



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO

Microencapsulamiento para la obtención de polvo a partir del subproducto de mango (*Mangifera indica*)

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Paucar Agreda, Celene Yadira

DIRECTORA: Guamán Balcázar, María del Cisne, Mgtr

LOJA- ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magíster.

María del Cisne Guamán Balcázar.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Microencapsulamiento para la obtención de polvo a partir del subproducto del mango (*Mangifera indica*)”** realizado por Paucar Agreda Celene Yadira, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, 24 de agosto de 2018

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Celene Yadira Paucar Agreda declaro ser autora del presente trabajo de titulación: “Microencapsulamiento para la obtención de polvo a partir del subproducto del mango (*Mangifera indica*)”, de la Titulación Bioquímica y Farmacia, siendo la Mgtr. María del Cisne Guamán Balcázar directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f)

Paucar Agreda Celene Yadira

C.I: 1103857650

DEDICATORIA

Primero deseo dedicar este trabajo a mi familia, a mi mamá Esperanza y a mi papá Raúl, quienes son los pilares fundamentales en mi vida, y son quienes han permitido que pueda culminar un paso más en mi formación académica. Gracias por estar a mi lado, por su apoyo y por su amor incondicional.

A mi hermana Tatiana, por tu apoyo, por tu cariño, por soportarme, y principalmente por habernos dado el mejor regalo que tiene nuestra familia, Kevin. Mi sobrino hermoso, te amo y eres lo mejor que ha podido llegar a mi vida.

A mi abuelita, a mis tíos que siempre han estado brindándome su apoyo y sus consejos, brindándome palabras de aliento en los momentos en los que quería desistir. Principalmente a mis tías, Erma y Elvia Agreda quienes han sido unas segundas madres para mí. Gracias por estar a mi lado y por su confianza.

AGRADECIMIENTO

Primero gracias a Dios, y a mi familia quienes son el motor en mi vida.

A mi tutora, la Mgtr. María del Cisne Guamán, por su apoyo, por su paciencia, y sobre todo por la confianza que me brindo al haberme permitido trabajar a su lado. Gracias por guiarme y permitirme culminar con éxito este trabajo investigativo.

Al Ing. Holger Jaramillo y al Ing. Carlos Aguilar, a quienes tuve el gusto de conocer durante el desarrollo de este trabajo, gracias por su ayuda y por sus consejos.

Al Mgtr. Geovanny Figueroa, y a la Mgtr. Maritza Castillo quienes con sus conocimientos y experiencia permitieron que el desarrollo de este trabajo fuera posible.

Y finalmente a mis compañeras y amigas, Soraya y Johana con quienes he compartido, gracias por el apoyo, por la paciencia, por sus consejos y por todos los buenos momentos que tuvimos la oportunidad de compartir.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	vi
APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	vii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1 MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 El mango.....	5
1.1.1 Aspectos Generales.....	5
1.2 Procesamiento industrial del mango.....	6
1.2.1 Subproductos del mango.....	6
1.3 Microencapsulación.....	7
1.3.1 Métodos de encapsulamiento.....	8
1.4 Agente encapsulante.....	11
2 METODOLOGÍA.....	13
2.1 Materia prima, solventes y reactivos.....	14
2.2 Proceso de obtención de polvo a partir de la cáscara y pulpa agotada de mango.....	14
2.3 Preparación de los extractos.....	14
2.4 Obtención de los microencapsulados.....	15
2.4.1 Preparación de la muestra antes de ser atomizada.....	15
2.4.2 Proceso de secado por atomización.....	15
2.4.3 Cálculo de rendimiento.....	15
2.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico.....	16
2.5 Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante.....	17
2.5.1 Cuantificación de fenoles totales.....	18
2.5.2 Determinación de capacidad antioxidante.....	18
2.5.2.1 Método DPPH.....	19
2.5.2.2 Método FRAP.....	19
2.5.2.3 Método ABTS.....	20
2.6 Análisis de la morfología de las partículas de los encapsulados.....	21
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
3.1 Microencapsulados.....	23
3.1.1 Rendimiento.....	23
3.1.1.1 <i>Influencia de las variables (sólidos, temperatura y flujo de bomba) sobre el rendimiento</i>	24

3.1.2 Fenoles totales y capacidad antioxidante en los microencapsulados.....	26
3.1.2.1 Contenido de fenoles totales.....	26
3.1.2.2 Influencia de las variables (sólidos, temperatura y flujo de bomba) en el contenido de fenoles totales.....	27
3.1.2.3 Capacidad antioxidante presente en los microencapsulados.....	28
3.1.2.4 Influencia de las variables (sólidos, temperatura y flujo de bomba) en la capacidad antioxidante.....	29
3.1.3 Morfología de los polvos.....	32
CONCLUSIONES.....	34
RECOMENDACIONES.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	36
ANEXOS.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mangifera indica (mango) cv. Tommy Atkins.....	5
Figura 2. Subproductos de mango: a) cáscara y b) semilla.....	6
Figura 3. Tipos de microcápsulas:a) reservorio, b) matriz, c) matriz recubierta.....	8
Figura 4. Etapas del proceso de atomización.....	16
Figura 5. Diagrama de Pareto estandarizado para Rendimiento.....	25
Figura 6. Diagrama de Pareto para fenoles totales.....	27
Figura 7. Contenido de FT según el porcentaje de sólidos en subproducto de mango.....	27
Figura 8. Contenido de FT en otros productos atomizados.....	28
Figura 9. Diagrama de Pareto Estandarizado para DPPH, ABTS y FRAP.....	30
Figura 10.Capacidad antioxidante en encapsulados de subproducto de mango.....	30
Figura 11.Resultados para DPPH y FRAP.....	31
Figura 12.Resultados para ABTS.....	32
Figura 13.Microfotografías del polvo encapsulado de subproducto de mango.....	32
Figura 14.Microfotografías de las partículas encapsuladas de polvo de mora negra.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Secado por aspersión de diferentes matrices.....	10
Tabla 2. Diseño experimental.....	17
Tabla 3. Rendimiento de los microencapsulados.....	23
Tabla 4. Tabla ANOVA para rendimiento.....	24
Tabla 5. Resultados para fenoles totales.....	26
Tabla 6. Resultados para DPPH, FRAP y ABTS.....	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Rendimientos.....	41
Anexo 2. Preparación de la solución madre de ácido gálico (500 ppm) y estándares.....	44
Anexo 3. Fenoles totales.....	46
Anexo 4. Preparación de la solución madre de trolox a 1000 μ M, y sus estándares.....	49
Anexo 5. Resultados DPPH.....	52
Anexo 6. Preparación de los reactivos para FRAP y resultados obtenidos.....	55
Anexo 7. Preparación de los reactivos para ABTS y resultados obtenidos.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS

g: gramo

kg: kilogramo

cm: centímetros

%: porcentaje

µm: micrómetro

°C: grado centígrado

CO₂: dióxido de carbono

ml: mililitro

GRAS: Generally Recognized As Safe

FDA: Food and Drug Administration

DPPH: 2,2-difenil-picrilhidracil

ABTS: 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

FRAP: Poder antioxidante reductor del hierro

min: minutos

v/v: volumen/volumen

rpm: revoluciones por minuto

µg/ml: microgramo/mililitro

µl: microlitro

µM: micromolar

hrs: horas

nm: nanómetros

mg EAG: miligramos equivalentes de ácido gálico

mg: miligramos

MeOH: metanol

µMET: micromoles equivalentes de trolox

TPTZ: 2,4,6-Tri(2-pyridyl)-s-triazine

mM: milimolar

FT: fenoles totales

ORAC: Oxygen Radical Absorbance Capacity

BS: base seca

SEM: Scanning Electron Microscope

DE: equivalentes de dextrosa

RESUMEN

En la presente investigación se estudiaron los efectos que ejercieron la temperatura de entrada (140 °C, 155 °C y 170 °C), el flujo de bomba de alimentación (20%, 30% y 40%) y la concentración de sólidos (10%, 12,5% y 15%) sobre el rendimiento del polvo encapsulado de subproducto de mango, contenido de fenoles y capacidad antioxidante. El mayor rendimiento fue de 71,40% y se obtuvo al trabajar con las siguientes condiciones: 170 °C de temperatura, 12,5% de sólidos y 20% de flujo. Para fenoles totales los resultados estuvieron en un rango entre 18,1 y 51,2 mg EAG/g encapsulado. La medición de la capacidad antioxidante se realizó por tres métodos: DPPH, FRAP y ABTS. Los resultados para DPPH fueron de 8,39 a 44,00 μ MET/g encapsulado, para FRAP valores de 8,96 a 19,59 μ MET/g encapsulado, y finalmente ABTS con valores de 11,73 a 38,97 μ MET/g encapsulado. Las partículas encapsuladas presentaron un tamaño de partícula entre 0,27 a 8,86 μ m, se presentaron aglomeradas, esféricas y amorfas dependiendo de las condiciones de atomización, Los polvos podrán ser utilizados en la industria como ingredientes funcionales.

Palabras clave: subproducto de mango, encapsulado, fenoles totales, capacidad antioxidante.

ABSTRACT

In the present investigation, the effects exerted by the inlet temperature (140 °C, 155 °C and 170 °C), the feed pump flow (20%, 30% and 40%) and the concentration of solids (10%, 12.5% and 15%) on the performance of encapsulated powder of mango by-product, phenol content and antioxidant capacity. The highest yield was 71.40% and was obtained by working with the following conditions: 170 °C of temperature, 12.5% of solids and 20% of flow. For total phenols the results were in a range between 18.1 and 51.2 mg EAG /g encapsulated. The measurement of the antioxidant capacity was carried out by three methods: DPPH, FRAP and ABTS. The results for DPPH were from 8.39 to 44.00 μ MET /g encapsulated, for FRAP values of 8.96 to 19.59 μ MET /g encapsulated, and finally ABTS with values of 11.73 to 38.97 μ MET /g encapsulated the encapsulated particles had a particle size between 0.27 and 8.86 μ m, they were agglomerated, spherical and amorphous depending on the atomization conditions. The powders could be used in the industry as functional ingredients.

Key words: mango by-product, microencapsulation, atomization, total phenols, antioxidant capacity.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo investigativo es obtener un polvo microencapsulado a partir del subproducto de mango (*Mangifera indica*), el cual se ofrece como una alternativa para la industria alimentaria ecuatoriana y pueda ser utilizado en la elaboración de nuevos productos con gran valor nutricional, tales como alimentos funcionales y nutraceúticos.

La investigación consiste en determinar las condiciones de trabajo que permitan obtener el mayor rendimiento del producto atomizado, para lo cual las variables de estudio fueron: temperatura de entrada (140°C, 155°C y 170°C), flujo de bomba de alimentación (20%, 30% y 40%), y concentración de sólidos (10%, 12,5% y 15%). Además, se estudió el efecto que estas variables tuvieron en el contenido de fenoles totales, la capacidad antioxidante, en la morfología y tamaño de partícula del polvo encapsulado. Este trabajo investigativo se desarrolló en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos del Departamento de Química y Ciencias Exactas de la Universidad Técnica Particular de Loja.

La obtención del polvo encapsulado de subproducto de mango se inició con la elaboración de los extractos, los cuales se obtuvieron por maceración dinámica en una solución etanol-agua (50:50), y luego mediante rotaevaporación se les eliminó el etanol. Luego se preparó la muestra a ser atomizada mezclando el extracto acuoso obtenido más maltodextrina, la cual se fue agregando hasta llegar a las concentraciones deseadas (10%, 12,5% y 15%). Para el secado por aspersión se utilizó el equipo Mini Spray Dryer BUCHI B-290 bajo las condiciones de trabajo a ser estudiadas. A los polvos obtenidos se les calculó el rendimiento, se midió su contenido fenólico por el método Folín- Ciocalteau, y su capacidad antioxidante por los métodos DPPH, FRAP y ABTS. Además, se determinó la morfología y el tamaño de partícula de los polvos mediante un equipo de microscopía electrónica de barrido.

Durante la realización de esta investigación se presentaron inconvenientes al momento de conseguir la materia prima, pues el mango es una fruta estacional y su disponibilidad se limita a los meses de octubre a marzo.

Este trabajo se divide en 3 capítulos, el primero corresponde al marco teórico con información relevante con respecto al proyecto que se va a desarrollar, en el segundo capítulo se detallan detalla la metodología a utilizarse, y el capítulo final se enfoca en comparar los resultados obtenidos, con otras investigaciones similares.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 El mango

1.1.1 Aspectos Generales

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más apreciadas internacionalmente, debido a sus propiedades sensoriales como color, brillo, aroma y sabor, características que lo vuelven un producto atractivo al consumidor (Ravani & Joshi, 2013).

El principal producto del árbol es el fruto (figura 1), que es una drupa y puede presentar distinta forma, color, sabor y textura dependiendo de la variedad. Por lo general pueden ser de forma redonda a ovalada. Su peso va desde los 50 g hasta los 2 kg. Presenta un color verde oscuro mientras se encuentra en el árbol, el cual va cambiando a amarillo cuando madura. La pulpa es la parte comestible de la fruta y su sabor es dulce (Bally, 2006).



Figura 1. *Mangifera indica* (mango) cv. Tommy Atkins

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

En Ecuador aproximadamente 5300 hectáreas se dedican a su cultivo, están distribuidas entre las provincias de Guayas, El Oro, Manabí y Los Ríos. Se cultivan principalmente las variedades Tommy Atkins, Kent y Ataulfo para su exportación (El telégrafo, 2016).

El fruto de la variedad Tommy Atkins es una fruta de 13 cm de largo y 450-700 g de peso. De forma ovalada u oblonga, presenta un color rojizo oscuro que cubre la mayor parte de la fruta. Es de sabor dulce y su pulpa es firme debido a su constitución fibrosa (Foundation Mango, 2018).

1.2 Procesamiento industrial del mango

El mango es una fruta estacional que se consume preferentemente en fresco, aproximadamente un 20% de la fruta se utiliza para elaborar productos como jugos, purés, néctares, enlatados en almíbar, entre otros (Ravani & Joshi, 2013). Pero luego del procesamiento del mango quedan sus subproductos, que representan un 35 y 60% del peso total de la fruta (Tunchaiyaphum, Eshtiaghi, & Yoswathana, 2013). El principal subproducto que se obtiene es la cáscara, pero al no dársele un uso comercial estas son desechadas como desperdicios, convirtiéndose en una fuente de contaminación (Kim et al., 2010).

