se forman partículas de geometría esférica, con aspecto de esferillas huecas con un diámetro que puede estar entre los 20 μm y hasta los 200 μm . El aire caliente introducido alcanza una temperatura que oscila entre 100 y 200 $^{\circ}\text{C}$. A pesar de la temperatura relativamente alta del aire, las gotas del líquido atomizado se calientan solo hasta 40 $^{\circ}\text{C}$ debido a la corta duración del secado (fracciones de segundo), lo que evita la degradación del producto, ya que, a pesar del aporte de aire caliente este sustrae calor por la vaporización del disolvente. Este método se puede utilizar en operaciones de recubrimiento de sólidos y líquidos porque a medida que se evapora el disolvente, el material de recubrimiento envuelve las partículas, lo que puede ser útil para enmascarar olores y sabores (López, 2010).

Los materiales encapsulantes o de recubrimiento son muy diversos, entre ellos tenemos hidrocoloides dentro los cuales se destacan almidón, maltodextrina, jarabe de maíz, goma arábica, agar, fibras y carbometilcelulosa; lípidos como ácido esteárico, mono y diglicéridos y lecitinas y proteínas como la gelatina, caseína, lactosuero, soya y trigo (Parra, 2011).

Las maltodextrinas, se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones, están constituidos por una mezcla de carbohidratos con diferentes grados de polimerización, estas presentan diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales, que las han convertido en uno de los aditivos más ampliamente utilizados en la industria alimentaria (Medina, 2013). En la microencapsulación, la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, está disponible en

diferentes pesos moleculares, son inodoras, incoloras y permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original, lo cual hace que sean extensivamente utilizados en la industria de alimentos (García *et al.*, 2004).

Los almidones modificados, productos del tratamiento de almidones nativos, presentan otras propiedades funcionales, por lo que generalmente se emplean más que los almidones nativos; estos productos pueden ser modificados para utilizarse como agentes estabilizadores, emulsionantes, humectantes, espesantes, etc. (Hoagland, 1978).

Así mismo, uno de los microencapsulantes más utilizados, además de las maltodextrinas y almidones, es la goma arábiga (Kanakdande *et al.*, 2007). Por sus características de baja viscosidad, buena eficiencia, solubilidad y formación de emulsiones, el agente encapsulante que reúne las mejores características, es la goma arábiga. Este es un polisacárido complejo con una estructura altamente ramificada, con una cadena principal formada por unidades D-galactopiranosas que es capaz de producir emulsiones estables en un amplio rango de pH (Reyes, 2010). La goma arábiga puede utilizarse como recubrimiento de materiales en combinación con otros encapsulantes, como por ejemplo la goma xantana, maltodextrina, o con almidón modificado y maltodextrina a la vez (Maisuthisakul y Gordon, 2012).

La goma arábiga en combinación con estos agentes (la maltodextrina y el almidón modificado) dan una mejor eficiencia y estabilidad en la encapsulación (Kanakdande *et al.*, 2007). En una mezcla del 30% w/v entre goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado se determinó que la combinación ternaria: goma arábiga (74,5%), maltodextrina (12,75%) y almidón modificado (12,75%) proporcionan una mejor protección a la oleorresina de comino microencapsulada, incluso mejor que la goma arábiga sola (Kanakdande *et al.*, 2007). En la microencapsulación de extracto de semilla

de mango demuestra que con la combinación de goma arábiga (5,95%), maltodextrina (23,9%) y alginato (0,11%) se logra obtener una buena estabilidad en el sistema de emulsión y eficiencia en el producto microencapsulado (Maisuthisakul y Gordon, 2012). En jugo natural de naranja se utilizaron goma arábiga y maltodextrina como agentes microencapsulantes, los resultados mostraron mayor protección de azúcar y vitamina C, gracias a la goma arábiga (2,5%); y mejor humedad, gracias a la maltodextrina (5%). Los tratamientos dieron resultados altamente significativos en las diferentes combinaciones estudiadas (Naddaf *et al.*, 2012). La eficacia de la combinación de estos agentes microencapsulantes ha sido demostrada en más investigaciones y con diferentes productos para lograr mejores propiedades en el producto final y la conservación de compuestos importantes; entre ellos las antocianinas.

