

## Microencapsulación de compuestos bioactivos de flor de jamaica en suero de leche y su aplicación en yogurt

Altamirano-Romo S. E.<sup>1</sup>, López-Zavala E.<sup>1</sup>, Guerra-Pérez Diana M.<sup>1</sup>, Garrido-Torres M.<sup>2</sup>, Gutiérrez-Tlahque J.<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingenierías, Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, C.P. 38110 Celaya, Guanajuato, México.

<sup>2</sup>Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Av. Tecnológico Manzanillos No. 186, C.P. 61534, Zitácuaro, Michoacán México.

<sup>3\*</sup>Departamento de Ciencias Agropecuarias, Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. [jorge.gt@roque.tecnm.mx](mailto:jorge.gt@roque.tecnm.mx)

### RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de extraer compuestos bioactivos como los fenoles provenientes de la flor de la jamaica para elaborar microcápsulas utilizando maltodextrina, caseinato de sodio y suero de leche como materiales de pared en diferentes concentraciones y aplicarlas en un yogurt para evaluar la estabilidad de los microencapsulados dentro una matriz alimentaria. Los tratamientos que se aplicaron al yogurt fueron las distintas microcápsulas que a continuación se describen: T1: Yogurt natural sin microcápsulas, T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche, T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de maltodextrina. T4: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de caseinato de sodio. Donde las variables de respuesta analizadas fueron: Contenido de fenoles totales, actividad antioxidante para el radical ABTS y DPPH; así mismo se realizó una prueba sensorial de nivel de agrado orientada a consumidores. El contenido total de fenoles y la actividad antioxidante de los extractos mostró que el mejor tratamiento para conservar los compuestos fenólicos de la flor de jamaica fue el T2, mismo que presentó la mayor aceptación por parte del consumidor para los atributos sabor, color, aroma y textura. Por lo que la aplicación de suero de leche como material encapsulante para elaborar microcápsulas de extractos de flor de jamaica para aplicarlos en una matriz alimenticia resulta una opción viable para elaborar alimentos funcionales.

**Palabras Clave:** Compuestos fenólicos, Antioxidantes, Secado por Aspersión, *Hibiscus sabdariffa* L., Alimentos funcionales

### SUMMARY

The objective of this work is to extract bioactive compounds such as phenols from the jamaica flower to prepare microcapsules using maltodextrin, sodium caseinate and whey as wall materials in different concentrations and apply them in a yogurt to evaluate the stability of microcapsules within a food matrix. The treatments that were applied to the yogurt were the different microcapsules described below: T1: Natural yogurt without microcapsules, T2: Natural yogurt with jamaica flower extract encapsulated with whey, T3: Natural yogurt with jamaica flower extract encapsulated with whey and 10% maltodextrin solids. T4: Natural yogurt with hibiscus flower extract encapsulated with whey and 10% sodium caseinate solids. Where the response variables analyzed were total phenol content, antioxidant activity for the ABTS and DPPH radical; Likewise, a sensory test of level of liking aimed at consumers was carried out. The total content of phenols and the antioxidant activity of the extracts showed that the best treatment to preserve the phenolic compounds of the jamaica flower was T2, which presented the highest acceptance by the consumer for the attributes flavor, color, aroma and texture. Therefore, the application of whey as an encapsulating material to prepare microcapsules of jamaica flower extracts to apply them in a food matrix is a viable option to prepare functional foods.

**Key Words:** Phenolic compounds, Antioxidants, Spray Drying, *Hibiscus sabdariffa* L., Functional Foods

## INTRODUCCIÓN

La microencapsulación es una técnica utilizada para proteger compuestos activos y nutraceuticos, que consiste en recubrir uniformemente ingredientes funcionales (vitaminas, enzimas, fenoles, moléculas y células), con una película polimérica para obtener cápsulas micrométricas. El proceso de encapsulación se puede realizar con gases, gotas líquidas o pequeñas partículas sólidas. La película actúa como barrera para proteger el compuesto activo del entorno, controlar su liberación, evitar la interacción con otros ingredientes y mejorar su estabilidad (Ribeiro, 2020).