1.2.1 Subproductos del mango

Singh Nee Nigam & Pandey, (2009) define a los subproductos como aquel material secundario que se deriva del procesamiento de un producto vegetal o animal en particular. En el caso del mango los principales subproductos que se obtienen son su cáscara y semilla (figura 2), los cuales representan entre un 35% y 60% del peso total de la fruta (Dorta, Lobo, & González, 2012). Varias investigaciones han determinado que la corteza, las hojas y la pulpa de mango tienen aplicaciones biomédicas, que incluyen actividad antioxidante, antiinflamatoria y anticancerígena (Kim et al., 2010), debido al contenido de compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides, antiocianinas, fibra dietaria y tocoferol (Ravani & Joshi, 2013).

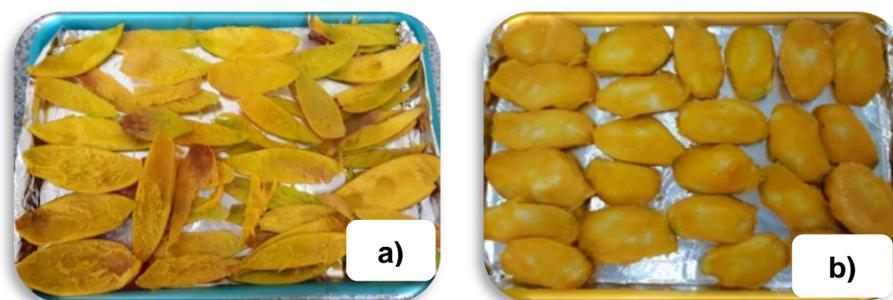


Figura 2. Subproductos de mango: a) cáscara y b) semilla

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Existen algunas investigaciones sobre la aplicación de la cáscara de mango en la industria de alimentos, un ejemplo de esto es el trabajo desarrollado por Ajila, Aalami, Leelavathi, & Rao, (2010), en el cual incorporó diferentes concentraciones de cáscara de mango (2,5; 5 y 7,5%) en la preparación de macarrones, dando como resultado un aumento en la fibra dietaria (8,6 a 17,8%), y en el contenido de polifenoles y carotenoides. (Ravani & Joshi,

2013). Así mismo Casas, Díaz, & Rodríguez (2016) utilizaron las cáscara de mango para la elaboración de infusiones, dando como resultado un producto con excelentes características sensoriales como color y con alto nivel de capacidad antioxidante.

1.3 Microencapsulación

La encapsulación es el proceso donde una sustancia es atrapada dentro de otra (Zuidam & Shimoni, 2010b) con el objetivo de crear una barrera que proteja la sustancia encapsulada del contacto con factores externos que puedan afectarla como el oxígeno, la luz, radicales libres, etc. (Ray, Raychaudhuri, & Chakraborty, 2016). De esta manera la sustancia es protegida de la degradación durante el almacenamiento, extendiendo el tiempo de vida útil y manteniendo su funcionalidad (Garofulic, Zoric, Pedisic, & Dragovic, 2017). Esta técnica se aplica en la agricultura, industria de alimentos, farmacéutica, cosmética, biotecnología e industria textil (Ray et al., 2016).

La incorporación de sustancias activas fotosensibles como los antioxidantes a un determinado proceso de alimentos presenta algunos retos, como la degradación y pérdida de su actividad, debido a que se pueden producir reacciones de oxidación en el procesamiento o a su vez reacciones con el sistema digestivo una vez consumido el producto, lo cual puede limitar su biodisponibilidad y funcionalidad (Schrooyen, Meer, & Kruif, 2001), lo que significa que para la industria de alimentos la encapsulación de compuestos activos se presenta como una buena oportunidad para la elaboración de alimentos funcionales.

En el proceso de encapsulación se forman pequeñas partículas o gotitas que están rodeadas por un recubrimiento (cubierta o membrana pared) y en su interior contienen a una matriz homogénea o heterogénea (núcleo)(Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007).

El tipo de encapsulado que se obtenga dependerá de las características físico-químicas de la sustancia a encapsular, el material que se use como encapsulante y de la técnica de encapsulación (Gharsallaoui et al., 2007). Se pueden distinguir tres tipos de encapsulados: reservorio, matriz y matriz recubierta (figura 3). El primero tiene una capa alrededor del núcleo, el segundo tiene el núcleo disperso por toda la superficie, y el tercero es una cápsula cubierta por una membrana extra (Ray et al., 2016).

Con respecto al tamaño de partícula si éste es menor a 1 μm se llaman nanopartículas o nanoesferas. Partículas cuyo tamaño va de 3-800 μm se denominan micropartículas o

microcápsulas y aquellas partículas con un tamaño mayor a 1000 μm se conocen como macropartículas (Serra Costa et al., 2015).

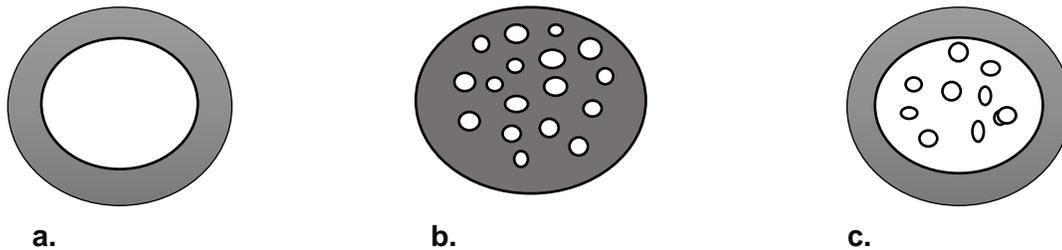


Figura 3. Tipos de microcápsulas: a) reservorio, b) matriz, c) matriz recubierta

Fuente: Ray et al., (2016)

Elaboración: La autora

La encapsulación de compuestos activos, presenta algunas ventajas como (Ray et al., 2016):

- Protege al agente activo de la degradación que pueden causar factores externos (calor, aire, luz, humedad)
- Las características físicas del material original pueden ser modificadas para facilitar su manejo
- Se puede enmascarar el sabor del material original
- Ayuda a separar distintos componentes, con el fin de que no se mezclen o que estos no reaccionen entre sí
- Se pueden diluir cantidades pequeñas del contenido del núcleo, y aun así lograr una dispersión uniforme en el solvente

1.3.1 Métodos de encapsulamiento

Existen varios métodos que se pueden utilizar para la encapsulación de sustancias, los cuales se pueden dividir en 3 grupos (Hernández et al., 2016):

1. Procesos físicos: extrusión y recubrimiento por aspersion, secado por aspersion, fluidos supercríticos
2. Procesos físico-químicos: coacervación simple o compleja, atrapamiento en liposomas y gelificación.
3. Procesos químicos: polimerización interfacial e inclusión molecular

El método de extrusión consiste en pasar una emulsión formada por la sustancia activa y el agente encapsulante a través de un tornillo extrusor a alta presión. Es la segunda técnica de encapsulación más utilizada pero tiene la desventaja de que las partículas que se

obtienen son de gran tamaño (500-1000 μm) lo cual afecta las características sensoriales del producto (Guevara Bretón & Jiménez Munguía, 2008).

En la encapsulación por fluidos supercríticos el CO_2 es el disolvente más utilizado, pues no sólo es económico y disponible en alta pureza, sino que también es seguro, manipulable y fisiológicamente sano. Además, las propiedades supercríticas del CO_2 son relativamente fáciles de alcanzar pues se necesitan temperaturas superiores a 31,1 $^\circ\text{C}$ y presiones superiores a 72,9 atm (Guerrero Iglesias, 2012).

En el método de coacervación las micropartículas son recubiertas con una película polimérica que se obtiene de la precipitación del material polimérico disuelto en un medio dispersante (Villamizar R & Martínez R, 2007). Según el número de polímeros presentes, el proceso se denomina como coacervación simple cuando está involucrado solo un tipo de polímero, o coacervación compleja cuando están presentes dos o más tipos de polímeros con cargas iónicas opuestas (Zuidam & Shimoni, 2010b).

En la microencapsulación por inclusión molecular se forman complejos que contengan al agente activo en el centro de la molécula encapsulante, hasta lograr un equilibrio en la solución. La estabilidad de los complejos dependerá de factores como la estructura molecular del encapsulante, hidrofobicidad del agente activo, pH de la solución y concentración de ciclodextrinas (Guevara Bretón & Jiménez Munguía, 2008).

El método de secado por aspersion consiste en es la transformación de un producto líquido, sea este una solución, una emulsión o una suspensión en un polvo seco, por el paso a través de una corriente de aire caliente (Gharsallaoui et al., 2007). El proceso consta de cinco fases, la fase I es la entrada de la solución en el atomizador, en la fase II la solución es pulverizada por efecto de la evaporación del solvente formándose una lluvia de gotitas dentro del cilindro de secado. El proceso de secado a través de aire caliente y la transformación de gotas líquidas en partículas sólidas constituyen las fases III y IV y finalmente el polvo seco es recogido dentro de un ciclón (fase V) (Serra Costa et al., 2015).

Este es el método más utilizado en la industria de alimentos por ser económico, flexible, continuo y además proporciona partículas de buena calidad. Sin embargo también presenta ciertas desventajas como son el tamaño y costo del equipo (Martins, Barreiro, Coelho, & Rodrigues, 2014).

En la tabla 1 se presentan algunos ejemplos de investigaciones en las que se utilizó el método de secado por aspersion.

Tabla 1. Secado por aspersion de diferentes matrices

Materia prima	Factores estudiados	Resultados	Referencias
Naranja (<i>Citrus sinensis</i> L)	Temperatura de entrada: 130-150 °C Flujo de alimentación: 15-30 ml/min Agente encapsulante: maltodextrina	El mayor rendimiento (35%) fue a una temperatura de entrada de 130 °C y flujo de alimentación 15 ml/min.	Chegini & Ghobadian, 2007
Granada (<i>Punica Granatum</i>)	Agente encapsulante: maltodextrina, goma arábica y almidón de cera	La densidad aparente del polvo disminuyó al incrementarse la concentración del encapsulante. La goma arábica es el encapsulante más efectivo.	Yousefi, Emam-Djomeh, & Mousavi, 2011
Sandía (<i>Citrullus lanatus</i>)	Concentración del agente encapsulante maltodextrina: 3-10%	El contenido de humedad y la actividad de agua del polvo disminuyen al incrementarse la concentración de maltodextrina.	Oberoi & Sogi, 2017
Piña (<i>Anana comosus</i>)	Concentración del agente encapsulante maltodextrina: 15-25% Temperatura de entrada: 130-150 °C	Las mejores condiciones fueron a una concentración de maltodextrina 25% y temperatura de entrada 150 °C.	Hashib, Rahman, Suzihaque, Ibrahim, & Hanif, 2015
Cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.)	Agente encapsulante: Inulina o goma arábica Concentración: 10-30% Temperatura de entrada: 120-160 °C	Los polvos que se encapsularon utilizando goma arábica al 20 y 30%, y con temperatura de 150°C tuvieron una mayor retención de los compuestos bioactivos.	Daza, Fujita, Granato, Fávaro-Trindade, & Genovese, 2017

Fuente: Chegini & Ghobadian, (2007), Yousefi et al., (2011), Oberoi & Sogi, (2017), Hashib et al., (2015), Daza et al., (2017)

Elaboración: La autora

1.4 Agente encapsulante

La obtención de polvos a partir de frutas mediante el método de atomización presenta ciertas dificultades como problemas de pegajosidad, higroscopicidad y solubilidad, debido a la presencia de azúcares de bajo peso molecular (fructosa, glucosa y sucrosa) y por los ácidos orgánicos que lo componen (Cano-Chauca, Stringheta, Ramos, & Cal-Vidal, 2005). Esto causa que el polvo se quede adherido a la pared de la cámara de secado, provocando

problemas de operación y disminuyendo el rendimiento del polvo. Para evitar este tipo de problemas se recomienda el uso de un agente encapsulante (Tonon, Brabet, & Hubinger, 2008).

El agente encapsulante está diseñado para proteger al material contenido en el núcleo de factores externos que puedan causar su deterioro, evitar la interacción prematura entre el material del núcleo con otros ingredientes, evitar pérdidas por volatilidad, y permitir la liberación controlada o sostenida a las condiciones deseadas (Gharsallaoui et al., 2007). Los más utilizados en la industria de alimentos son: las gomas naturales (goma arábica, alginatos, carragenanos, etc.), las proteínas (proteínas lácteas, proteínas de soja, gelatina, etc.), los carbohidratos (maltodextrinas y derivados de celulosa) y los lípidos (ceras, emulsionantes) (Zuidam & Shimoni, 2010b).

Las gomas generalmente son insípidas, sin embargo, pueden tener un efecto pronunciado en el gusto y sabor del alimento, son solubles, de baja viscosidad, poseen características emulsificantes y se puede utilizar con cualquier método de encapsulación. Los lípidos son buenos formadores de películas, capaces de cubrir las partículas individuales y proporcionar una encapsulación uniforme (Parra, 2011).

Los carbohidratos como los almidones, el jarabe de maíz sólido y las maltodextrinas son considerados buenos agentes encapsulantes por su baja viscosidad a altos contenidos de sólidos y buena solubilidad (Gharsallaoui et al., 2007).

Para elegir un agente encapsulante se deberá considerar que cumpla ciertas características como: ser altamente soluble, tener buena capacidad de formación de película y tener baja viscosidad a altas concentraciones de sólidos (Shishir & Chen, 2017). Otra característica importante es que por tratarse de sustancias que se van a utilizar en productos alimenticios estas deben ser reconocidas como seguras (GRAS por sus siglas en inglés), pues no todos los compuestos son aceptados para su uso en la industria alimentaria (Zuidam & Shimoni, 2010a).

Para el secado por aspersion los encapsulantes más utilizados son la maltodextrina, la goma arábica y los almidones, ya que tienen un alto peso molecular y una elevada temperatura de transición vítrea lo cual es importante pues mejora las propiedades antiadherentes en el producto final (Shishir & Chen, 2017).

La maltodextrina es un polisacárido que estructuralmente está conformado por unidades de D glucosa unidos por puentes glucosídicos (1-4). Se presenta en forma de polvo blanco

resultado de la hidrólisis parcial del almidón de maíz con ácidos o enzimas (Serra Costa et al., 2015). Se caracteriza por ser altamente soluble en agua, tener baja viscosidad, de sabor suave, es incoloro y es utilizado para el encapsulamiento de antocianinas y compuestos fenólicos. Además es reconocida por la FDA como una sustancia GRAS (Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk, 2011).