Las antocianinas son sustancias altamente coloreadas encontradas en las plantas; son utilizadas en preparaciones alimenticias, nutraceúticas y farmacéuticas. Los factores que afectan el color y la estabilidad de antocianinas incluyen estructura y concentración, pH, temperatura, luz, presencia de co-pigmentos, enzimas, oxígeno, ácido ascórbico, azúcar y sus productos de degradación, proteínas y dióxido de sulfuro. La microencapsulación al utilizar secado por aspersión, es un método económico para la preservación de estos colorantes naturales (Ersus y Yurdagel, 2007). En la microencapsulación de antocianinas contenidas en la berenjena se observaron que los mayores porcentajes de retención de antocianinas en las microcápsulas se dieron al utilizar el 30% de maltodextrina como agente encapsulante (Arrazola *et al.*, 2014).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la proporción en mezcla de los hidrocoloides; goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado, sobre la capacidad antioxidante, capacidad de rehidratación y contenido de antocianinas en polvo de arándano microencapsulado.

2. Materiales y métodos

2.1 Obtención de polvo microencapsulado de arándano

Se utilizó arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) variedad Biloxi proveniente de la provincia de Virú, se seleccionaron a los frutos enteros, maduros y sin presencia microbiana y se clasificaron en función al color (azul) y calibre (4 - 6 cm), lavados y desinfectados con solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm por inmersión a 10 min, escaldados a una temperatura de 95 °C por 1 min para evitar la acción de las polifenoloxidasas (PFO) y enfriados en agua potable fría a 5°C hasta temperatura ambiente y se registró el peso en balanza semianalítica (0,01 g). Se procedió a un pulpeado en una pulpeadora Vulkano, que utilizó un tamiz con luz de malla de 5 mm, la pulpa se filtró con luz de malla de 3 mm y se registró su peso (el rendimiento de pulpa respecto al fruto fue de 72,79%). Se mezcló goma arábica, maltodextrina y almidón entrecruzado de maíz (que representan el 15%) según las proporciones especificadas en el diseño simplex con centroide ampliado; se disolvieron en 50 mL de agua destilada a 45 °C, para luego agregar a 850 g de pulpa (85%) contenida en vasos de precipitados de 1 L, agitando por 10 min para formar una disolución completa, la que se pesó y vació en la tolva del Secador por atomización (Bowen Laboratory Spray-aire) que estuvo en precalentamiento por 10 min para llegar a la temperatura de 120 °C en la entrada de la cámara de secado y 70 °C para la salida, la disolución fue succionada por el atomizador en tiempos variables dependiendo de la viscosidad formada por la disolución en cada tratamiento teniendo un rango de 5 a 10 min. Se obtuvo el polvo microencapsulado de arándano al que se registró el peso para determinar el rendimiento, se envasó en bolsas de polietileno de alta densidad la que se colocó en envases de vidrio con tapa hermética y recubiertos con papel aluminio para dar la estabilidad al producto frente a los factores ambientales.

Análisis fisicoquímicos

En la pulpa de arándano se determinó el pH (método potenciométrico 947.05 AOAC), Acidez (%) (Método de Titulación 942.15 AOAC), Humedad (%) (Método gravimétrico 950.46 AOAC), Brix (método refractométrico 932.14C AOAC), Capacidad antioxidante (método DPPH) y Contenido de antocianinas (método de pH diferencial).

$$A = \frac{(A_{515nm} - A_{700nm})_{pH\ 1} - (A_{515nm} - A_{700nm})_{pH\ 4,5}}$$

$$\text{Antocianinas monoméricas (mg/100g)} = \frac{(A.PM.FD.100)}{\varepsilon}$$

Dónde A (Absorbancia), PM (Peso molecular de cianidin-3-glucosido 449.2 g/mol), FD (Factor de dilución 500) y ε (Absortividad molar 26900 L/mol.cm).

En el polvo de arándano microencapsulado además de lo determinado en la pulpa de arándano se determinó la capacidad de rehidratación por el método propuesto por Monteagudo *et al.* (2011).

$$SD = \frac{SS}{ST}$$

Dónde SD (Fracción de material disuelto), SS (Sólidos solubles) y ST (Sólidos totales).