Un elemento fundamental para la elaboración de las microcápsulas son los materiales de pared que dentro de los cuales se encuentran las maltodextrinas de diferentes equivalentes de dextrosa (DE) se utilizan comúnmente como material de pared por su alta solubilidad en agua, baja viscosidad, bajo contenido de azúcar y sus soluciones son incoloras. Estas propiedades las convierten en los materiales portadores o de pared más utilizados en la microencapsulación (Robert *et al.*, 2010). Mientras que el caseinato de sodio es un encapsulante adecuado para la microencapsulación debido a su baja viscosidad, alta solubilidad y buenas propiedades emulsionantes (Pudziuelyte *et al.*, 2019). Otro material de pared es el aislado de proteína de suero de leche, el cual ayuda a la estabilidad estructural de los polvos debido a su estructura globular y su característica catiónica a pH ácido, lo que facilita la unión entre polisacáridos con características aniónicas, como la goma arábiga y pectina, que da como resultado un material de pared con enlaces complejos de proteína-polisacárido que favorece la microencapsulación (Chung *et al.*, 2015).

Los compuestos fenólicos como los flavonoides, taninos, ácidos fenólicos, entre otros; estos compuestos se encuentran en fuentes naturales como los vegetales, las frutas, semillas y poseen actividad antioxidante (Bugall, 2011). Los antioxidantes son compuestos, naturales o sintéticos, que pueden retrasar o inhibir la oxidación de los lípidos y otras moléculas mediante la inhibición de la iniciación o propagación de las reacciones oxidativas, a través, de la absorción y la neutralización de radicales libres, los cuales son especies nocivas generadas durante el metabolismo oxidativo (Garro *et al.*, 2015). El lactosuero se ha considerado por años como un desecho, sin embargo actualmente es considerado una fuente antioxidantes, a pesar del valor nutricional potencial del suero y al aumento en su aprovechamiento para la producción de otros alimentos, una gran parte es descartado, causando problemas de contaminación, (Zhao y Ashaolu., 2020).

Las flores comestibles como la jamaica, posee cualidades que aportan mucho a la salud del ser humano si se introdujera como parte de su dieta diaria (Pires *et al.*, 2017). La flor de jamaica ha sido una de las especies más estudiadas por su alto contenido antioxidantes como vitamina E y C, compuestos fenólicos, ácidos polifenólicos, flavonoides y antocianinas, lo que la convierte en una fuente muy importante de compuestos bioactivos. Estas propiedades le confieren a esta flor efectos anticancerígenos, cardioprotectores, diuréticos, antiinflamatorios y antimicrobianos ejerciendo así acción protectora contra el daño celular y peroxidación de lípidos (Jabeur *et al.*, 2017).

El yogur, uno de los productos lácteos fermentados más consumidos en el mundo, es capaz de asegurar el aporte diario de nutrientes y traer impactos positivos en la salud de los consumidores debido a sus cultivos activos que promueven una digestión saludable y estimulan el sistema inmunológico, brindando beneficios para la salud (Silva *et al.*, 2019); sin embargo, la mayoría de los yogures comerciales no conservan adecuadamente los compuestos bioactivos que favorezca mayor actividad antioxidante, además no existen investigaciones sobre el uso de la flor de jamaica como fuente de compuestos bioactivos para enriquecer el yogurt. Por lo que el presente trabajo pretende

elaborar microcápsulas de suero de leche para conservar compuestos bioactivos de flor de jamaica en incorporarlos en un producto fermentado como el yogurt para favorecer mayor aporte funcional y calidad sensorial.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### Preparación de las microcápsulas