Varios autores han utilizado la maltodextrina como agente encapsulante en sus investigaciones, tal es el caso de Quek, Chok, & Swedlund (2007), quienes obtuvieron polvo de sandía mediante secado por aspersion; el autor afirma que la adición de maltodextrina en el jugo al ser atomizado incrementa el contenido de sólidos totales, reduciendo la cantidad de agua a ser evaporada y disminuyendo así el contenido de humedad en el polvo obtenido. Estos resultados fueron corroborados por Ferrari, Germer, Alvim, Vissotto, & de Aguirre, (2012) en su estudio de secado por aspersion de la pulpa de mora. En tanto que para Tonon et al., (2008) los polvos de *Euterpe oleraceae* (fruta tropical de la Amazonía), que tuvieron una mayor concentración de maltodextrina presentaron una menor higroscopicidad, lo cual confirma la eficiencia de este encapsulante (Serra Costa et al., 2015).

2 METODOLOGÍA

2.1 Materia prima, solventes y reactivos

- **Materia prima:** Fruto de *Mangifera indica* de la variedad Tommy Atkins, proveniente de la provincia del Guayas.
- **Solventes:** Etanol, agua destilada, metanol
- **Agente encapsulante:** maltodextrina (MEELUNIE)
- **Reactivos para fenoles totales:** ácido gálico (Sigma), reactivo Folín-Ciocalteau 2N (Sigma Aldrich), carbonato de sodio (MERCK)
- **Reactivos para DPPH:** 2,2-difenil-picrilhidracil (Sigma), Trolox (\pm -6-Hydroxy-2,5,7,8,-tetramethylchromane-2-carboxylic acid) $\geq 97\%$, (Sigma)
- **Reactivos para FRAP:** TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-striaizine) $\geq 98\%$ (Sigma), acetato de sodio trihidratado (MERCK), cloruro de hierro (III) hexahidratado $\geq 98\%$ (Sigma), ácido clorhídrico (MERCK) 37%, ácido acético glacial (MERCK),

2.2 Proceso de obtención de polvo a partir de la cáscara y pulpa agotada de mango

La materia prima se lavó y se desinfectó utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 5% por 10-15 min. Para facilitar el proceso de despulpado la materia prima fue escaldada en agua a 80 °C por 5 min.

Manualmente se separó la cáscara, la pulpa y la semilla del mango. La pulpa obtenida se licuó y se filtró con un lienzo, para de esta manera obtener la pulpa agotada.

La deshidratación de los subproductos (cáscara y pulpa agotada) se realizó en una estufa de convección forzada a 60 °C \pm 1 °C durante 48 h. Una vez el subproducto estuvo seco se procedió a su molienda, primero con un molino manual para reducir su tamaño, y después con un molino ultracentrífugo marca Retsch ZM 200, hasta obtener un tamaño de partícula final $\leq 350 \mu\text{m}$.

2.3 Preparación de los extractos

Los extractos se prepararon siguiendo la metodología descrita por Martínez Morales, (2016). En un frasco Boeco se colocó 1 g de subproducto y se adicionaron 20 ml de solvente. El solvente que se utilizó fue una mezcla de etanol-agua (50:50 v/v). Los extractos se calentaron en baño maría a 60 °C, con agitación constante (2500 rpm) durante 1 h y 30 min. Luego fueron filtrados al vacío para separar las partículas sólidas del extracto líquido. Se eliminó el etanol de los extractos mediante rotaevaporación, utilizando un equipo marca Heidolph, a una temperatura de 45 °C.

Luego se calculó el porcentaje de sólidos totales presente en el extracto acuoso antes de ser atomizado, para lo cual se colocó una alícuota de 2 ml de extracto en viales previamente lavados, secados y pesados (*P. inicial*). La muestra se llevó a evaporación utilizando una estufa de convección forzada, a la cual se le fue aumentando la temperatura progresivamente desde 40 °C hasta llegar a 100 °C por 6 h. Transcurrido el tiempo los viales se llevaron a enfriar en un desecador por 1 h y se volvieron a pesar. El procedimiento se repitió hasta tener un peso constante (*P. final*).

Para determinar el porcentaje de sólidos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de sólidos totales: } \frac{P.\text{final}-P.\text{inicial}}{\text{Alícuota}} * 100$$

2.4 Obtención de los microencapsulados

2.4.1 Preparación de la muestra antes de ser atomizada

Se preparó una mezcla de extracto acuoso-maltodextrina, en donde la cantidad de maltodextrina agregada se fue ajustando en función del porcentaje de sólidos deseado (10%, 12,5% y 15%).

2.4.2 Proceso de secado por atomización

Para el proceso de secado se utilizó un equipo Mini Spray Dryer BUCHI B-290, y las variables que se estudiaron fueron temperatura de entrada (140 °C, 155 °C y 170 °C), concentración de sólidos totales (10%, 12,5% y 15%), y flujo de entrada del producto (20%, 30% y 40 %). Las etapas del proceso de atomización se describen en la figura 4.

2.4.3 Cálculo de rendimiento

El rendimiento de los polvos encapsulados se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Donde:

$$\text{Peso final} = (\text{Peso del ciclón} + \text{polvo obtenido}) - (\text{Peso del ciclón vacío})$$

$$\text{Peso inicial} = \text{Contenido de sólidos totales de la muestra a atomizar}$$

Los rendimientos de todas las muestras se indican en el Anexo 1.

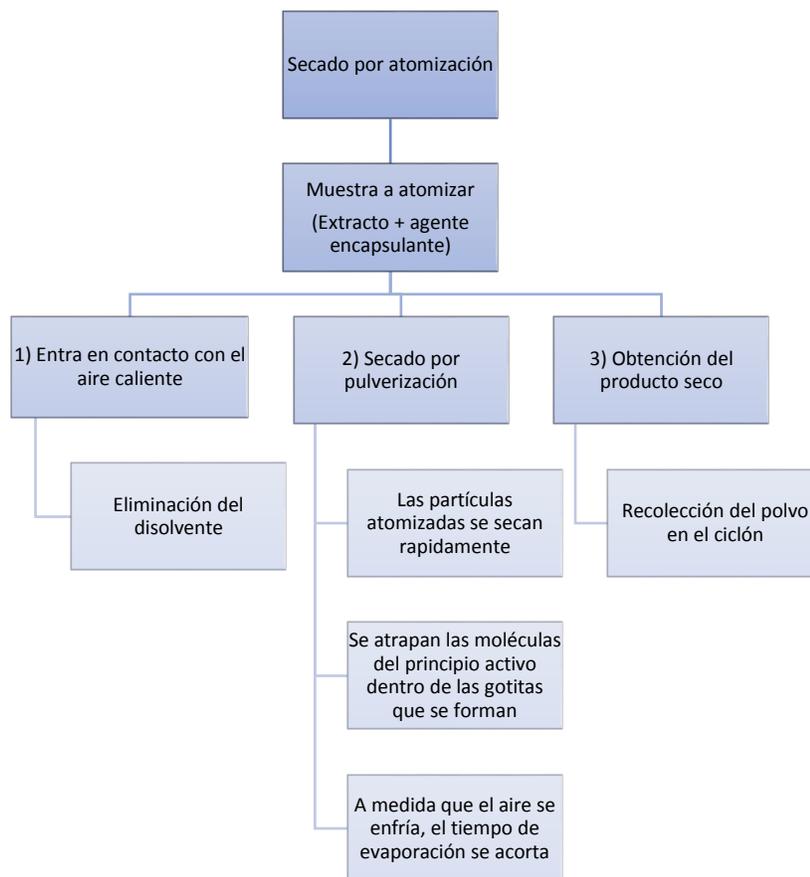


Figura 4. Etapas del proceso de atomización

Fuente: Villacrez Yepez, (2013)

Elaboración: La autora

2.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial multinivel de 3x3x3 con tres repeticiones, para un total de 81 corridas experimentales, siendo la variable respuesta el rendimiento, fenoles totales y la capacidad antioxidante. Los resultados obtenidos se analizaron con el software estadístico Statgraphics Centurion XVI.I. En la tabla 2, se detallan las condiciones en las que se llevó a cabo cada experimentación.

Tabla 2. Diseño experimental

Nro. De corrida	Concentración de sólidos (%)	Temperatura de entrada (°C)	Flujo de entrada de bomba (%)
1	15	140	30
2	12,5	155	40
3	10	170	30
4	12,5	155	30
5	10	140	40
6	12,5	140	30
7	15	170	30
8	15	170	40
9	15	170	20
10	15	155	40
11	12,5	140	20
12	10	155	40
13	10	170	40
14	12,5	170	40
15	10	155	20
16	15	140	20
17	15	155	30
18	10	155	30
19	12,5	170	30
20	12,5	155	20
21	10	170	20
22	12,5	170	20
23	15	140	40
24	10	140	20
25	10	140	30
26	12,5	140	40
27	15	155	20

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: La autora

2.5 Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante

De cada uno de los 81 polvos atomizados se tomó una muestra, se pesó y se reconstituyó con agua destilada hasta tener una concentración inicial de 10000 ppm. Para trabajar en fenoles totales se utilizó una concentración de 2500 ppm, y para la capacidad antioxidante se trabajó con una concentración de 1000 ppm en los tres métodos (DPPH, FRAP, ABTS).

2.5.1 Cuantificación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó utilizando el método colorimétrico Folín-Ciocalteau, descrito por Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, & Hawkins Byrne, (2006) con algunas modificaciones.

Previo a la lectura de las muestras se construyó una curva de calibración, graficando las diferentes concentraciones de ácido gálico (5-150 µg/ml) en el eje X vs las absorbancias obtenidas en el eje Y. La preparación de la solución madre de ácido gálico y de las diferentes concentraciones de los estándares se detallan en el Anexo 2.

Para la lectura de las muestras en un tubo eppendorf se mezclaron 790 µl de H₂O destilada, 50 µl de Folín-Ciocalteau 2N y 20 µl del extracto. Para el blanco y la curva de calibración en lugar del extracto se colocó 20 µl de MeOH y 20 µl del estándar a las diferentes concentraciones de trabajo, respectivamente. La mezcla se agitó y se dejó reposar por 10 min.

Luego se añadieron 150 µl de carbonato de sodio (20%) y se dejó incubar por 2 h en la oscuridad. Una vez transcurrido el tiempo se tomaron 200 µl de cada una de las disoluciones preparadas y se colocaron en los pocillos de la microplaca.

Las lecturas se realizaron por triplicado en una microplaca de 96 pocillos fondo plano (TR5003 96 well) a una temperatura de 25 °C y con longitud de onda de 760 nm en un lector de microplaca (Bio Tech, EPOCH 2). Los resultados se expresan como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG/g encapsulado) y se detallan en el Anexo 3.

2.5.2 Determinación de capacidad antioxidante

Los métodos utilizados para determinar la capacidad antioxidante fueron: DPPH (2,2-difenilpicrilhidracil), FRAP (reducción férrica del plasma) y ABTS (2,29-azinobis, 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico ácido).

Antes de leer las muestras se realizó una curva de calibración para cada uno de los métodos. La curva se construyó con los datos obtenidos de la graficación de las diferentes concentraciones de trolox (2.5- 50 µM) en el eje X vs las absorbancias obtenidas de cada concentración en el eje Y. Los detalles de la preparación de la solución madre de trolox y de los estándares para cada método se detalla en el Anexo 4.

2.5.2.1 Método DPPH

Se utilizó el método descrito por Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, (1995) con modificaciones hechas por Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, & Hawkins Byrne, (2006).

Para este ensayo se preparó una solución madre de DPPH (625 mM), para lo cual se utilizaron 12,32 mg del reactivo DPPH y se diluyeron en 20 ml de MeOH. Después de su uso se almacenó en congelación y oscuridad.

A partir de la solución madre se preparó la solución trabajo de DPPH, para lo cual se tomaron 180 μ l de solución madre por cada 1 ml de MeOH, y se ajustó la solución a una absorbancia de $1,1 \pm 0,02$. Si el valor de la absorbancia es $>1,00$ se agrega MeOH, y si es $< 1,00$ se agrega solución madre DPPH.

El ensayo consistió en mezclar 270 μ l de la solución de trabajo más 30 μ l de la muestra a analizar. Se realizó un control del máximo de absorbancia de la solución de trabajo, para lo cual se mezclaron 270 μ l de la solución trabajo con 30 μ L de MeOH. El blanco del ensayo fue solamente 300 μ l de MeOH. En el caso de la curva de calibración, los estándares llevaron 270 μ l de solución trabajo y 30 μ l de cada estándar de trolox a diferente concentración (2,5-50 μ M).

El análisis se realizó por triplicado en una microplaca de 96 pocillos fondo plano. Se dejó reaccionar por 1 h y se leyó a una longitud de onda de 515 nm en un lector de microplaca (Bio Tech, EPOCH 2). Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 5.

2.5.2.2 Método FRAP

Se utilizó el método de Benzie & Strain, (1996), con modificaciones descritas por Thaipong et al., (2006). Los resultados se expresan como micromoles equivalentes de trolox por gramo de muestra (μ MET/g de muestra).

El método empieza con la preparación de los reactivos: buffer de acetato pH 3.6, TPTZ (10 mM), y cloruro férrico (40 mM). Estos se toman en proporción 10:1:1 y se mezclaron para preparar la solución trabajo. La solución de trabajo se debe calentar en baño maría a 37 °C por 15 min antes de ser utilizada. La forma de preparación de los reactivos y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo 6.

Para el ensayo se mezclaron 270 μl de la solución de trabajo con 30 μl de la muestra a analizar. Para el estándar se mezclaron 270 μl de la solución de trabajo y 30 μl del estándar a las diferentes concentraciones (2,5-50 μM). El blanco del ensayo consistió en 270 μl de la solución de trabajo más 30 μl de MeOH.

El análisis se realizó por triplicado en una microplaca de 96 pocillos fondo plano. Se dejó reaccionar por 30 min y luego se leyó a una longitud de onda de 593 nm.

2.5.2.3 Método ABTS

Se siguió el método descrito por Arnao, Cano, Alcolea, & Acosta, (2001), con ajustes hechos por Thaipong et al., (2006). Los resultados se expresan como micromoles equivalentes de trolox por gramo de muestra ($\mu\text{MET/g}$ de muestra).

Para el ensayo se preparó una solución madre ABTS a partir de la mezcla en partes iguales de la solución de ABTS (7,4 mM) con el peroxidisulfato de potasio (2,6 mM) y se dejó reaccionar por 16 h en la oscuridad. La preparación de los reactivos y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo 7.

La solución trabajo se preparó mezclando 44 μl de solución madre ABTS por cada 1 ml de MeOH, y se ajustó la absorbancia a $1,20 \pm 0,02$, midiendo a una longitud de onda de 734 nm. Si la absorbancia de la solución de trabajo es $> 1,20$ se agrega MeOH, si la absorbancia es $< 1,20$ se debe agregar solución madre ABTS.