2.2 Diseño y Análisis Estadístico

Se utilizó el diseño de mezclas simplex con centroide ampliado, con restricciones para maltodextrina (8 - 18%), almidón modificado (8 - 18%) y goma arábica (74-84%). Se realizó un ANVA para los modelos generados (lineal, cuadrático y especial cubico) así como su grado de ajuste, a partir del cual se eligió el mejor modelo ($p < 0,05$ y $R^2_{aj} > 0,9$), y se optimizó por superposición de superficies.

3. Resultados y discusión

3.1 Características fisicoquímicas del arándano variedad biloxi

La Tabla 1 presenta las características fisicoquímicas del arándano variedad biloxi; según Vilches (2005) la pulpa de

arándano maduro presenta un contenido de sólidos solubles en un rango de 10 a 15 °Brix; coincidiendo con el valor reportado en esta investigación.

Tabla 1

Características fisicoquímicas del arándano variedad biloxi

Característica fisicoquímica	Reporte	Unidad
Sólidos solubles	10,90 ± 0,100	°Brix
Acidez titulable	0,74 ± 0,010	% Ácido cítrico
pH	3,40 ± 0,010	
Humedad	92,00 ± 1,000	%
Contenido de antocianinas	89,62 ± 0,002	mg Cianidina 3-glucosido/100 g
Capacidad antioxidante	70,24 ± 0,010	% Inhibición

El porcentaje de acidez del arándano utilizado en la presente investigación (0,74 %) es similar al valor reportado por INIA (2010) de 0,75% para el fruto fresco. En cuanto al contenido de antocianinas, el valor encontrado fue cercano al reportado por Ścibisz y Mitek (2007), quienes señalan un valor de 137,6 mg cianidina 3-glucósido/100 g; sin embargo, Carpio *et al.* (2009) y Santacruz (2011) señalan que el contenido de antocianinas en el arándano puede llegar a niveles de 300 – 320 mg / 100 g.

3.2 Rendimiento, capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación del polvo de arándano microencapsulado

3.2.1 Rendimiento del polvo de arándano microencapsulado

En la Tabla 2 se muestran los rendimientos para cada muestra microencapsulada, siendo los ensayos 5 y 6 los que presentan los mayores rendimientos (12,09% y 11,80%, respectivamente) en ambos ensayos del 15% de la mezcla constituido por los agentes microencapsulantes, 79% son de goma arábica; pudiendo ser esta la cantidad más adecuada para lograr un mejor rendimiento. Gupta *et al.* (2015)

precisan que la goma arábica presenta una baja viscosidad en comparación de otras gomias, buena emulsificación, buena estabilidad y propiedades formadoras de película, serian estas características las que permiten obtener un mejor rendimiento en el producto final. Así mismo, se evidenció su poca adherencia durante la atomización, a diferencia de la maltodextrina y el almidón modificado, concretando un mayor rendimiento. López *et al.* (2009) manifiestan que un factor importante en el rendimiento final de la microencapsulación, es la concentración de sólidos; es así, que una alta concentración de sólidos totales incrementa el rendimiento del producto final.

Para lo cual Lopez *et al.* (2009) y García *et al.* (2004) indican que la maltodextrina es uno de los elementos más empleados para mejorar el rendimiento en los productos obtenidos por atomización; ya que al ser oligosacárido aumenta los °Brix. Sin embargo se observa que el menor rendimiento (5,57%) se da al tener la mayor cantidad de maltodextrina (18%), esto parece contradecir la teoría mencionada por los autores, ya que, al tener mayor proporción en la mezcla, aumentaría más los sólidos totales y por lo tanto el rendimiento, esta contradicción se podría explicar por la mayor adherencia que presenta la maltodextrina durante la atomización en las paredes de la cámara, que concuerda con Arrazola *et al.* (2014) quienes microencapsularon berenjena utilizando maltodextrina y observaron que las pérdidas de polvo durante el secado por pulverización asociadas al bajo rendimiento se debieron principalmente a la aglomeración de algunas partículas del polvo que se deposita sobre la pared de la cámara secadora, y en el ciclón.

Tonon *et al.* (2008) agregan un efecto negativo de la concentración de maltodextrina en el rendimiento del proceso, esto debido a la viscosidad de la mezcla, que se incrementó exponencialmente con esta variable.