El suero de leche fue obtenido a partir de la coagulación enzimática de la leche previamente pasteurizada a 72 °C por 15 s. Una vez obtenido el suero se filtró con la ayuda de una manta cielo previamente esterilizada, posteriormente se le aplicó una pasteurización para eliminar bacterias que pudieron ser contraídas en la manipulación del suero al ser recolectado, esto se realizó a una temperatura de 65 ±1 °C por 20 min. Cuando el suero se enfrió hasta una temperatura de 30 °C ±1 °C fue refrigerado a una temperatura de 4 °C ±1 °C hasta el momento de su uso. La flor de jamaica fue triturada en una licuadora, para obtener partículas más pequeñas. Posteriormente se realizó una extracción en una solución 1:1 de jamaica - suero de leche. La solución obtenida fue colocada directamente en el rotavapor, a una temperatura de 50 °C por 1 h, posteriormente se filtró y se le agregaron 50 mL de suero de leche al residuo de jamaica obtenido en el papel filtro (No.4, marca Great Value, EUA). La solución fue colocada nuevamente en el rotavapor por 1 h a una temperatura de 50 °C, se filtró y se juntaron las dos extracciones obtenidas, las cuales fueron colocadas en tubos Falcón de 15 mL y posteriormente fueron llevadas a la centrifuga a 5000 rpm por un tiempo de 10 min. En todas las extracciones fueron determinados los sólidos totales, con este dato y para cada preparación fue calculada la cantidad de encapsulante dependiendo las condiciones para cada muestra, es decir, a cada muestra se le agregaron diferentes cantidades de maltodextrina y caseinato de sodio para ajustar la cantidad de sólidos que requería cada una dependiendo así los diferentes tratamientos. Una vez que se agregó a cada una de las muestras el encapsulante indicado fueron homogenizadas cada una en el equipo Ultra-Turrax, a 14000 rpm por un tiempo de 20 min. Después se realizó el secado de las muestras en un secador por aspersion bajo las condiciones de secado establecidas por Naddaf (2012), con una temperatura de entrada de 127-133 °C, mientras que la temperatura de salida fue de 76-88 °C, presión de aire 1.5 MPa y una potencia 4 kW.

#### Preparación del yogurt

El yogurt se realizó utilizando un cultivo láctico con bacterias *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, y se incubó a una temperatura de 45 ± 1°C, durante 5 h. Transcurrido el tiempo se enfrió a una temperatura de 15 ± 1°C y enseguida se refrigeró a una temperatura de 5 ± 1°C de 12-24 h. Al día siguiente se desnató y se homogeneizó y se almacenó en vasos de plástico hasta su uso, posteriormente a cada muestra se le agrego 3 % de las microcápsulas previamente preparadas. Los tratamientos que se aplicaron al yogurt fueron las distintas microcápsulas que a continuación se describen: T1: Yogurt natural sin microcápsulas, T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche, T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de maltodextrina. T4: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de caseinato de sodio. Donde las variables de respuesta analizadas fueron las siguientes:

#### Actividad funcional del yogurt

Para la actividad funcional del yogurt se tomaron 30 mg del yogurt y se agregaron 2 mL de etanol al 50 %, la mezcla se agitó por 3 min y posteriormente se centrifugó en una microcentrifuga a 10000 rpm por 10 min a 4 °C, pasando el tiempo se colocó el sobrenadante en tubos Eppendorf, se utilizó para realizar la actividad antioxidante y el contenido de fenoles del yogurt.

## Contenido Total de Compuestos Fenólicos

El sobrenadante se utilizó para cuantificar fenoles con el reactivo Folin-Ciocalteu de acuerdo con lo propuesto por Georgé *et al.*, (2005). Para lo cual, se tomaron 25  $\mu\text{L}$  del sobrenadante y se diluyeron en alcohol metílico al 80%, se añadieron 25  $\mu\text{L}$  de Folin y se reposó por 7 min posteriormente se mezclaron con 25  $\mu\text{L}$  de carbonato sódico al 7.5%. Una vez que se realizó la mezcla, se dejó en obscuridad durante 30 min a 40 °C. Transcurrido el tiempo, se añadieron 200  $\mu\text{L}$  de agua destilada y se midió la absorbancia a 760 nm en un lector de microplacas. Previamente se realizó una curva patrón usando ácido gálico estándar. Los fenoles totales fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por g de muestra (mg EAG /g de muestra).

## Actividad Antioxidante por el radical DPPH

El efecto antioxidante de las muestras sobre el DPPH se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Brand-Williams, *et al.*, (1995). Se mezclaron 5  $\mu\text{L}$  del sobrenadante de la muestra con 295  $\mu\text{L}$  del reactivo de una solución de 60 mM en metanol del radical DPPH, se homogeneizaron y se dejaron reposar por 30 min en la oscuridad, posteriormente se midió la absorbancia a 517 nm en un lector de microplacas. Previamente se realizó una curva patrón usando Trolox como estándar. La inhibición de DPPH se expresó se expresó  $\mu\text{M}$  Trolox / g de muestra.