Para el ensayo se colocaron 270 μl de la solución de trabajo con el ajuste más 30 μl de la muestra. Para el estándar, se añadieron 270 μl de solución de trabajo más 30 μl del estándar con el que se vaya a trabajar. Para el control se colocaron 270 μl de solución de trabajo más 30 μl de MeOH. El blanco de la prueba llevó únicamente 300 μl de MeOH. Para la curva de calibración la mezcla fue la misma, pero los 30 μl corresponden a cada una de las concentraciones de los estándares (1,25-50 μM).

El análisis se realizó por triplicado en una microplaca de 96 pocillos fondo plano (TrueLine TR5003 96 Well). Se dejó reaccionar por 1 h en la oscuridad y luego se leyó a una longitud de onda de 734 nm en un lector de microplaca (BioTech, EPOCH 2).

2.6 Análisis de la morfología de las partículas de los encapsulados

La morfología y el tamaño de partícula de las muestras se analizó utilizando un microscopio electrónico de barrido marca Nova NanoSEM™ 450. Previo al análisis, las partículas

precipitadas se cubrieron con un revestimiento de paladio, para lo cual se utilizó un recubridor de partículas. Utilizando el software de análisis de imágenes Scion Image, se obtuvo el tamaño de partícula. Aproximadamente 300 partículas se analizaron en cada experimento. El tamaño de partícula medio y la distribución del tamaño de partícula se calcularon utilizando el software Statgraphics Centurion XV (Guamán-Balcázar, Montes, Pereyra, & de la Ossa, 2017).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Microencapsulados

El porcentaje de sólidos en el extracto acuoso puro fue de 9%, y a partir de este se prepararon las muestras a ser atomizadas. Para llegar a las concentraciones de trabajo deseadas (10%, 12,5% y 15%) se agregó maltodextrina.

3.1.1 Rendimiento

En la tabla 3 se muestran los rendimientos obtenidos en cada una de las 27 corridas experimentales y las condiciones con las que se trabajaron.

Tabla 3. Rendimiento de los microencapsulados

Nro. de corrida	Sólidos (%)	Temperatura (°C)	Flujo (% bomba)	Promedios Rendimiento (%)
1	15	140	30	48,54± 1.92
2	12,5	155	40	54,47± 3.07
3	10	170	30	55,17± 3.38
4	12,5	155	30	62,07± 1.05
5	10	140	40	48,83± 4.41
6	12,5	140	30	59,05± 0.38
7	15	170	30	54,71± 0.62
8	15	170	40	50,03± 0.68
9	15	170	20	57,55± 2.16
10	15	155	40	47,05± 2.41
11	12,5	140	20	65,50±3.29
12	10	155	40	48,07± 3.56
13	10	170	40	53,52± 4.76
14	12,5	170	40	54,16± 1.01
15	10	155	20	67,30± 4.06
16	15	140	20	55,73± 5.87
17	15	155	30	53,31± 0.27
18	10	155	30	61,63± 1.24
19	12,5	170	30	62,92± 2.01
20	12,5	155	20	68,50± 1.02
21	10	170	20	66,92± 2.37
22	12,5	170	20	71,40± 1.36
23	15	140	40	44,89± 2.90
24	10	140	20	62,87± 3.66
25	10	140	30	65,27± 1.59
26	12,5	140	40	50,75± 4.20
27	15	155	20	56,96± 0.48

n= 3

* datos presentados como media ± desviación estándar

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Los valores obtenidos en este estudio fueron de 44,89% (corrida 23) para el rendimiento más bajo, y a las condiciones de trabajo: 15% de porcentaje de sólidos, 140 °C de temperatura y 40% de flujo de bomba. Mientras que el rendimiento más alto fue de 71,40% (corrida 22), y con las condiciones de trabajo 12,5% porcentaje de sólidos, 170 °C de temperatura y 20% de flujo de bomba.

Algunos autores reportan resultados similares a los obtenidos, por ejemplo Varastegani et al., (2017) consiguió un rendimiento de 72,85% al utilizar maltodextrina como agente encapsulante en el secado por aspersión de *Nigella sativa*, valor considerablemente alto en comparación con el 40,71% obtenido al trabajar con goma arábica. (Maldonado Morocho, 2018) logró un rendimiento de 71,81% en sus atomizados de subproducto de *Tamarindus indica* L. con las siguientes condiciones de trabajo: flujo de bomba 20%, 7,5% de porcentaje de sólidos y temperatura de entrada de 170 °C. En cambio Fazaeli, Emam-Djomeh, Kalbasi Ashtari, & Omid, (2012) consiguió un rendimiento del 82% al utilizar como agente encapsulante una combinación de maltodextrina 6DE con goma arábica, en los atomizados de mora negra.

3.1.1.1 Influencia de las variables (sólidos, temperatura y flujo de bomba) sobre el rendimiento

En el análisis de varianza (Tabla 4), se puede observar que las tres variables estudiadas influyeron significativamente ($p < 0,05$) sobre el rendimiento de los encapsulados.

Tabla 4. Tabla ANOVA para rendimiento

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	110,41	2	55,2052	4,54	0,0138
B: Sólidos	1163,75	2	581,873	47,82	0,0000
C: Flujo	2462,29	2	1231,14	101,18	0,0000
RESIDUOS	900,391	74	12,1674		
TOTAL (CORREGIDO)	4636,83	80			

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: La autora

En la figura 5, correspondiente al diagrama de Pareto nos muestra que el flujo fue la variable más influyente sobre el rendimiento. Las experimentaciones 9, 11, 15, 16, 20, 21, 22, 24 y 27, que se trabajaron con flujo de bomba del 20% de flujo mostraron una mayor cantidad de partículas obtenidas. Chegini & Ghobadian (2007), indican que al incrementar el flujo de alimentación el rendimiento es menor, ya que más líquido se atomiza dentro del cilindro,

con lo cual el tiempo de secado se reduce, dando como resultado partículas aglomeradas, con alto porcentaje de humedad.

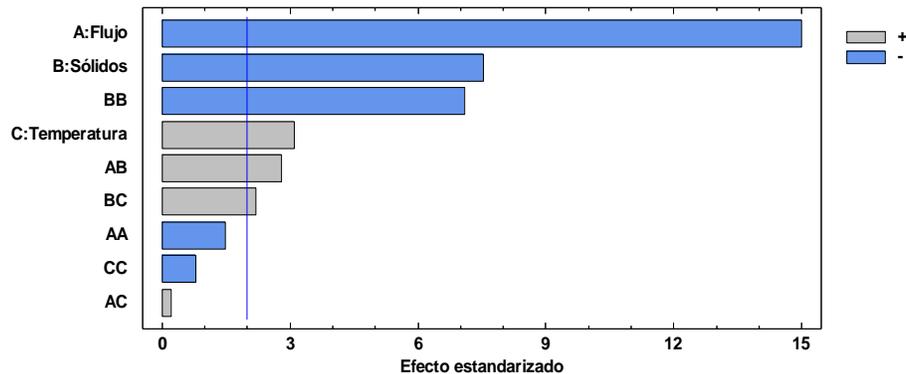


Figura 5. Diagrama de Pareto estandarizado para Rendimiento

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: La autora

El porcentaje de sólidos fue la segunda variable influyente, es así que en las corridas 3, 15, 18, 21,24 y 25 que se trabajaron con concentración de sólidos 10%, se obtuvieron rendimientos mayores al 50%, pero durante el almacenamiento, se observó que los polvos obtenidos se aglomeraron y pegaron entre sí.

Las corridas 12 y 13 del atomizado obtenido, no pudieron ser recolectadas pues el producto quedó completamente adherido al recipiente, lo que quiere decir que la cantidad de maltodextrina utilizada no fue suficiente para lograr la encapsulación del extracto de subproducto de mango. Autores como Caliskan & Nur Dirim (2013) y Naddaf, Avalo, & Oliveros (2012) que trabajaron en la encapsulación de extractos de *Rhus coriaria* L., y *Citrus sinensis* L. respectivamente, coinciden en que este comportamiento se debe a la poca cantidad de encapsulante utilizado en relación con la cantidad de azúcares presentes en el extracto. Por otro lado, Adhikari, Howes, Lecomte, & Bhandari, (2005), indican que la presencia de ingredientes como los azúcares pueden actuar como plastificantes aumentando la pegajosidad entre la superficie de las partículas secas (Behboudi-Jobbehdar, Soukoulis, Yonekura, & Fisk, 2013).

Finalmente, utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.I se determinó que las condiciones óptimas de encapsulación para un rendimiento estimado de 69% fueron 20% flujo, 165°C y 11,5% de sólidos.

3.1.2 Fenoles totales y capacidad antioxidante en los microencapsulados

3.1.2.1 Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales (FT) en las 27 experimentaciones estuvo en un rango entre 18,1 y 51,2 mg EAG/g encapsulado, dependiendo de las condiciones de trabajo. (Véase la tabla 5). El mejor resultado se obtuvo en la corrida 12 y 25.

Tabla 5. Resultados para fenoles totales

Nro. Corrida	% sólidos (p/p)	Flujo de entrada (%)	Temperatura (°C)	Fenoles totales mg EAG/g encapsulado
1	15	30	140	19,84
2	12,5	40	155	21,73
3	10	30	170	28,51
4	12,5	30	155	26,04
5	10	40	140	22,92
6	12,5	30	140	20,43
7	15	30	170	23,21
8	15	40	170	23,90
9	15	20	170	22,46
10	15	40	155	19,77
11	12,5	20	140	21,61
12	10	40	155	51,25
13	10	40	170	31,74
14	12,5	40	170	22,89
15	10	20	155	36,72
16	15	20	140	18,45
17	15	30	155	18,06
18	10	30	155	33,44
19	12,5	30	170	22,70
20	12,5	20	155	19,63
21	10	20	170	34,90
22	12,5	20	170	21,04
23	15	40	140	18,75
24	10	20	140	38,54
25	10	30	140	43,67
26	12,5	40	140	24,85
27	15	20	155	24,10

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

3.1.2.2 Influencia de las variables (sólidos totales, temperatura y flujo de bomba) en el contenido de fenoles totales

En la figura 6, podemos observar que el porcentaje de sólidos fue la única variable que influyó significativamente sobre el contenido de fenoles totales en los encapsulados.

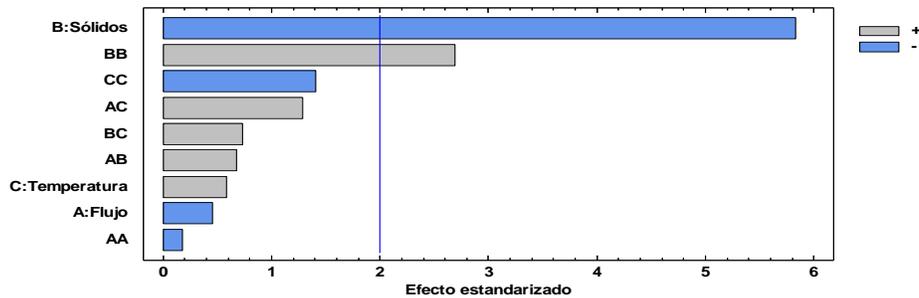


Figura 6. Diagrama de Pareto para fenoles totales

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: La autora

La figura 7 nos indica como el contenido de FT va disminuyendo conforme se va incrementando el contenido de sólidos. En el polvo microencapsulado de subproducto de mango, el contenido más alto de FT fue de 51,2 mgEAG/ g encapsulado al 10% de porcentaje de sólidos.

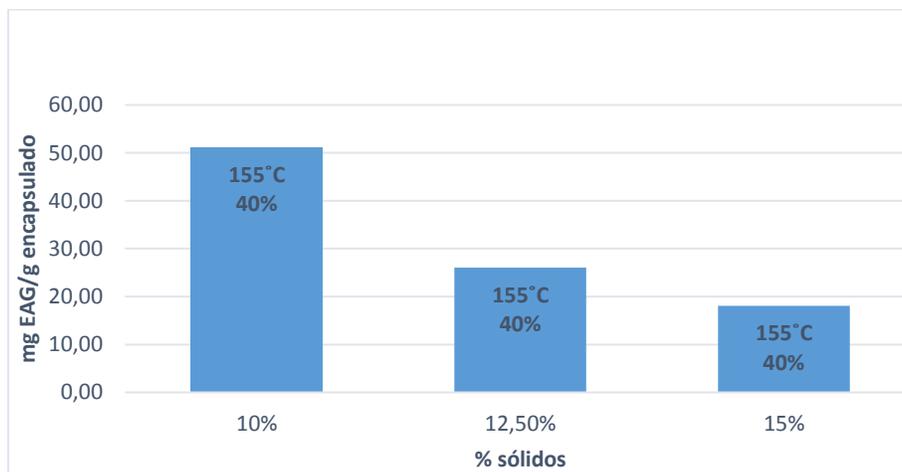


Figura 7 . Contenido de FT según el porcentaje de sólidos en subproducto de mango

Fuente: La autora

Elaboración: La autora.

En la figura 8 se hace una comparación de nuestros resultados con los valores obtenidos por otros autores. Nuestro resultado en fenoles totales es superior al encontrado en el subproducto de tamarindo, cuyo valor más alto fue de 1,79 mg EAG/g encapsulado al 5% (Maldonado Morocho, 2018). En la pulpa de café la cantidad de FT fue de 43,49 mg EAG/g encapsulado al 5%, valor que es ligeramente menor al de este estudio (González Sarango, 2018). Pero nuestro contenido de FT es menor en comparación a los 102,2 mg EAG/g encapsulado encontrados en los atomizados de cacao al 5% (Villamagua León, 2017).

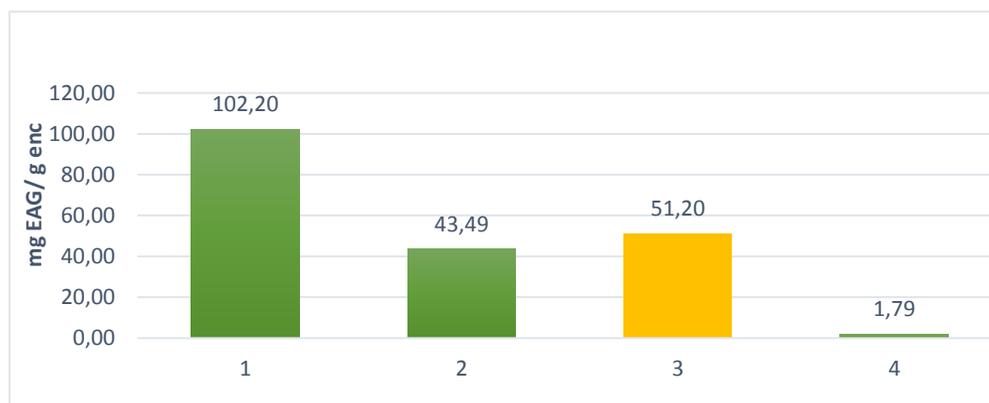


Figura 8. Contenido de FT en otros productos atomizados: 1) cacao, 2) pulpa de café, 3) subproducto de mango, 4) subproducto de tamarindo

Fuente: 1) Villamagua León, (2017), 2) González Sarango, (2018), 3) La autora, 4) Maldonado Morocho, (2018)

Elaboración: La autora

Mishra, Mishra, & Mahanta, (2014) quien también tuvo como variable influyente la cantidad de sólidos en la obtención de polvo de *Emblica officinalis*, explica que la disminución en el contenido de FT se da por la dilución del extracto debido a la adición del agente encapsulante.