Tabla 2

Capacidad antioxidante (% Inhibición), capacidad de rehidratación (SD) y contenido de antocianinas del polvo de arándano microencapsulado

Ensayo	Maltodextrina (%)	Almidón modificado (%)	Goma arábica (%)	Rendimiento (%)	Capacidad antioxidante (%Inhibición)	Antocianinas (mg/100 gms)	SD
1	18,00	8,00	74,00	5,57	46,02	56,78	0,10
2	8,00	18,00	74,00	9,74	48,43	60,12	0,11
3	8,00	8,00	84,00	9,43	51,11	70,97	0,11
4	13,00	13,00	74,00	10,96	51,57	76,59	0,11
5	13,00	8,00	79,00	12,09	41,39	55,94	0,11
6	8,00	13,00	79,00	11,80	42,41	57,61	0,11
7	11,33	11,33	77,33	9,45	52,22	78,49	0,12
8	14,67	9,67	75,67	9,97	46,48	71,81	0,11
9	9,67	14,67	75,67	8,82	51,76	74,31	0,10
10	9,67	9,67	80,67	10,48	47,04	71,81	0,12

Este aumento de la viscosidad de alimentación causa que los sólidos se adhieren en la pared de la cámara principal; por lo que se puede afirmar que el rango de concentración de maltodextrina que permite mejores rendimientos en polvo de arándano microencapsulado varía entre 8 - 13% al igual que para el almidón modificado, pasado este rango los resultados ya no son favorables, al respecto Krishnan *et al.* (2005) señala que estos microencapsulantes tiene propiedades funcionales similares a la goma arábica; sin embargo, no se pueden utilizar en altas concentraciones ya que este tiende a adherirse en las paredes del atomizador durante el proceso, al igual que la maltodextrina. Este hecho lo explica Hoagland (1978) quien indica que este tipo de almidones presentan propiedades espesantes, y gelatinizantes (a 65 °C), lo cual provocó su adherencia a las paredes del atomizador.

3.2.2 Capacidad antioxidante y contenido de antocianinas

En la Tabla 2 se muestra que para la capacidad antioxidante y contenido de antocianinas el ensayo que presenta los valores más altos de estas variables es el ensayo 7 con una capacidad antioxidante del 52,22% y contenido de antocianinas 78,49 mg cianidina 3-glucósido / 100 g. Comparando respecto al arándano fresco (capacidad antioxidante 70,24 % y

contenido de antocianinas 89,62 mg cianidina 3-glucósido / 100 g) se puede observar una pérdida del 25% en la capacidad antioxidante y del 12% en el contenido de antocianinas. Jiménez (2011) utilizando la goma de mezquite para secar por aspersion el extracto de arándanos, evidenció una pérdida de fenoles, actividad antioxidante y antocianinas totales de 26, 17 y 24 % respectivamente, cuando la temperatura de entrada del aire al secador era de 160 °C.

En jugos de "Bayberry" secados por aspersion se determinaron que la perdida de la actividad antioxidante, el contenido de fenoles y antocianinas totales era del 4, 6 y 6%, respectivamente, cuando la temperatura de entrada del aire al secador era de 80 °C (Fang y Bhandari, 2011). En jugo de acai el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante disminuía en un 12,9 y 5,2% tras el secado por aspersion, cuando la temperatura de entrada del aire al secador era de 140 °C (Tonon *et al.*, 2010). Georgetti *et al.* (2008) encontraron que el extracto metanólico de soya perdía el 65,5% de fenoles totales y el 45,45% de la actividad antioxidante, luego de ser secado por aspersion con una temperatura de entrada del aire al secador fue 150 °C.

Ungar *et al.* (2003) señalan que debido a que en el secado por aspersion interviene de forma directa el calor, el fenómeno deletéreo más importante es la degradación térmica, la perdida de la actividad

antioxidante puede deberse a la degradación térmica de los fenoles y otros metabolitos antioxidantes, que son compuestos termolábiles. En la degradación térmica los compuestos químicos sufren cambios significativos en su estructura (pérdida de uno o más átomos de la estructura fundamental) debido a la acción de altas temperatura, resultando en una pérdida de las propiedades del compuesto. En el secado por aspersión se alcanzan temperaturas de entrada del aire superiores a 80°C, esto conlleva al rompimiento de los grupos químicos funcionales por hidrólisis, tanto en la cadena principal como en los sustituyentes laterales de los compuestos antioxidantes. Falcão *et al.* (2003) señalan que además de la temperatura, el oxígeno es otro de los agentes específico en la destrucción de compuestos antioxidantes (antocianinas), este puede causar degradación de las antocianinas por un mecanismo de oxidación directo y/o por oxidación indirecta, lo cual explicaría la pérdida de estos compuestos durante todo el proceso. Garzón (2008) el efecto del oxígeno y el ácido ascórbico sobre la estabilidad de las antocianinas se encuentra relacionado. El ácido ascórbico decolora las antocianinas en presencia de oxígeno y de iones cobre o hierro por formación de peróxido de hidrogeno, produciéndose la degradación de ambos compuestos cuando se almacenan por tiempos prolongados.