## Actividad Antioxidante por el radical ABTS

El efecto antioxidante de las muestras sobre el ABTS se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Van den Berg (1999). Primeramente, la mezcla de una solución acuosa de persulfato potásico de 140 mM y ABTS a 7 mM, se dejó reposar de 12 a 14 h a 4°C y en la oscuridad. La solución de trabajo se le coloca 500  $\mu\text{L}$  y se agregó 20 25 mL de etanol o buffer de fosfatos, posteriormente se realizó una sonicación por 3 min y se verifico la absorbancia en un espectrofotómetro a 734 nm con un lector de microplacas. La inhibición de ABTS se expresó  $\mu\text{M}$  Trolox / g de muestra.

## Evaluación Sensorial

Las muestras de yogurt fueron sometidas a evaluación sensorial de nivel de agrado, utilizando la prueba de escala hedónica, se sirvieron 20 g de muestra a 50 panelistas no entrenados con edades de 22 a 50 años, de ambos sexos, los jueces evaluaron su nivel de agrado por color, sabor, consistencia y olor en el yogurt. Para lo cual se utilizó una escala hedónica de 5 puntos (Schlossareck y Ross, 2020).

## Diseño Experimental

El diseño experimental para medir las variables de respuesta relacionadas con la textura, actividad antioxidante y contenido de total de compuestos fenólicos fue completamente al azar, donde se aplicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias por la prueba de Tukey con un  $p \leq 0.05$ . Mientras que para el análisis sensorial se aplicó un diseño experimental bloques al azar y una prueba de comparación de medias por la prueba de LSD con un  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad funcional

El contenido de polifenoles en diversos tipos de yogures enriquecidos con frutas y vegetales es muy variable y dependerá de la fuente de polifenoles es decir de frutas, zumos de frutas polvos o extractos frutas o flores que comestibles; que tienen el potencial de ser utilizados como ingredientes funcionales en la industria alimentaria, incluido el sector lácteo (Coisson *et al.*, 2005; Wallace y Giusti 2008). De acuerdo con los resultados de la Tabla 1, el mejor yogurt que conservó los compuestos fenólicos de

la flor de jamaica fue el Tratamiento T2 que está constituido por el material de pared suero de leche, ya que este no contenía ningún tipo de encapsulante adicional. Mientras que el Tratamiento T3 constituido por el material de pared suero de leche con 10% maltodextrina conservó en menor cantidad los compuestos fenólicos. Según Oliveira *et al.*, (2015), los compuestos fenólicos tienen una afinidad significativa por las proteínas, lo que resulta en la formación de complejos solubles que pueden aumentar su tamaño, incluso formando sedimentos. Así mismo el contenido total de compuestos fenólicos fue mayor en el presente trabajo de investigación para los tratamientos propuestos con microcápsulas de extractos de flor de jamaica con respecto a un yogurt elaborado con microcápsulas elaboradas con extracto de flor de jamaica bajo un sistema de doble emulsión y que se obtuvieron por gelificación iónica (De Moura *et al.*, 2019).