3.1.2.3 Capacidad antioxidante presente en los microencapsulados

Se utilizaron tres métodos para medir la capacidad antioxidante: DPPH, FRAP y ABTS. Los resultados para DPPH fueron de 8,39 a 44,00 μ MET/ g encapsulado, para FRAP valores de 8,96 a 19,59 μ MET/g encapsulado, y finalmente ABTS con valores de 11,73 a 38,97 μ MET/ g encapsulado. (Véase la tabla 6)

Tabla 6. Resultados para DPPH, FRAP y ABTS

Nro. de corrida	% sólidos (p/p)	Flujo de entrada (%)	Temperatura (°C)	DPPH μ MET/g	FRAP μ MET/g	ABTS μ MET/g
1	15	30	140	13,19	9,66	14,05
2	12,5	40	155	19,36	16,98	16,05
3	10	30	170	29,48	15,78	30,54
4	12,5	30	155	20,04	16,99	31,31
5	10	40	140	21,95	10,59	19,75
6	12,5	30	140	19,71	9,31	16,01
7	15	30	170	11,10	9,34	13,50
8	15	40	170	11,43	9,60	13,14
9	15	20	170	10,68	9,07	9,16
10	15	40	155	8,97	9,83	12,14
11	12,5	20	140	19,72	17,34	15,68
12	10	40	155	22,08	16,44	19,58
13	10	40	170	18,95	9,46	7,68
14	12,5	40	170	19,72	15,79	11,85
15	10	20	155	44,00	16,58	38,93
16	15	20	140	8,39	8,96	12,51
17	15	30	155	10,05	9,82	14,07
18	10	30	155	31,46	19,59	38,97
19	12,5	30	170	19,87	16,71	18,77
20	12,5	20	155	17,84	16,79	21,24
21	10	20	170	30,65	16,98	38,25
22	12,5	20	170	21,99	16,41	13,68
23	15	40	140	10,90	8,97	14,64
24	10	20	140	27,67	19,03	38,39
25	10	30	140	31,06	17,33	39,82
26	12,5	40	140	19,27	17,83	15,86
27	15	20	155	9,07	9,71	11,73

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.

Elaboración: La autora

3.1.2.4 Influencia de las variables (sólidos totales, temperatura y flujo de bomba) en la capacidad antioxidante

En la figura 9 se observa que la cantidad de sólidos fue la variable que más influyó ($p < 0,05$) en los tres métodos, el flujo tuvo significancia en DPPH y ABTS, y la temperatura solamente afectó en el análisis ABTS.

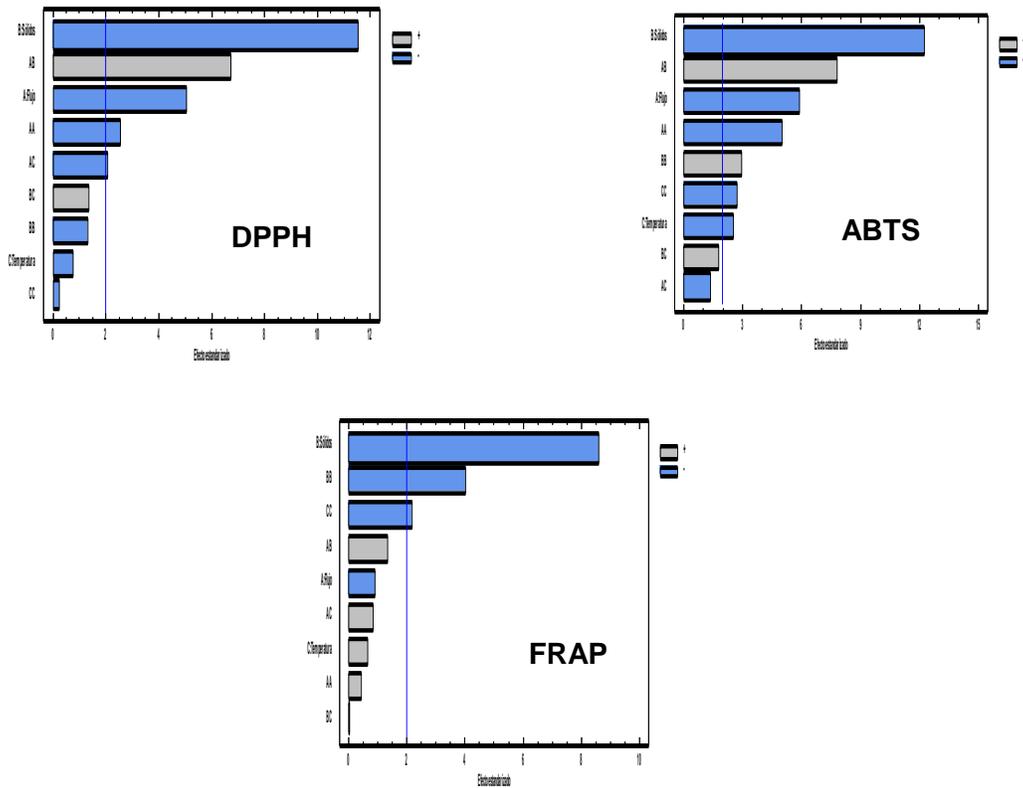


Figura 9. Diagrama de Pareto Estandarizado para DPPH, ABTS y FRAP
Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I
Elaboración: La autora

Para corroborar esta información, se realizó una gráfica (figura 10) con los resultados de las muestras que se trabajaron a las mismas condiciones de temperatura y flujo de bomba (140°C y 20%), pero a diferentes concentraciones de sólidos (10, 12,5 y 15%).

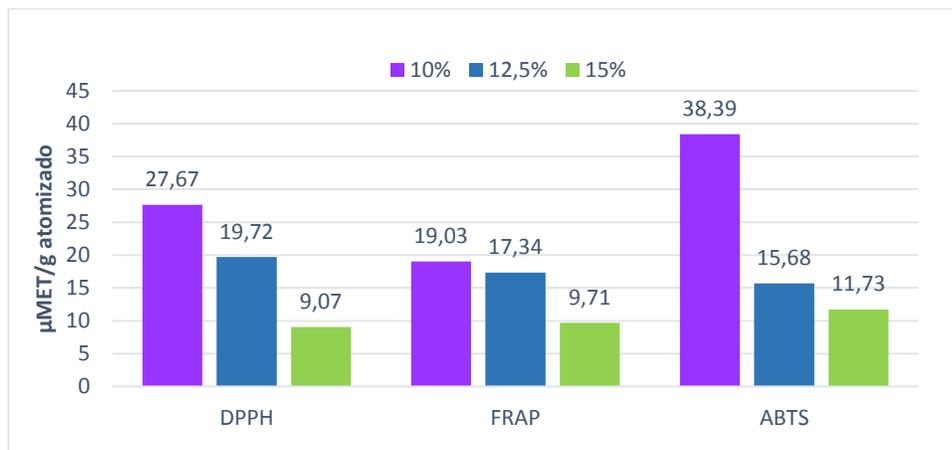


Figura 10. Capacidad antioxidante en encapsulados de subproducto de mango
Fuente: La autora
Elaboración: La autora

En la investigación de Daza et al., (2017) la concentración de sólidos también fue la variable que afectó la capacidad antioxidante de sus encapsulados de *Eugenia dysenterica*. El autor indica que la pérdida de la capacidad antioxidante se da por el efecto de dilución, causado por la adición del agente encapsulante. En la figura 11 se presentan los resultados obtenidos por Daza et al., (2017) para DPPH y FRAP, junto con los obtenidos en esta investigación.

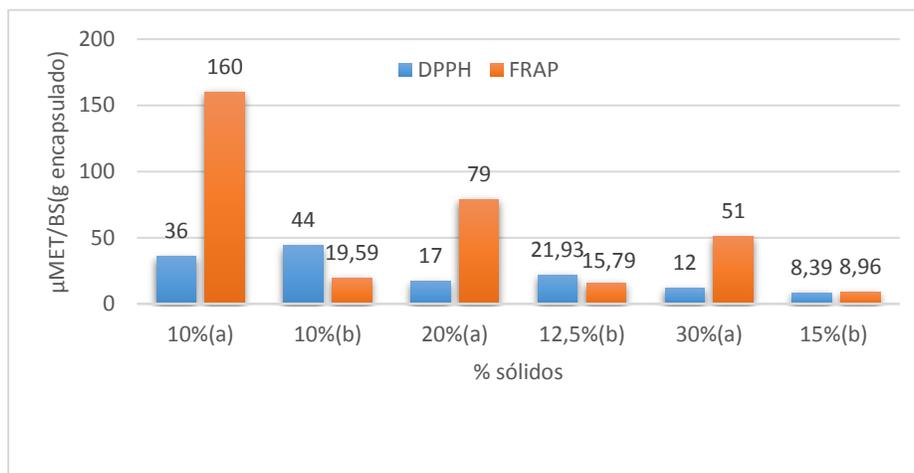


Figura 11. Resultados para DPPH y FRAP

Fuente: (a) Daza et al. (2017); (b) La autora

Elaboración: La autora

Daza et al., (2017), evaluó la capacidad antioxidante de sus encapsulados de *Eugenia dysenterica*, utilizando los métodos DPPH, FRAP y ORAC. El autor reporta para DPPH valores de 36, 17 y 12 $\mu\text{MET/g BS}$ al trabajar con concentraciones de maltodextrina del 10, 20 y 30% respectivamente. Estos resultados son similares a los valores más altos obtenidos en esta investigación, cuyos valores fueron de 44,00, 21,93 y 8,39 $\mu\text{MET/g encapsulado}$ a las concentraciones de 10, 12,5 y 15%. En el método FRAP nuestros valores fueron de 19,59, 15,79 y 8,96 $\mu\text{MET/g encapsulado}$, los cuales son muy bajos en comparación con los resultados que reporta el autor, los cuales fueron de 160, 79 y 51 $\mu\text{MET/g BS}$. En las dos investigaciones la tendencia fue similar, es decir aquellos encapsulados que tuvieron menor porcentaje de sólidos fueron los que presentaron mayor capacidad antioxidante.

Para ABTS, nuestros resultados se compararon con los obtenidos por Şahin-Nadeem et al., (2013) en los polvos de *Salvia fruticosa* Miller quien trabajó concentraciones de 0, 3 y 5%. El autor reporta valores de 2,09; 1,11 y 0,87 $\mu\text{MET/g BS}$, respectivamente. Estos valores son muy bajos en comparación con los obtenidos en esta investigación, como se puede observar en la figura 12.

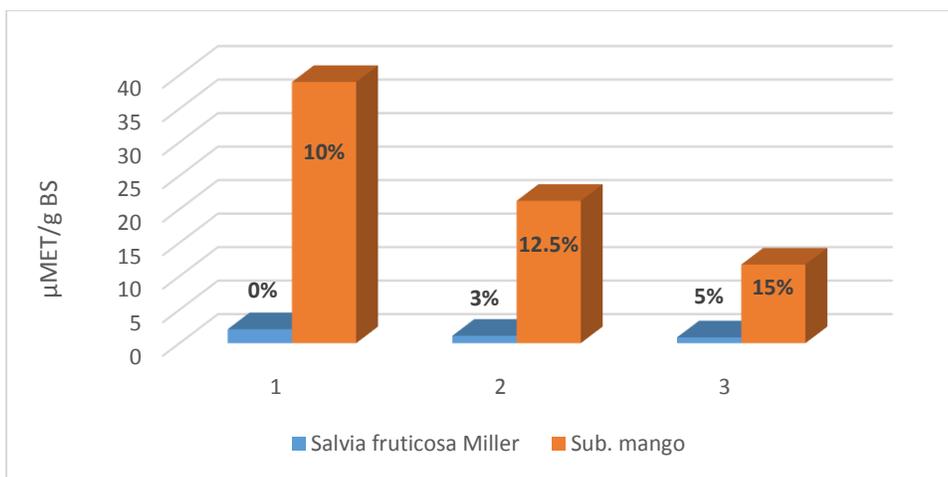


Figura 12. Resultados para ABTS, en subproducto de mango y en *Salvia fruticosa* M.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

3.1.3 Morfología de los polvos

Se analizaron los polvos que presentaron mejor capacidad antioxidante y mejor rendimiento, que corresponden a las corridas 4 y 22 de la tabla 3. En la figura 13a podemos observar partículas amorfas, grandes con un tamaño que varía entre 0,8 y 8,86 μm y que presentan una fuerte atracción entre sí. Las partículas de la figura 13b son más pequeñas con un tamaño entre 0,27 a 4,44 μm , son más esféricas, y están más dispersas. Los tamaños de partícula obtenidos en esta investigación se parecen a los conseguidos por Rajabi et al., (2015) en los microencapsulados de *Crocus sativus*, donde el autor reporta un tamaño de partícula que va de 0,54 μm a 20,47 μm .

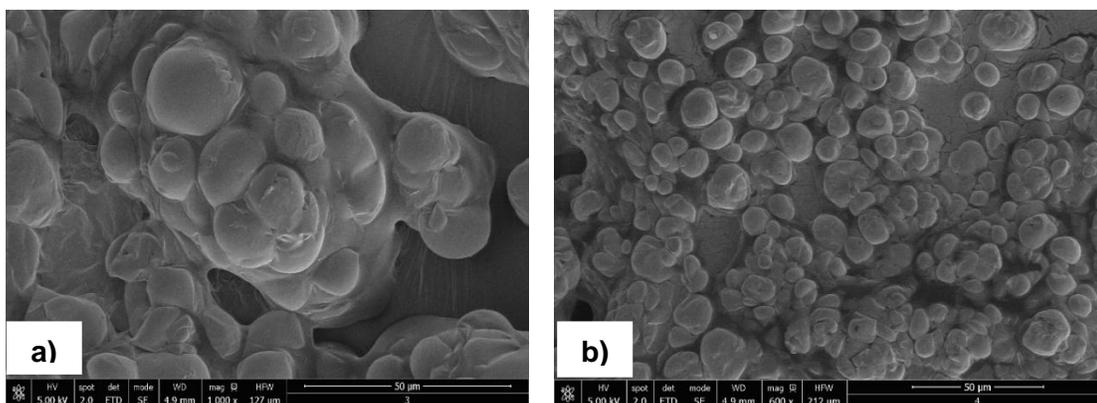


Figura 13. Microfotografías del polvo encapsulado de subproducto de mango: a) mejor capacidad antioxidante y b) mejor rendimiento

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Los polvos analizados tienen la misma concentración de sólidos (12,5%), pero las condiciones de temperatura y flujo de bomba son diferentes; 155 °C, 30% para la figura 7a y 170 °C, 20% para la figura 12b, lo que significa que debido a la temperatura y flujo afectó en la morfología de las partículas. A mayor temperatura y menor flujo, las partículas se secaron totalmente con lo cual se obtuvo partículas no aglomeradas (figura 13b). Para Behboudi-Jobbehdar et al., (2013) los polvos obtenidos a una mayor temperatura y menor flujo de bomba presentan mejores características de fluidez, baja adherencia y aglomeración, debido a que en estas condiciones los polvos tendrán una menor actividad de agua y contenido de humedad lo que conllevaría a la inhibición de la actividad de células bacterianas prolongando de esta manera la vida útil del polvo.