En los resultados obtenidos se evidencia una relación positiva directa entre la capacidad antioxidante y el contenido de antocianinas; esto concuerda con lo señalado por Wu *et al.* (2004) quien evaluó la relación entre la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles de varias frutas y vegetales.

3.2.3 Capacidad de rehidratación

En la Tabla 2, la capacidad de rehidratación está representada por la fracción másica del material disuelto SD; siguiendo la misma metodología utilizada por Monteagudo *et al.* (2011) y Cervera *et al.*

(2013) al medir la capacidad de rehidratación de kiwi en polvo. Su interpretación es mientras mayor sea el contenido de sólidos solubles, mayor capacidad de rehidratación tendrá la muestra. El ensayo con menor capacidad de rehidratación es el ensayo 1 donde la proporción de microencapsulantes es: 18% de maltodextrina, 8% almidón modificado y 74% goma arábiga, observándose así que este es el ensayo con mayor proporción de maltodextrina en comparación de los otros ensayos.

García *et al.* (2004) al medir la capacidad de rehidratación en jugo de cebada verde en polvo, noto que los polvos con mayor contenido de maltodextrina (5%), presentaron mayor aglomeramiento en sus partículas y se humedecieron más lentamente. Asimismo, Gupta *et al.* (2015) señala que la maltodextrina tiene una pobre higroscopicidad. El tiempo que las muestran tardaron en rehidratarse, presentaron un valor promedio de 1,5 h; similar al reportado por García *et al.* (2004).

En la Figura 1 se observa el producto final obtenido de cada ensayo realizado, el polvo microencapsulado muestra buenas características sensoriales, muy similares al polvo de arándano microencapsulado por Jiménez *et al.* (2011).

3.3 Análisis estadístico

Del ANOVA para los modelos lineal, cuadrático y cubico especial, el que resultó significativo y con buen ajuste fue el especial cúbico tanto para la capacidad antioxidante ($p = 0,028$ y $R^2 = 0,94$) y el contenido de antocianinas ($p = 0,003$ y $R^2 = 0,99$). El análisis de regresión del modelo especial cubico, se encontró que todos los coeficientes son significativos, por lo que obtuvieron los siguientes modelos para la Capacidad antioxidante (CAx) y Contenido de antocianinas (CA).

$$CA_x = 87,75A + 87,24B + 3,59C - 6,81AB - 0,88AC - 0,87BC + 0,06ABC$$

$$CA = 165,14A + 165,15B + 6,55C - 13,82AB - 1,67AC - 1,67BC + 0,13ABC$$

Dónde A = maltodextrina, B = Almidón modificado y C = Goma arábiga.