Para explicar la variabilidad en la actividad antioxidante en los diferentes tratamientos y representada por las antocianinas presentes en los extractos de flor de jamaica, se ha reportado que son altamente inestables y fácilmente susceptibles a la degradación. En los productos lácteos, la estabilidad de las antocianinas puede verse afectada por el pH y por la presencia de proteínas (Oliveira *et al.*, 2015). Se observó que el Tratamiento T2 constituido por el material de pared suero de leche favoreció mayor actividad antioxidante para el radical ABTS y DPPH. Oancea y Hasan (2018), realizaron la evaluación de la actividad antioxidante de antocianinas del extracto de piel de cerezas encapsulados por liofilización utilizando como materiales de pared goma acacia y proteína de suero de leche, donde se observó que el aislado de proteína de suero resulta ser una buena opción para proteger compuestos fenólicos ante los ácidos del estómago. La actividad antioxidante para el radical DPPH en el presente trabajo de investigación fue similar respecto a los resultados reportados por Zabaleta *et al.*, (2013), quienes prepararon un yogurt estandarizado añadido con aceite de flor de jamaica con una dosis de 150 ppm y encontraron un valor de 33.33  $\mu\text{M}$  Trolox /g. Así mismo se observó que el Tratamiento T1 constituido por el yogurt natural presentó la menor actividad antioxidante para el radical ABTS, lo anterior se a que no presenta extracto de flor de jamaica. Además, los tratamientos con material de pared suero de leche con 10% de maltodextrina y 10% de caseinato expresaron menor actividad antioxidante para el radical ABTS, con respecto al extracto de jamaica encapsulado con suero de leche. Lo anterior puede ser aplicando una cantidad moderada de biopolímeros dando como resultado una mayor actividad antioxidante, debido a que el exceso de biopolímeros conduce a una floculación reducida disminuyendo la actividad antioxidante (Rezvanhah *et al.*, 2020). Además al utilizar una mezcla de dos materiales encapsulantes como son el suero de leche en una mezcla con maltodextrina y caseinato de sodio favorecen una menor Temperatura de Transición Vítrea (Tg), así mismo una concentración de los sólidos en las mezclas que se someten a secado para obtener las microcápsulas puede favorecer reacciones de deterioro relacionadas con pardeamiento no enzimático, dando lugar a cambios de color en el producto (Ross, 1995), que está relacionado con la degradación de los pigmentos de la flor de jamaica que se microencapsulan. Además, se ha informado que la proteína de suero tiene actividad antioxidante, que puede estar relacionada con sus grupos sulfhídrido (-SH) que pueden reducir los radicales libres (Premi y Sharma, 2017).

Para el caso del radical DPPH no se encontró diferencia estadísticamente significativa para ninguno de los tratamientos; sin embargo, se ha encontrado que la reacción que genera en los flavonoides como las antocianinas presentes en las microcápsulas con extractos de flor de jamaica se pueden atribuir al número múltiple de grupos hidroxilo y, en particular, a la contribución de los grupos orto-di-hidroxilo ubicados en el anillo B de la molécula de flavonoides (Salah, 1995). La presencia de grupos orto-di-hidroxilo confiere una alta estabilidad a la molécula una vez que ha atrapado el radical, proceso que es importante para la participación de la deslocalización y por lo tanto, la estabilización del intermediario radical fenólico en los flavonoides como las antocianinas (Bors *et al.*, 1995). La

actividad antioxidante del radical DPPH está dada por las propiedades fisicoquímicas particulares de los aminoácidos que forman la secuencia de los péptidos en el yogurt lo que resulta en actividad eliminadora de radicales DPPH en péptidos aislados de leche fermentada con *Lactobacillus delbrueckii* ssp. bulgaricus (Kudoh *et al.*, 2001). Para la actividad antioxidante por el radical DPPH, se encontró mayor actividad antioxidante en los yogures con microcápsulas de flor de jamaica con respecto a yogurt de flores de azafrán, (Cerdeña-Bernad, et al., 2023), así mismo Flores-Mancha et al., (2021) encontró menor actividad antioxidante para el radical DPPH para el yogurt natural, con respecto al yogurt sin microcápsulas realizado en el presente trabajo. Lo anterior se debe a la calidad de la leche dada por la presencia de compuestos bioactivos como los aminoácidos tirosina y cisteína, vitaminas A y E, cultivos bacterianos para la realización de yogurt, presencia de péptidos bioactivos producto de la fermentación de la leche (Grażyna et al., 2017). Las antocianinas presentes en los yogures como el que se elaboró en el presente trabajo de investigación y que le confieren actividad antioxidante pueden formar complejos con macromoléculas que protegen a las antocianinas de la degradación (Jing y Giusti 2005). Según Oliveira *et al.*, (2015), los polifenoles tienen una afinidad significativa por las proteínas, lo que resulta en la formación de complejos solubles que pueden aumentar su tamaño, incluso formando sedimentos.

Tabla 1. Contenido de fenoles y capacidad antioxidante de yogurt con microcápsulas de flor de jamaica con diferentes materiales de pared.

Tratamiento	Fenoles	DPPH	ABTS
	mg EAG•g <sup>-1</sup>	μM Trolox•g <sup>-1</sup>	
T1: Yogurt natural sin microcápsulas	NP	30.14 ±0.15 a	10.83 ±0.14 c
T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche	45.35 ±0.10 b*	36.62 ±0.09 a	27.05 ±0.18 a
T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos de maltodextrina	34.13 ±0.15 a	31.76 ±0.12 a	17.5 ±0.17 b
T4: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos caseinato de sodio	34.14 ±0.20 b	33.84±0.05a	15.72 ±0.21 b

Los valores corresponden con la media ± el error estándar (n=3); \*Letras iguales en cada columna son significativamente iguales (Tukey, p ≤ 0.05). NP: No Presento. Fuente: Elaboración Propia (2023).