Por otro lado, en las imágenes SEM se puede observar un solo tipo de partículas con lo cual podríamos deducir que las partículas de mango se encuentran encapsuladas en maltodextrina. En la Fig. 14 se observan las características que presentó el polvo encapsulado de mora negra, en la investigación realizada por Fazaeli et al., (2012). El polvo obtenido en esta investigación presenta similares características morfológicas que nuestro producto, como se puede observar en la Fig. 13, por lo que se podría inferir que si hubo un correcto encapsulamiento de los antioxidantes de subproducto de mango.

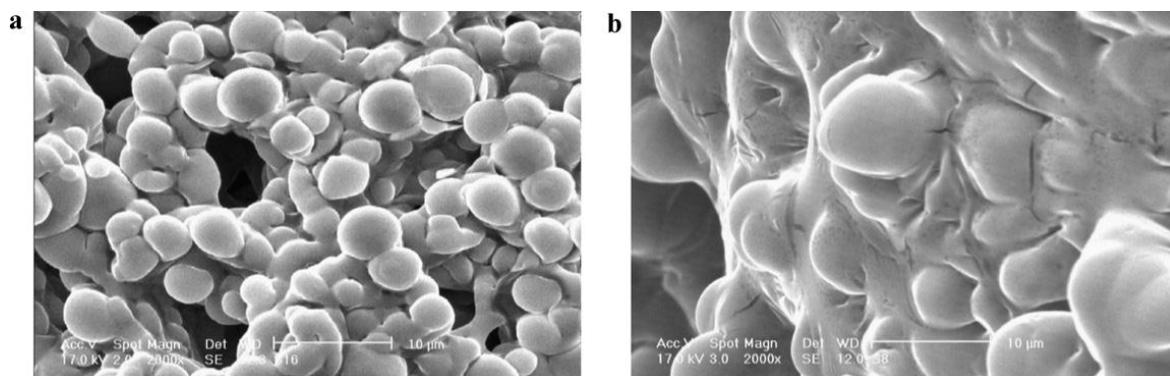


Figura 14. Microfotografías de las partículas encapsuladas de polvo de mora negra con: (a) 6% maltodextrina 6DE y 2% goma arábiga a 130°C, 800 L/h, (b) 8% maltodextrina 20DE a 110°C, 400 L/h.

Fuente: Fazaeli et al., (2012)

Elaboración: La autora

CONCLUSIONES

- La concentración de sólidos presentó un efecto significativo sobre el rendimiento, el contenido de fenoles y la capacidad antioxidante.
- La concentración de sólidos al 10% presentó, rendimientos superiores al 50% y mayor contenido de fenoles totales y de capacidad antioxidante, sin embargo, durante el almacenamiento los polvos se aglomeraron y se pegaron entre sí.
- Las partículas encapsuladas presentaron forma esférica y una distribución homogénea.
- El mejor rendimiento fue de 71,40%, y se obtuvo a las condiciones de trabajo 12.5% sólidos, 170°C y 20%. El polvo con mejor capacidad antioxidante se consiguió al trabajar al 12,5% sólidos, 155 °C y 30% flujo. El mayor contenido de fenoles totales se obtuvo en el polvo que se trabajó al 10% sólidos, 155 °C y 40 flujo.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de las propiedades físico-químicas al polvo encapsulado (contenido de humedad, actividad de agua, higroscopicidad, solubilidad, color, densidad aparente, vida útil), y de esta manera facilitar su incorporación en un alimento, bebida, o nutraceutico.
- Estudiar cómo influye la combinación de dos encapsulantes en las características físico químicas del polvo.
- Comprobar la eficacia de encapsulación de los antioxidantes de subproducto de mango

BIBLIOGRAFIA

Adhikari, B., Howes, T., Lecomte, D., & Bhandari, B. R. (2005). A glass transition temperature approach for the prediction of the surface stickiness of a drying droplet during spray drying. *Powder Technology*, 149(2–3), 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2004.11.007>

Ajila, C. M., Aalami, M., Leelavathi, K., & Rao, U. J. S. P. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(1), 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.004>

Arnao, M., Cano, A., Alcolea, J., & Acosta, M. (2001). Estimation of free radical-quenching activity of leaf pigment extracts. *Phytochemical Analysis*, 12(2), 138–143. <https://doi.org/10.1002/pca.571>

Bakowska-Barczak, A. M., & Kolodziejczyk, P. P. (2011). Black currant polyphenols : Their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, 34, 1301–1309. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.002>

Bally, I. S. E. (2006). " Mangifera indica (Mango)" *traditionaltree.org*. April.2006. Species Profiles for Pacific Island Agroforestry

Behboudi-Jobbehdar, S., Soukoulis, C., Yonekura, L., & Fisk, I. (2013). Optimization of Spray-Drying Process Conditions for the Production of Maximally Viable Microencapsulated *L. acidophilus* NCIMB 701748. *Drying Technology*, 31(11), 1274–1283. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.788509>

Benzie, I., & Strain, J. . . (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 292, 15–36.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Caliskan, G., & Nur Dirim, S. (2013). The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioprocess Processing*, 91(4), 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.06.004>

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(4), 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

Casas F., N., Díaz, N., & Rodríguez, C. (2016). *Utilización de cáscaras de mango (Mangifera indica L .) deshidratadas en la elaboración de infusiones aromáticas. Fundación Universitaria Agraria de Colombia (UNIAGRARIA) (Vol. 34)*. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58088>

Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2007). Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 230–236. Retrieved from [http://www.idosi.org/wjas/wjas3\(2\)/14.pdf](http://www.idosi.org/wjas/wjas3(2)/14.pdf)

Daza, L. D., Fujita, A., Granato, D., Fávaro-Trindade, C. S., & Genovese, M. I. (2017). Functional properties of encapsulated Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extract. *Food Bioscience*, 18, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.03.003>

Dorta, E., Lobo, G., & González, M. (2012). Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 45(2), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.016>

El telégrafo. (2016). Exportaciones de mango subieron el 17% en 5 años. Retrieved from <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/exportaciones-de-mango-subieron-el-17-en-5-anos>

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioprocess Technology*, 90(4), 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>

Ferrari, C. C., Germer, S. P. M., Alvim, I. D., Vissotto, F. Z., & de Aguirre, J. M. (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), 1237–1245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02964.x>

Foundation Mango, E. (2018). Variedades del mango ecuatoriano. Retrieved July 4, 2018, from <http://www.mangoecuador.org/variedades-mango.php>

Garofulic, I., Zoric, Z., Pedisic, S., & Dragovic, V. (2017). Retention of polyphenols in encapsulated sour cherry juice in dependence of drying temperature and wall material. *Food Science and Technology*, 83, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.017>

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>

González Sarango, J. A. (2018). *Encapsulación de compuestos fenólicos de subproductos de café*. Universidad Técnica Particular de Loja.

Guamán-Balcázar, M. C., Montes, A., Pereyra, C., & de la Ossa, E. M. (2017). Precipitation of mango leaves antioxidants by supercritical antisolvent process. *Journal of Supercritical Fluids*, 128, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.05.031>

Guerrero Iglesias, S. P. (2012). *Extracción y encapsulamiento del aroma de residuos de piña, manzana (Ananas comosus L.) usando CO2 supercrítico*. Universidad del Valle.

Guevara Bretón, N. A., & Jiménez Munguía, T. (2008). Encapsulación: técnicas y aplicaciones en la industria alimentaria.

Hashib, S. A., Rahman, N. A., Suzihaque, M. U. ., Ibrahim, U. K., & Hanif, N. E. (2015). Effect of Slurry Concentration and Inlet Temperature Towards Glass Temperature of Spray Dried Pineapple Powder. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2660–2667. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.472>

Hernández, C. de J., Iliana, A., Ventura, J., Belmares, R., Contreras, J. C., Álvarez, G., & Martínez, J. L. (2016). La microencapsulación de bioactivos para su aplicación en la industria. *Instituto Cubano de Investigaciones de Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 50(1), 12–19.

Kim, H., Moon, J. Y., Kim, H., Lee, D. S., Cho, M., Choi, H. K., ... Cho, S. K. (2010). Antioxidant and antiproliferative activities of mango (*Mangifera indica* L.) flesh and peel. *Food Chemistry*, 121(2), 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.060>

- Maldonado Morocho, J. A. (2018). *Secado por atomización del extracto de subproducto de tamarindo Tamarindus indica L.* Universidad Técnica Particular de Loja.
- Martínez Morales, E. S. (2016). *Calidad fenólica de los subproductos del mango.* Universidad Técnica Particular de Loja.
- Martins, I. M., Barreiro, M. F., Coelho, M., & Rodrigues, A. E. (2014). Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications. *Chemical Engineering Journal*, 245, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.02.024>
- Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblca officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3), 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.08.003>
- Naddaf, L., Avalo, B., & Oliveros, M. (2012). Spray-dried natural orange juice encapsulants using maltodextrin and gum arabic. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería. Universidad Del Zulia*, 35(1), 20–27. Retrieved from <http://produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/tecnica/article/view/6815>
- Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2017). Moisture Sorption Characteristics of Dehydrated Watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb) Pomace Wastes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), 1–6. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12783>
- Parra, R. A. (2011). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Revista de La Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 63(2), 37055. <https://doi.org/0304-2847>
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>
- Rajabi, H., Ghorbani, M., Jafari, S. M., Sadeghi Mahoonak, A., & Rajabzadeh, G. (2015). Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocolloids*, 51, 327–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.033>
- Ravani, A., & Joshi, D. C. (2013). Mango and it ' s by product utilization – a review. *Trends in Post Harvest Technology*, 1(1), 55–67.
- Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.009>
- Şahin-Nadeem, H., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A., & özdemir, F. (2013). Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, 52(1), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.007>
- Schrooyen, P. M. M., Meer, R. van der, & Kruif, C. G. De. (2001). Microencapsulation: its application in nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society*, 60(04), 475–479. <https://doi.org/10.1079/PNS2001112>
- Serra Costa, S., Souza Machado, B. A., Martin, A. R., Bagnara, F., Ragadalli, S. A., & Costa Alves, A. R. (2015). Drying by spray drying in the food industry: Micro-encapsulation, process parameters and main carriers used. *African Journal of Food Science*, 9(9), 462–470. <https://doi.org/10.5897/AJFS2015.1279>

Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>

Singh Nee Nigam, P., & Pandey, A. (2009). Biotechnology for agro-industrial residues utilisation: Utilisation of agro-residues. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-Residues* (pp. 1–466). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7>

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>

Tonon, R. V, Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart .) powder produced by spray drying, 88, 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>

Tunchaiyaphum, S., Eshtiaghi, M. N., & Yoswathana, N. (2013). Extraction of Bioactive Compounds from Mango Peels Using Green Technology. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(4), 194–198. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2013.V4.293>

Varastegani, B., Zzaman, W., Harivaindaran, K. V., Yang, T. A., Abdullah, W. N. W., Lee, L. K., & Easa, A. M. (2017). Effect of carrier agents on chemical properties and sensory evaluation of spray-dried *Nigella sativa*. *CyTA - Journal of Food*, 15(3), 448–456. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1297960>

Villacrez Yopez, J. L. (2013). *Desarrollo de microencapsulados por spray drying a partir de frutos de mora de castilla (Rubus glaucus Benth)*. Universidad Nacional de Colombia.

Villamagua León, M. A. (2017). *Microencapsulación de antioxidantes de cacao*. Universidad Técnica Particular de Loja.

Villamizar R, L. F., & Martínez R, F. (2007). Determinación de las condiciones de microencapsulación de un Baculovirus entomopatógeno mediante coacervación con Eudragit S100. *Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n1/v15n1a15.pdf>

Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 677–684. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0195-x>

Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010a). *Materials for Encapsulation. Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. <https://doi.org/10.1007/>

Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010b). *Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1008-0_2

ANEXOS

Anexo 1. Rendimientos

Nro. Corrida	% sólidos (p/p)	Flujo de entrada (%)	Temperatura (°C)	Peso ciclón vacío (g)	P. ciclón con muestra(g)	Peso del polvo (g)	Rendimiento (%)	Promedio	Desviación estándar	% Coeficiente de variación
1	15	30	140	1190,03	1199,77	8,32	50,62	48,54	1,92	3,96
				1190,03	1199,3	7,96	48,18			
				1190,03	1199,04	7,68	46,83			
2	12,5	40	155	1190,03	1198,64	5,84	50,95	54,48	3,07	5,63
				1190,03	1199,49	7,64	55,98			
				1190,03	1199,58	7,85	56,51			
3	10	170	30	1190,03	1197,47	1,05	52,03	55,17	3,38	6,12
				1190,03	1197,86	7,28	54,76			
				1190,03	1198,43	2,56	58,74			
4	12,5	155	30	1190,03	1200,58	9,15	62,43	62,07	1,05	1,69
				1190,03	1200,66	8,90	62,90			
				1190,03	1200,32	8,75	60,89			
5	10	140	40	1190,03	1197,64	0,16	53,22	48,83	4,41	9,02
				1190,03	1197,02	0,05	48,88			
				1190,03	1196,38	0,02	44,41			
6	12,5	140	30	1190,03	1199,94	8,50	58,64	59,05	0,39	0,66
				1190,03	1200,07	8,79	59,41			
				1190,03	1200,02	8,47	59,11			
7	15	170	30	1190,03	1200,42	9,44	54,00	54,71	0,62	1,13
				1190,03	1200,61	9,58	54,99			
				1190,03	1200,64	9,40	55,15			
8	15	170	40	1190,03	1199,76	8,23	50,57	50,03	0,68	1,36
				1190,03	1199,51	8,19	49,27			
				1190,03	1199,7	8,32	50,26			
9				1190,03	1200,67	9,82	55,30	57,55	2,16	3,76