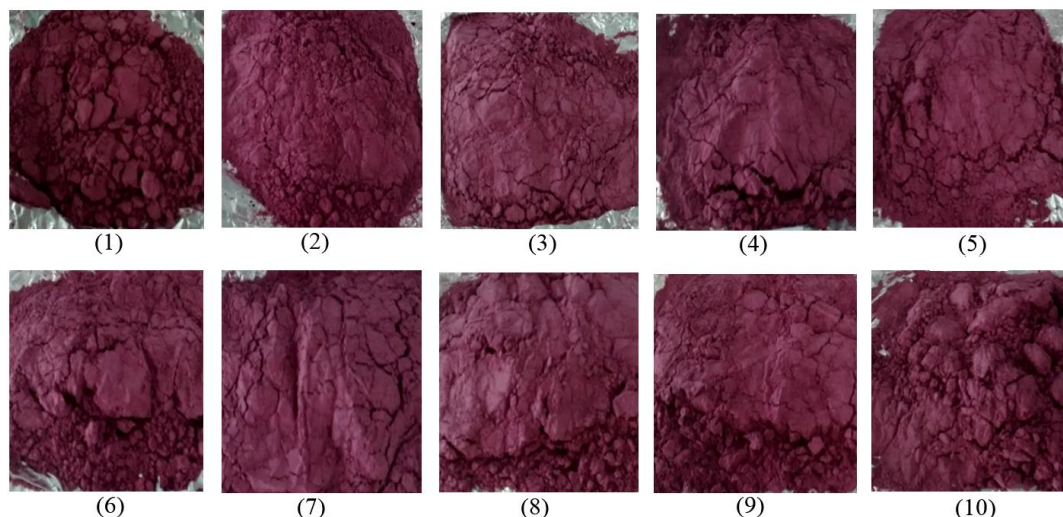


Figura 1. Polvo de arándano microencapsulado. Los números corresponden a cada ensayo mostrado en la Tabla 2.

3.4 Análisis de superficie de respuesta

En las figuras 2 (a y b) se observan las proporciones óptimas de los microencapsulantes que se necesitan para minimizar la pérdida de la capacidad antioxidante (2a) y el contenido de antocianinas (2b).

La figura 2c indica la máxima capacidad antioxidante y contenido de antocianinas siendo 52,7 % inhibición (con límites de confianza de 49,05 a 56,38%) y 81,56 mg cianidina 3-glucosido /100 g (con límites de confianza de 78,30 a 84,83%) respectivamente, estos resultados se obtienen a las condiciones de maltodextrina (11,89 %), almidón modificado (12,13 %) y goma arábiga (75,98 %).

Estas cantidades indican que las proporciones de maltodextrina y almidón modificado deben ser similares, esto concuerda con diversos estudios tales como los realizados por Krishnan *et al.* (2005) quien utilizó también una mezcla de estos 3 microencapsulantes en diferentes proporciones para microencapsular oleoresina de cardamomo, determinando que los resultados más adecuados para lograr la conservación y estabilidad de algunos componentes volátiles microencapsulados son goma arábiga, maltodextrina, almidón modificado en la proporción 4/6:1/6:1/6. Gupta *et al.* (2015) utilizaron para la microencapsulación de hierro de leche fortificada una mezcla de goma arábiga,

maltodextrina y almidón modificado, siendo la mejor proporción 4:1:1 con la cual se logró la máxima eficiencia (91,58%) y estabilidad de las microcápsulas. Kanakdande *et al.* (2007) microencapsularon oleoresina de comino y determinaron que en una mezcla del 30% w/v entre goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado la combinación ternaria más adecuada fue: goma arábiga (74,5%), maltodextrina (12,75%) y almidón modificado (12,75%), con esta mezcla se logra una mejor protección del producto, incluso mejor que utilizando la goma arábiga sola.

4. Conclusiones

La proporción en mezcla de los hidrocoloides microencapsulantes que maximiza la retención de capacidad antioxidante y contenido de antocianinas a 52,7 % inhibición y 81,56 mg cianidina 3-glucosido / 100 g respectivamente a través del modelo especial cúbico es malto-dextrina (11,89 %), almidón modificado (12,13 %) y goma arábiga (75,98 %). En tanto para la capacidad de rehidratación se determinó que las proporciones utilizadas de los microencapsulantes no tienen efecto significativo. Estos resultados pueden servir como una opción tecnológica para el aprovechamiento de frutos de descarte que contienen sustancias funcionales, como el arándano.