#### Evaluación sensorial

De acuerdo con los resultados de la Figura 1, el Tratamiento T2 que representa el yogurt con microencapsulados de flor de jamaica encapsulados con suero de leche presentó el mayor grado de aceptación para los atributos textura, sabor, color y aroma en un nivel de agrado entre 4 y 5 ubicándose estos atributos entre "Me gusta moderadamente" y " Me gusta mucho". Se observó que en la adición de las microcápsulas en el Tratamiento T2 tuvo un efecto positivo en el color ya que es uno de los factores más importantes para determinar la aceptación del consumidor, esto concuerda con la adición de microcápsulas de antocianinas obtenidas por gelificación iónica provenientes de flor de jamaica, que impactaron positivamente en los parámetros sensoriales de un yogurt natural (De Moura *et al.*, 2022). Para el caso del Tratamiento T1 representado como yogurt natural que se propone como

control presenta un mayor nivel de aceptación en los atributos sabor, aroma y textura con respecto a los otros tratamientos, lo que coincide con Pinoargote (2021); ya que los consumidores están habituados a patrones sensoriales típicos a los atributos que se presentaron mayor aceptación en el control y que se encuentran en el yogurt comercial. Para el caso del tratamiento T4 que representa el yogurt con microencapsulas de flor de jamaica suero de leche con 10% caseinato presentó la menor aceptación para los atributos color, sabor y textura; debido a que el yogurt se hace demasiado espeso como lo menciona Hunk-Iriart (2014), en donde gelificaron emulsiones de caseinato de sodio como una alternativa a las grasas trans, dado que el caseinato tiene propiedades de generación de textura ya que tiene la capacidad de formar geles, mientras que el Tratamiento T3 que representa el yogurt con microencapsulado jamaica suero de leche con 10% de maltodextrina presentó la menor aceptación para el atributo sabor, esto se atribuye a que la maltodextrina que tiene un sabor y olor moderadamente dulce (Corrêa-Filho, 2019).