	15	170	20	1190,03	1201,14	10,03	57,74			
				1190,03	1201,5	10,35	59,62			
10	15	155	40	1190,03	1198,56	7,18	44,33	47,05	2,41	5,11
				1190,03	1199,25	8,00	47,92			
				1190,03	1199,44	8,17	48,91			
11	12,5	140	20	1190,03	1200,97	9,13	64,73	65,50	3,29	5,03
				1190,03	1200,62	9,03	62,66			
				1190,03	1201,71	10,45	69,11			
12	10	155	40	1190,03	1196,65	0,24	46,29	48,07	3,56	7,41
				1190,03	1197,49	vial	52,17			
				1190,03	1196,57	vial	45,73			
13	10	170	40	1190,03	1197,78	vial	54,20	53,52	4,76	8,89
				1190,03	1196,96	1,13	48,46			
				1190,03	1198,31	vial	57,90			
14	12,5	170	40	1190,03	1199,07	7,47	53,49	54,16	1,01	1,87
				1190,03	1199,10	7,62	53,67			
				1190,03	1199,38	7,91	55,33			
15	10	155	20	1190,03	1199,90	4,77	69,02	67,30	4,06	6,03
				1190,03	1198,99	4,17	62,66			
				1190,03	1200,07	3,72	70,21			
16	15	140	20	1190,03	1199,88	8,66	51,20	55,73	5,87	10,54
				1190,03	1200,35	9,28	53,64			
				1190,03	1202,03	9,78	62,37			
17	15	155	30	1190,03	1200,23	9,11	53,01	53,31	0,27	0,50
				1190,03	1200,33	9,22	53,53			
				1190,03	1200,3	9,13	53,38			
18	10	155	30	1190,03	1198,64	3,23	60,21	61,63	1,24	2,02
				1190,03	1198,92	1,88	62,17			
				1190,03	1198,97	3,93	62,52			
19	12,5	170	30	1190,03	1200,27	8,45	60,59	62,92	2,02	3,21
				1190,03	1200,84	9,31	63,96			

				1190,03	1200,88	9,45	64,20			
20	12,5	155	20	1190,03	1201,47	10,50	67,69	68,50	1,02	1,49
				1190,03	1201,55	10,24	68,17			
				1190,03	1201,80	10,55	69,64			
				1190,03	1199,99	1,13	69,65			
21	10	170	20	1190,03	1199,37	1,38	65,31	66,92	2,37	3,55
				1190,03	1199,44	1,73	65,80			
				1190,03	1202,11	11,08	71,48			
22	12,5	170	20	1190,03	1201,86	10,64	70,00	71,40	1,36	1,91
				1190,03	1202,32	11,53	72,72			
				1190,03	1199,11	7,54	47,19			
23	15	140	40	1190,03	1198,85	7,16	45,84	44,89	2,90	6,46
				1190,03	1198,04	6,64	41,63			
				1190,03	1199,61	4,35	66,99			
24	10	140	20	1190,03	1198,84	4,6	61,61	62,87	3,66	5,83
				1190,03	1198,61	3,6	60,00			
				1190,03	1199,40	0,55	65,52			
25	10	140	30	1190,03	1199,57	1,41	66,71	65,27	1,59	2,43
				1190,03	1199,12	3,5	63,57			
				1190,03	1197,83	5,31	46,15			
26	12,5	140	40	1190,03	1199,22	7,09	54,38	50,75	4,20	8,27
				1190,03	1198,77	6,66	51,72			
				1190,03	1201,09	10,28	57,48			
27	15	155	20	1190,03	1200,91	10,07	56,55	56,96	0,48	0,84
				1190,03	1200,97	10,1	56,86			

Fuente: La autora

Elaboración: La autor

Anexo 2. Preparación de la solución madre de ácido gálico (500 ppm) y estándares

Se pesarán 25 mg de ácido gálico, y se diluirán en 50 ml de MeOH. A partir de esta solución se preparan siete estándares con diferentes concentraciones cada uno. Las cantidades utilizadas se detallan en la tabla a continuación.

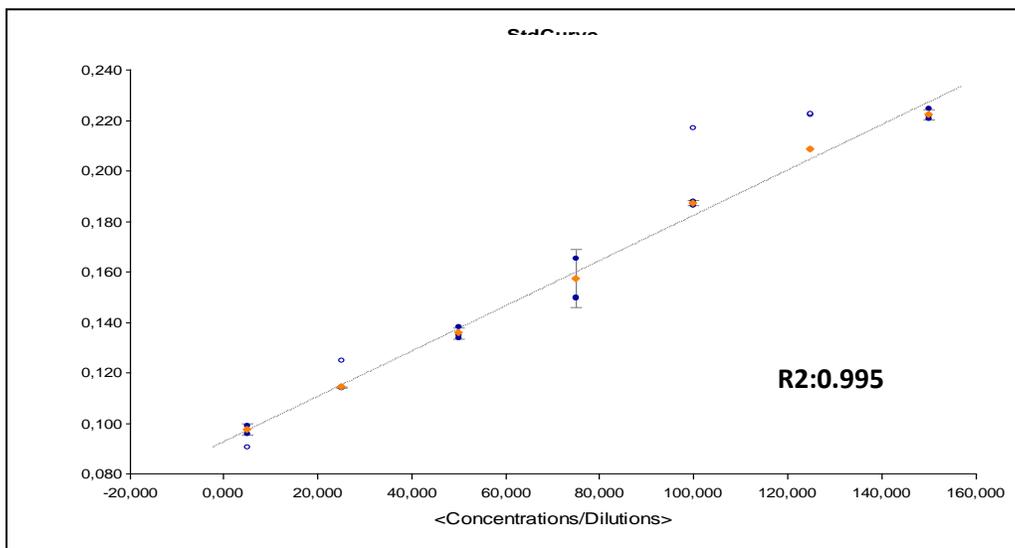
- **Estándares de ácido gálico**

Estándares	Concentración final (µg/ml)	Alícuota Sol. Madre ác. gálico a 500 ppm (µl)	Alícuota de MeOH (µl)
1	5	15	1485
2	25	25	475
3	50	20	180
4	75	30	170
5	100	40	160
6	125	50	150
7	150	60	140

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

- **Curva de calibración**



- **Cálculos para convertir los valores de concentración $co(\mu\text{g/ml})$ a mg EAG/g de encapsulado**

85.5 $\mu\text{g/ml}$	1000 μg	
X	1mg	X= 0.0855mg

0.0855 mg/ml	100 μl	
X	400 μl	X= 0.342 mg

0.342 mg/ml	33.10 mg	
X	3310 μl	X= 34.2 mg EAG/g

encapsulado

Este procedimiento se aplica para todas las muestras analizadas.

Anexo 3. Fenoles totales

Nro . corrida	% sólidos (p/p)	Temperatura (°C)	Flujo de entrada (%)	w encaps (mg)	v aforo H2O (µl)	Alicuota (µl)	v aforo (µl)	co (µg/ml)	Ce (mg/g encap)	Promedio
1	15	140	30	20,2	2020	100	400	42,9	17,15	19,8
				20,2	2020	100	400	47,6	19,02	
				20,2	2020	100	400	44,5	17,79	
2	12,5	155	40	20,2	2020	100	400	41,1	16,46	21,7
				20,2	2020	100	400	41,3	16,5	
				20,2	2020	100	400	55,8	22,32	
3	10	170	30	27,6	2760	100	400	93,6	37,46	28,5
				27,6	2760	100	400	84,2	33,68	
				27,6	2760	100	400	113,5	45,42	
4	12,5	155	30	20,2	2020	100	400	73,1	29,23	26
				20,2	2020	100	400	68,9	27,56	
				20,2	2020	100	400	86	34,41	
5	10	140	40	10,1	505	50	100	113,9	11,39	12,9
				10,1	505	50	100	113,3	11,33	
				10,1	505	50	100	111,5	11,15	
6	12,5	140	30	20,2	2020	100	400	44,2	17,67	20,4
				20,2	2020	100	400	50,2	20,08	
				20,2	2020	100	400	50,1	20,04	
7	15	170	30	20,2	2020	100	400	54,4	21,77	23,2
				20,2	2020	100	400	62	24,8	
				20,2	2020	100	400	65,1	26,04	
8	15	170	40	20,2	2020	100	400	63,5	25,4	23,9
				20,2	2020	100	400	66,5	26,6	
				20,2	2020	100	400	58,1	23,25	
9	15	170	20	20,2	2020	100	400	60,4	24,16	22,5
				20,2	2020	100	400	56,2	22,49	
				20,2	2020	100	400	57,5	23,01	

10	15	155	40	20,2	2020	100	400	52,6	21,05	19,8
				20,2	2020	100	400	52,1	20,86	
				20,2	2020	100	400	45,3	18,1	
11	12,5	140	20	20,2	2020	100	400	61,4	24,54	21,6
				20,2	2020	100	400	53	21,21	
				20,2	2020	100	400	58,3	23,3	
12	10	155	40	15,1	755	100	900	50,6	22,76	51,2
				15,1	755	100	900	51,7	23,26	
				15,1	755	100	900	50,7	22,83	
13	10	170	40	169,15	1000	50	3400	95,6	38,44	31,7
				169,15	1000	50	3400	90,3	36,31	
				169,15	1000	50	3400	90,3	36,31	
14	12,5	170	40	20,2	2020	100	400	57,8	23,11	22,9
				20,2	2020	100	400	56	22,4	
				20,2	2020	100	400	55,2	22,09	
15	10	155	20	29	2900	100	400	96,1	38,43	36,7
				29	2900	100	400	95,5	38,22	
				29	2900	100	400	94,5	37,79	
16	15	140	20	20,2	2020	100	400	40,3	16,11	18,5
				20,2	2020	100	400	44	17,59	
				20,2	2020	100	400	46,8	18,7	
17	15	155	30	20,2	2020	100	400	47,4	18,97	18,1
				20,2	2020	100	400	43,8	17,54	
				20,2	2020	100	400	47,6	19,05	
18	10	155	30	31,4	3140	100	400	88,2	35,28	33,4
				31,4	3140	100	400	88,2	35,28	
				31,4	3140	100	400	75,5	30,19	
19	12,5	170	30	20,2	2020	100	400	61,6	24,63	22,7
				20,2	2020	100	400	60,7	24,28	
				20,2	2020	100	400	64	25,61	

20	12,5	155	20	20,2	2020	100	400	40,8	16,3	19,6
				20,2	2020	100	400	40,9	16,34	
				20,2	2020	100	400	42,5	16,99	
21	10	170	20	34,4	3440	100	400	89,3	35,7	34,9
				34,4	3440	100	400	85	34,01	
				34,4	3440	100	400	89,3	35,7	
22	12,5	170	20	20,2	2020	100	400	49,2	19,67	21,00
				20,2	2020	100	400	48,7	19,5	
				20,2	2020	100	400	64,9	25,95	
23	15	140	40	20,2	2020	100	400	38,3	15,31	18,7
				20,2	2020	100	400	43,8	17,54	
				20,2	2020	100	400	46,1	18,43	
24	10	140	20	33,1	3310	100	400	85,5	34,18	38,5
				33,1	3310	100	400	81,5	32,59	
				33,1	3310	100	400	90,8	36,31	
25	10	140	30	17,5	1750	100	400	110,8	44,32	43,7
				17,5	1750	100	400	120,3	48,11	
				17,5	1750	100	400	113,4	45,36	
26	12,5	140	40	20,2	2020	100	400	46,7	18,67	24,8
				20,2	2020	100	400	51,9	20,78	
				20,2	2020	100	400	48,5	19,4	
27	15	155	20	20,2	2020	100	400	67	26,8	24,1
				20,2	2020	100	400	68,1	27,23	
				20,2	2020	100	400	69,8	27,91	

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Anexo 4. Preparación de la solución madre de trolox a 1000 µM, y sus estándares

Fórmula:
$$\frac{(\text{Peso molecular})(\text{Conc. final})(\text{Volumen final})(\text{Riqueza})}{(\text{Molaridad})(\text{Volumen de molaridad})}$$

$$= \frac{\left(250.29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)(1000\mu\text{M})(10\text{ml})(0.97)}{(1000000\mu\text{M})(1000\text{ml})}$$

$$= 0.00242 \text{ g (cantidad de trolox a ser pesada)}$$

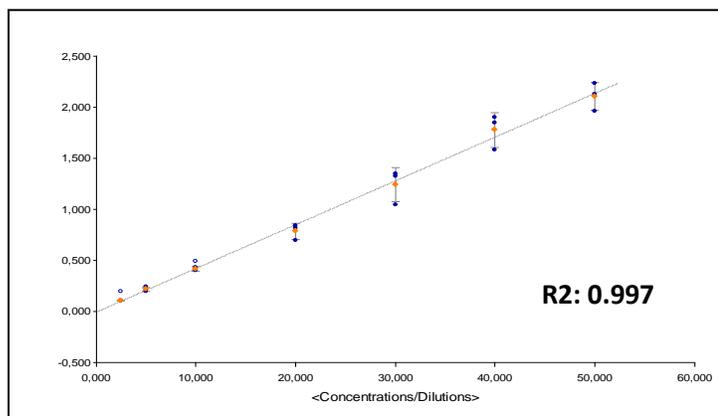
- **Estándares para la curva de calibración de DPPH y FRAP**

Estándar	Concentración de trólox (µM)	Alícuota Sol. Madre Trólox (µL)	Metanol (µL)
E 2.5	2.5	25	975
E 5	5	50	950
E 10	10	100	900
E 20	20	200	800
E 30	30	300	700
E 40	40	400	600
E 50	50	500	500

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

- **Curva de calibración para FRAP**



- **Cálculos para convertir los valores de concentración co(µM) de FRAP, en µMET/g de encapsulado**

18.86 µM

1000000 µl

X

1000 µl

X= 0.01886 µM

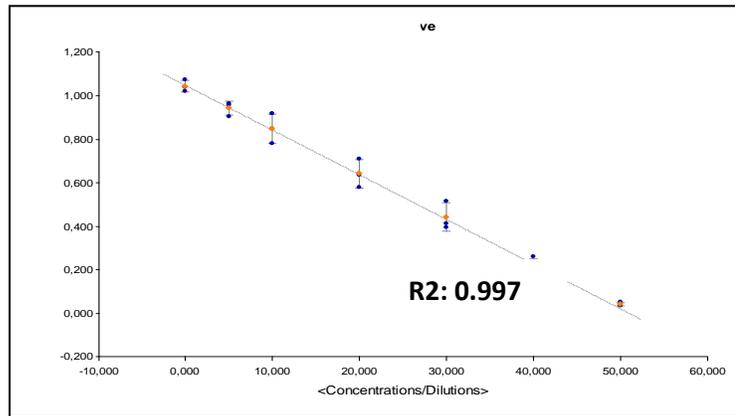
0.01886 µM

100 µl

X	3310 μl	X= 0.624266 μM
0.624266 μM	33.10 mg	
X encapsulado	1000 mg	X= 18.86 $\mu\text{MET/g}$

Este procedimiento se aplica para todas las muestras analizadas.