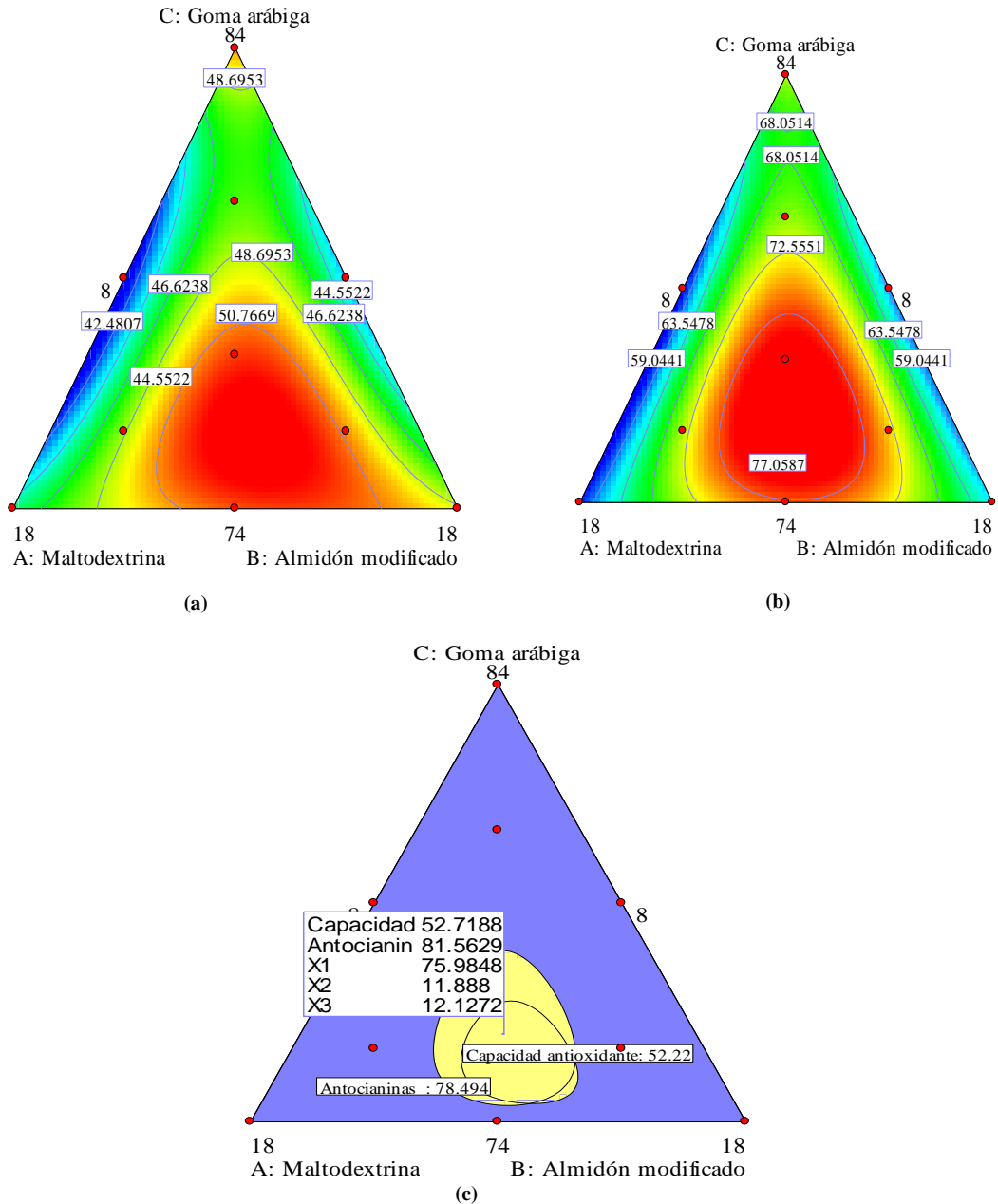


Figura 2. Superficies de respuesta para la capacidad antioxidante (a) y contenido de antocianinas (b) en polvo de arándano microencapsulado (c) Superposición de superficies que optimizan el proceso.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al financiamiento de CIENCIACTIVA, iniciativa del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC); Contrato (271) - (2015) - FONDECYT.

Referencias

- Arrazola, G.; Herazo, I.; Alvis, A. 2014. Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum elongata* L.) mediante secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. Información Tecnológica 25(3): 31-42.
- Carpio, C.; Serrano, C.; Giusti, M. 2009. Caracterización de las antocianinas de los frutos de *Berberis boliviana* Lechler. Rev Soc Quim Peru 75 (1): 76-86.