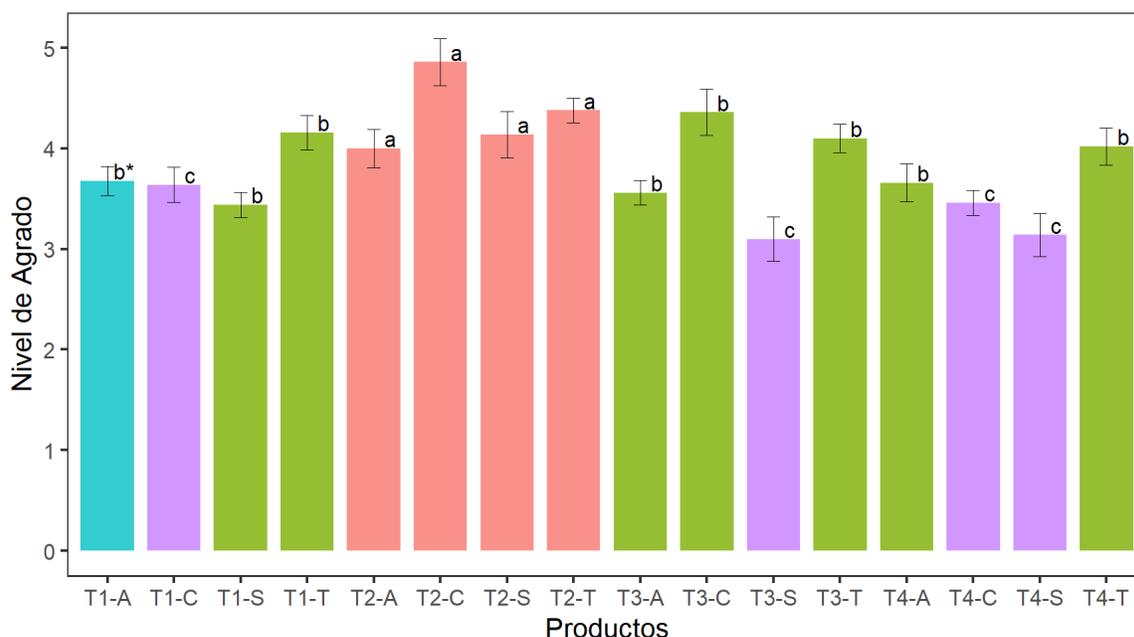


Figura 1: Análisis sensorial de preferencia por atributos en yogurt con microcápsulas de flor de jamaica con diferentes materiales de pared. \*Letras iguales no son significativamente diferentes con un  $P \leq 0.05$ , para la prueba LSD. A: Aroma; C: Color; S: Sabor; T: Textura. T1: Yogurt natural sin microcápsulas; T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche; T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos de maltodextrina; T4: Extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos de caseinato de sodio.

## CONCLUSIONES

De las cuatro formulaciones propuestas de yogurt con las diferentes microcápsulas para favorecer la estabilización del yogurt, se encontró que la bebida fermentada que presento mayor contenido de compuestos fenólicos y mayor actividad antioxidante por el radical ABTS y DPPH, fue el yogurt que incorporo en su formulación compuestos bioactivos de flor jamaica microencapsulados con suero de leche. Así mismo se encontró que esta misma bebida fue la que presentó un mayor grado de aceptación en atributos sensoriales como consistencia, sabor, color y olor.

### BIBLIOGRAFÍA

- Belščak-Cvitanović, A., Bušić, A., Barišić, L., Vrsaljko, D., Karlović, S., Špoljarić, I., & Komes, D. (2016). Emulsion templated microencapsulation of dandelion (*Taraxacum officinale* L.) polyphenols and  $\beta$ -carotene by ionotropic gelation of alginate and pectin. *Food Hydrocolloids*, 57, 139-152.
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P. A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., & Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 69, 385-394.
- Bors, W., Michel, C., & Schikora, S. (1995). Interaction of flavonoids with ascorbate and determination of their univalent redox potentials: A pulse radiolysis study. *Free Radical Biology and Medicine*, 19(1), 45-52.
- Brand-Williams, W. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Bugall, A. R. (2011). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos de cuatro frutos de interés comercial en Colombia y actividad citotóxica in vitro en la línea celular de fibrosarcoma HT1080. *Tesis de Posgrado*. Bogotá, Colombia.
- Cerdá-Bernad, D., Valero-Cases, E., Pastor, J. J., & Frutos, M. J. (2023). Microencapsulated saffron floral waste extracts as functional ingredients for antioxidant fortification of yogurt: Stability during the storage. *LWT-Food Science Technology*, 183, 114976.
- Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W., & McClements, D. J. (2015). Enhanced stability of anthocyanin-based color in model beverage systems through whey protein isolate complexation. *Food Research International*, 76, 761-768.
- Coisson, J., Travaglia, F., G.Piana, Capasso, M., & Arlorioa, M. (2005). *Euterpe oleracea* juice as a functional pigment for yogurt. *Food Research International*, 38, 893-897.
- Corrêa-Filho, L. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. *Applied Sciences*, 9(3), 571.
- De Moura, S. C. S. R., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Dutra Alvim, I., & Hubinger, M. D. (2022). Microencapsulation of hibiscus bioactives and its application in yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16468.
- De Moura, S. C., Schettini, G. N., Garcia, A. O., Gallina, D. A., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019). Stability of hibiscus extract encapsulated by ionic gelation incorporated in yogurt. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 1500-1515.
- Flores-Mancha, M. A., Ruíz-Gutiérrez, M. G., Sánchez-Vega, R., Santellano-Estrada, E., & Chávez-Martínez, A. (2021). Effect of encapsulated beet extracts (*Beta vulgaris*) added to yogurt on the physicochemical characteristics and antioxidant activity. *Molecules*, 26(16), 4768.
- Garro, A., Cardona, W., Rojano, B., Robledo, S., & Alzate, F. (2015). Actividad antioxidante y citotóxica de extractos de *Pilea dauciodora* Wedd (Urticaceae). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, (1), 88-97.