- Cervera, J.; Benlloch, M.; García, M.; Martínez, N. 2013. Optimización de un proceso de secado combinado para obtener kiwi en polvo de alta calidad. . Universidad Politécnica de Valencia. Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria (CUINA). España. 18 pp.
- Ersus, S.; Yurdagel, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering* 80(3): 805-812.
- Falcão, L. 2003. Estabilidade de antocianinas extraídas de uvas Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) em solução tampão, bebida isotônica e iogurte. Mestre em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil. 226 pp.
- Fang, Z.; Bhandari, C. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry* 129(3): 1139-1147.
- García, G.; González, M.; Ochoa, M.; Medrano, Y.H. 2004. Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(4): 262-266.
- Garzón, G. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. Revisión. *Acta biol. Colomb.* 13(3): 27-36.
- Georgetti, S.; Casagrande, R.; Fernandes-Souza, C.; Oliveir, W.; Fonseca, M. 2008. Spray drying of the soybean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology* 41: 1521-1527.
- Gupta, C.; Chawla, P.; Arora, S.; Tomar, S.; Singh, A. 2015. Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent vaporation method e Milkfortification. *Rev. Food Hydrocolloids* (43): 622-628.
- Hoagland, M. 1978. *Food chemistry*. The publishing Company, Inc. 3^{ra} Ed. Wesport Connecticut. 75 pp.
- INIA. 2010. *Avances de Resultados de Investigación en Arándanos*. Programa de Investigación en Producción Frutícola Serie de Actividades de Difusión N° 607. Salto Grande, Uruguay.
- Jiménez, A. 2011. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(6): 889-894.
- Kanakdande, D.; Bhosale, R.; Singhal, R. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers* 67(4): 536-541.
- Krishnan, S.; Bhosale, R.; Singhal, R. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers* 61(1): 95-102.
- Lopez, B.; Carbajal, L.; Millan, L. 2009. Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiacal*) para someter a secado por aspersión. Universidad de Antioquia. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 16(3): 287-296.
- López, O. 2010. Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia* 44(3): 381-389.
- Lozano, M. 2009. Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad politécnica de Cartagena. Titulación: Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Química Industrial. 68 pp.
- Maisuthisakul, P.; Gordon, M. 2012. Influence of polysaccharides and storage during process sing on the properties of mango seed kernel extract (microencapsulation). *Food Chemistry* 134: 1453-1460.
- Medina, L. 2013. Obtención de malto dextrinas por vía enzimática a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*). Instituto Politécnico Nacional. México. 4 pp.
- Monteagudo, G.; Benlloch, M.; Camacho, M.; Moraga, G. 2011. Aplicación de métodos combinados para la obtención de kiwi en polvo de alta calidad. Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. España.
- Muñoz, C.; Maihua, R.; Peralta, F.; Tereschuk, M.; Gonzales, M.; Albarracin, P. 2008. Análisis de antocianinas en arándanos del Noa. Universidad Nacional de Tucumán. Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial. Argentina.
- Naddaf, L.; Avalo, B.; Oliveros, M. 2012. Secado por aspersión de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Revista Téc. Ing. Univ. Zulia* 35(1): 20 – 27.
- Parra, R. 2011. Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63(2): 5669-5684.
- Parzanese, M. 2013. *Tecnologías de la industria alimentaria: Microencapsulación*. Ficha N° 20. Alimentos Argentinos – MinAgri. 12 pp.
- Reyes, L. 2010. Optimización y caracterización de la microencapsulación de la proteasa hemisférica refinada. Instituto Politécnico Nacional. México. 14 pp.
- Santacruz, L. 2011. Análisis químico de antocianinas en frutos silvestres colombianos. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Colombia. 106 pp.
- Ścibisz, I.; Mitek, M. 2007. The changes of antioxidant properties in high bush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during freezing and long-term frozen storage. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 6(4): 75-82.
- Tanon, R.; Brabet, C.; Hubinger, M. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International* 43(3): 907-914.
- Vásquez, S.; Guillen, R.; Jaramillo, S.; Jimenez, A.; Rodríguez, R. 2012. Funcionalidad de distintas variedades de arándanos. VII Congreso Español de Ingeniería de Alimentos. 07 – 09 noviembre 2012. Universidad de Castilla - La Mancha. España.
- Vilches, F. 2005. *Formulación y elaboración de un “snack” de arándano con incorporación de fibra dietética*. Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Mención: Tecnología de los Alimentos. Universidad de Chile facultad de ciencias agronómicas. Chile. 50 pp.
- Ungar, Y.; Osundahunsi, O.; Shimoni, E. 2003 Thermal stability of genistein and daidzein and its effect on their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(15): 4394-4399.
- Wu, X.; Gu, L.; Holden, J.; Haytowitz, D.; Gebhard, S.; Beecher, G. Prior, R. 2004. Development of a database for total antioxidant capacity in foods: a preliminary study. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 07-422.