- Georgé, S. (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1370-1373.
- Grażyna, C., Hanna, C., Adam, A., & Magdalena, B. M. (2017). Natural antioxidants in milk and dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 70(2), 165-178.
- Huck-Iriart, C., Rincón Cardona, J. A., Montes de Oca Avalos, J. M., & Candal, R. J. (2014). Gelificación de emulsiones de caseinato de sodio como alternativa a las grasas trans. *Ciencia e Investigación*, 5-16.
- Jabeur, I., Pereira, E., Barros, L., Calhelha, R. C., Soković, M., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2017). *Hibiscus sabdariffa* L. as a source of nutrients, bioactive compounds and colouring agents. *Food Research International*, 100, 717-723.
- Jing, P., & Giusti, M. M. (2005). Characterization of anthocyanin-rich waste from purple corncobs (*Zea mays* L.) and its application to color milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8775-8781.
- Kudoh, Y., Matsuda, S., Igoshi, K., & Oki, T. (2001). Antioxidative peptide from milk fermented with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* IFO13953. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 48(1), 44-50.
- Naddaf, L. (2012). Secado por aspersión de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(1), 020-027.
- Oancea, A.-M., & Hasan, M. (2018). Functional evaluation of microencapsulated anthocyanins from sour cherries skins extract in whey proteins isolate. *LWT - Food Science and Technology*, 129-134.
- Oliveira, A., Alexandre, E. M., Coelho, M., Lopes, C., Almeida, D. P., & Pintado, M. (2015). Incorporation of strawberries preparation in yoghurt: Impact on phytochemicals and milk proteins. *Food Chemistry*, 171, 370-378.
- Pinoargote, P. A. (Noviembre de 2021). Efecto del uso de edulcorantes y cúrcuma en propiedades fisicoquímicas y sensoriales del yogur natural. *Trabajo de Tesis*. Honduras.
- Pires, T. C., Barros, L., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2019). Edible flowers: Emerging components in the diet. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 244-258.
- Premi, M., & Sharma, H. (2017). Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. *International Journal of Biological*, 105, 1232-1240.
- Pudziuelyte, L., Marksa, M., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Kopustinskiene, D. M., & Bernatoniene, J. (2019). Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* herb ethanolic extract by spray-drying: impact of resistant-maltodextrin complemented with sodium caseinate, skim milk, and beta-cyclodextrin on the quality of spray-dried powders. *Molecules*, 24(8), 1461.
- Rezvankhah, A., Emam-Djomeh, Z., & Askari, G. (2020). Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review. *Drying Technology*, 38(1-2), 235-258.

- Ribeiro, A. M., Shahgol, M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2020). Microencapsulation of Vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum arabic, starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 108, 106029.
- Robert, P., Gorená, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., & Saenz, C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(7), 1386-1394.
- Roos, Y. (1995). Characterization of food polymers using state diagrams. *Journal of Food Engineering*, 24(3), 339-360.
- Salah, N., Miller, N., Paganga, G., Tijburg, L., Bolwell, G., & Rice-Evans, C. (1995). Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chain-breaking antioxidants. *Archives of biochemistry and biophysics*, 322(2), 339-346.
- Schlossareck, C., & Ross, C. F. (2020). Consumer sensory evaluation of aftertaste intensity and liking of spicy paneer cheese. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(7), 2710-2718.
- Silva, S. C., Fernandes, I. P., Barros, L., Fernandes, Â., Alves, M. J., Calhelha, R. C., & Barreiro, M. F. (2019). Spray-dried *Spirulina platensis* as an effective ingredient to improve yogurt formulations: Testing different encapsulating solutions. *Journal of Functional Foods*, 60, 103427.
- Van den Berg, H. (1999). Application of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity of measurement of mixture. *Journal of Agricultural and Food*, 511-517.
- Wallace, T., & Giusti, M. (2008). Determination of color, pigment, and phenolic stability in yogurt systems colored with nonacylated anthocyanins from *Berberis boliviana L.* as compared to other natural/synthetic colorants. *Journal of Food Science*, 73(4), 241-248.
- Zabaleta, K. (2013). Elaboración de un yogur estandarizado con añadidos de *Hibiscus Sabdariffa* (Flor de Jamaica). *Trabajo de tesis*. Cartagena de Indias.
- Zhao, C., & Ashaolu, T. J. (2020). Bioactivity and safety of whey peptides, *LWT: Food Science and Technology*, 134, 109935.