- **Curva de calibración para DPPH**



- **Cálculos para convertir los valores de concentración $\text{co}(\mu\text{M})$ de DPPH, en $\mu\text{MET/g}$ de encapsulado**

28.65 μM	1000000 μl	
X	200 μl	X= 0.00573 μM
0.00573 μM	20 μl	
X	3310 μl	X= 0.948315 μM
0.948315 μM	33.10 mg	
X encapsulado	1000 mg	X= 28.65 $\mu\text{MET/g}$

Este procedimiento se aplica para todas las muestras analizadas.

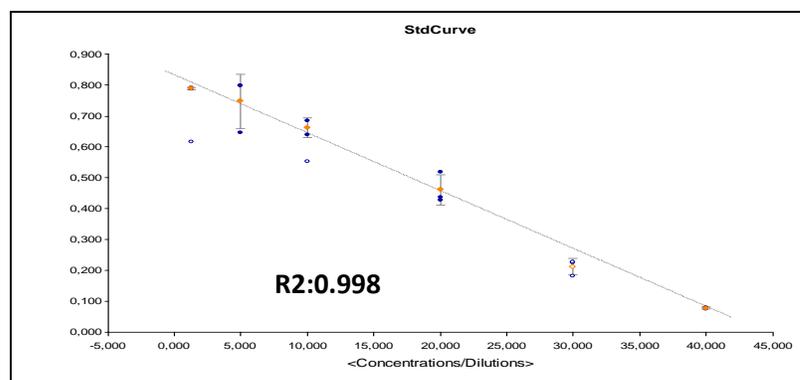
- Estándares para la curva de calibración de ABTS

Estándar	Concentración de trólox (µM)	Alícuota Sol. Madre Trólox (µL)	Metanol (µL)
E 1.25	1.5	12.5	987.5
E 5	5	50	950
E 10	10	100	900
E 20	20	200	800
E 30	30	300	700
E 40	40	400	600

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

- Curva de calibración de ABTS



- Cálculos para convertir los valores de concentración co(µM) de DPPH, en µMET/g de encapsulado

$$40.02 \mu\text{M} \times \frac{1000000 \mu\text{l}}{1000 \mu\text{l}} = X \quad X = 0.04002 \mu\text{M}$$

$$0.04002 \mu\text{M} \times \frac{100 \mu\text{l}}{3310 \mu\text{l}} = X \quad X = 1.3246 \mu\text{M}$$

$$1.3246 \mu\text{M} \times \frac{33.10 \text{ mg}}{1000 \text{ mg}} = X \quad X = 40.02 \mu\text{MET/g encapsulado}$$

Este procedimiento se aplica para todas las muestras analizadas.

Anexo 5. Resultados DPPH

Nro. corrida	% sólidos (p/p)	Flujo de entrada (%)	Temperatura (°C)	w encaps (mg)	v aforo H2O (μl)	Alicuota (μl)	v aforo (μl)	co (μM)	Ce (μmol/g encapsulado)	Promedios
1	15	30	140	20,2	2020	20	200	12,94	12,94	13,19
				20,2	2020	20	200	13,69	13,69	
				20,2	2020	20	200	11,63	11,63	
2	12,5	40	155	20,2	2020	20	200	18,98	18,98	19,36
				20,2	2020	20	200	20,29	20,29	
				20,2	2020	20	200	20,09	20,09	
3	10	30	170	27,6	2760	20	200	28,45	28,45	29,48
				27,6	2760	20	200	30,51	30,51	
				27,6	2760	20	200	28,25	28,25	
4	12,5	30	155	20,2	2020	20	200	21,6	21,6	20,04
				20,2	2020	20	200	22,86	22,86	
				20,2	2020	20	200	19,79	19,79	
5	10	40	140	10,1	505	20	200	43,66	21,83	21,95
				10,1	505	20	200	44,21	22,11	
				10,1	505	20	200	44,47	22,23	
6	12,5	30	140	20,2	2020	20	200	22,76	22,76	19,71
				20,2	2020	20	200	21,1	21,1	
				20,2	2020	20	200	19,23	19,23	
7	15	30	170	20,2	2020	20	200	8,45	8,45	11,1
				20,2	2020	20	200	8,91	8,91	
				20,2	2020	20	200	8,2	8,2	
8	15	40	170	20,2	2020	20	200	11,83	11,83	11,43
				20,2	2020	20	200	13,39	13,39	
				20,2	2020	20	200	9,92	9,92	

9	15	20	170	20,2	2020	20	200	13,59	13,59	10,68
				20,2	2020	20	200	12,18	12,18	
				20,2	2020	20	200	13,09	13,09	
10	15	40	155	20,2	2020	20	200	5,79	5,79	8,97
				20,2	2020	20	200	11,07	11,07	
				20,2	2020	20	200	8,4	8,4	
11	12,5	20	140	20,2	2020	20	200	18,98	18,98	19,72
				20,2	2020	20	200	18,78	18,78	
				20,2	2020	20	200	18,98	18,98	
12	10	40	155	15,1	755	20	200	44,01	22,01	22,08
				15,1	755	20	200	44,42	22,21	
				15,1	755	20	200	44,06	22,03	
13	10	40	170	169,15	1000	20	200	36,61	2,16	18,95
				169,15	1000	20	200	37,77	2,23	
				169,15	1000	20	200	37,62	2,22	
14	12,5	40	170	20,2	2020	20	200	17,77	17,77	19,72
				20,2	2020	20	200	18,07	18,07	
				20,2	2020	20	200	20,34	20,34	
15	10	20	155	29,0	2900	20	200	44,06	44,06	44
				29,0	2900	20	200	43,86	43,86	
				29,0	2900	20	200	43,96	43,96	
16	15	20	140	20,2	2020	20	200	9,16	9,16	8,39
				20,2	2020	20	200	9,41	9,41	
				20,2	2020	20	200	10,97	10,97	
17	15	30	155	20,2	2020	20	200	14,25	14,25	10,05
				20,2	2020	20	200	7,9	7,9	
				20,2	2020	20	200	10,37	10,37	

18	10	30	155	31,4	3140	20	200	31,42	31,42	31,46
				31,4	3140	20	200	28,9	28,9	
				31,4	3140	20	200	32,03	32,03	
19	12,5	30	170	20,2	2020	20	200	20,95	20,95	19,87
				20,2	2020	20	200	18,48	18,48	
				20,2	2020	20	200	22,76	22,76	
20	12,5	20	155	20,2	2020	20	200	19,79	19,79	17,84
				20,2	2020	20	200	20,69	20,69	
				20,2	2020	20	200	19,28	19,28	
21	10	20	170	34,4	3440	20	200	29,66	29,66	30,65
				34,4	3440	20	200	31,82	31,82	
				34,4	3440	20	200	29,71	29,71	
22	12,5	20	170	20,2	2020	20	200	21,8	21,8	21,99
				20,2	2020	20	200	24,67	24,67	
				20,2	2020	20	200	22,41	22,41	
23	15	40	140	20,2	2020	20	200	9,46	9,46	10,9
				20,2	2020	20	200	11,73	11,73	
				20,2	2020	20	200	12,23	12,23	
24	10	20	140	33,1	3310	20	200	28,65	28,65	27,67
				33,1	3310	20	200	28,15	28,15	
				33,1	3310	20	200	28,7	28,7	
25	10	30	140	17,5	1750	20	200	30,16	30,16	31,06
				17,5	1750	20	200	31,17	31,17	
				17,5	1750	20	200	30,87	30,87	
26	12,5	40	140	20,2	2020	20	200	22,1	22,1	19,27
				20,2	2020	20	200	21,25	21,25	
				20,2	2020	20	200	21,5	21,5	

27	15	20	155	20,2	2020	20	200	10,62	10,62	9,07
				20,2	2020	20	200	10,82	10,82	
				20,2	2020	20	200	12,13	12,13	

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Anexo 6. Preparación de los reactivos para FRAP y resultados obtenidos

- Buffer de acetato (pH 3.6): Pesar 310 mg de acetato de sodio en un balón de aforo de 100 ml, adicionar 1.6 ml de ácido acético 100% y aforar con agua destilada. Después de su uso almacenar a temperatura ambiente.
- Ácido clorhídrico (40 mM): Colocar 22.67 µl de ácido clorhídrico (37%) en un balón de aforo de 50 ml y aforar con agua destilada.
- Solución de TPTZ (10mM): Pesar 31.2 mg de TPTZ, adicionar 10 ml de ácido clorhídrico 40 mM, y agitar.
- Solución de cloruro férrico (20 mM) Pesar 54 mg de cloruro de hierro (III), adicionar 10 ml de agua destilada y agitar. Después de su uso, almacenar en refrigeración y en la oscuridad.

Resultados FRAP

Nro corrida	% sólidos (p/p)	Flujo de entrada (%)	Temperatura (°C)	w encaps (mg)	v aforo H2O (µl)	Alicuota (µl)	v aforo (µl)	co (µM)	Ce (µmol/g encapsulado)	Promedios
1	15	30	140	20,2	2020	100	1000	9,654	9,65	9,66
				20,2	2020	100	1000	10,367	10,37	
				20,2	2020	100	1000	10,678	10,68	
2	12,5	40	155	20,2	2020	100	1000	17,02	17,02	16,98
				20,2	2020	100	1000	18,3196	18,32	
				20,2	2020	100	1000	17,5398	17,54	
3	10	30	170	27,6	2760	100	1000	16,386	16,39	15,78
				27,6	2760	100	1000	17,231	17,23	

				27,6	2760	100	1000	15,799	15,8	
4	12,5	30	155	20,2	2020	100	1000			16,99
				20,2	2020	100	1000	16,6301	16,63	
				20,2	2020	100	1000	15,9153	15,92	
5	10	40	140	10,1	505	50	250	49,596	12,4	10,59
				10,1	505	50	250	46,535	11,63	
				10,1	505	50	250	47,935	11,98	
6	12,5	30	140	20,2	2020	100	1000	11,129	11,13	9,31
				20,2	2020	100	1000	10,86	10,86	
				20,2	2020	100	1000	10,079	10,08	
7	15	30	170	20,2	2020	100	1000	8,393	8,39	9,34
				20,2	2020	100	1000	8,933	8,93	
				20,2	2020	100	1000	9,538	9,54	
8	15	40	170	20,2	2020	100	1000	10,168	10,17	9,6
				20,2	2020	100	1000	9,864	9,86	
				20,2	2020	100	1000	8,952	8,95	
9	15	20	170	20,2	2020	100	1000	8,597	8,6	9,07
				20,2	2020	100	1000	9,526	9,53	
				20,2	2020	100	1000	8,411	8,41	
10	15	40	155	20,2	2020	100	1000	8,619	8,62	9,83
				20,2	2020	100	1000	9,607	9,61	
				20,2	2020	100	1000	10,259	10,26	
11	12,5	20	140	20,2	2020	100	1000	17,7998	17,8	17,34
				20,2	2020	100	1000	17,3449	17,34	
				20,2	2020	100	1000	16,8576	16,86	
12	10	40	155	15,1	755	100	1000	30,979	15,49	16,44
				15,1	755	100	1000	34,169	17,08	

				15,1	755	100	1000	33,474	16,74	
13	10	40	170	169,15	1000	50	3400	48,229	19,39	9,46
				169,15	1000	50	3400	36,535	14,69	
				169,15	1000	50	3400	43,878	17,64	
14	12,5	40	170	20,2	2020	100	1000	13,0237	13,02	15,79
				20,2	2020	100	1000	15,4605	15,46	
				20,2	2020	100	1000	16,6626	16,66	
15	10	20	155	29	2900	100	1000	14,887	14,89	16,58
				29	2900	100	1000	17,046	17,05	
				29	2900	100	1000	13,007	13,01	
16	15	20	140	20,2	2020	100	1000	8,751	8,75	8,96
				20,2	2020	100	1000	9,337	9,34	
				20,2	2020	100	1000	9,94	9,94	
17	15	30	155	20,2	2020	100	1000	9,754	9,75	9,82
				20,2	2020	100	1000	9,931	9,93	
				20,2	2020	100	1000	9,835	9,84	
18	10	30	155	31,4	3140	100	1000	19,053	19,05	19,59
				31,4	3140	100	1000	20,871	20,87	
				31,4	3140	100	1000	20,587	20,59	
19	12,5	30	170	20,2	2020	100	1000	17,4749	17,47	16,71
				20,2	2020	100	1000	17,9622	17,96	
				20,2	2020	100	1000	15,8504	15,85	
20	12,5	20	155	20,2	2020	100	1000	16,7276	16,73	16,79
				20,2	2020	100	1000	15,8504	15,85	
				20,2	2020	100	1000	15,9153	15,92	
21	10	20	170	34,4	3440	100	1000	17,368	17,37	16,98
				34,4	3440	100	1000	18,468	18,47	

				34,4	3440	100	1000	17,723	17,72	
22	12,5	20	170	20,2	2020	100	1000	16,7601	16,76	16,41
				20,2	2020	100	1000	17,02	17,02	
				20,2	2020	100	1000	15,363	15,36	
23	15	40	140	20,2	2020	100	1000	9,22	9,22	8,97
				20,2	2020	100	1000			
				20,2	2020	100	1000	8,148	8,15	
24	10	20	140	33,1	3310	100	1000	18,858	18,86	19,03
				33,1	3310	100	1000	20,333	20,33	
				33,1	3310	100	1000	19,638	19,64	
25	10	30	140	17,5	1750	100	1000	17,691	17,69	17,33
				17,5	1750	100	1000	15,864	15,86	
				17,5	1750	100	1000	19,304	19,3	
26	12,5	40	140	20,2	2020	100	1000	18,2871	18,29	17,83
				20,2	2020	100	1000	17,6698	17,67	
				20,2	2020	100	1000	17,6698	17,67	
27	15	20	155	20,2	2020	100	1000	10,453	10,45	9,71
				20,2	2020	100	1000	10,752	10,75	
				20,2	2020	100	1000	11,051	11,05	

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Anexo 7. Preparación de los reactivos para ABTS y resultados obtenidos

- Solución ABTS (7.4 mM): Pesar 40.6 mg del reactivo ABTS y diluir en 10 ml de agua destilada. Después de su uso, almacenar en refrigeración y en la oscuridad.
- Solución de Peroxodisulfato de potasio (2.6 mM): Pesar 7.03 mg de Peroxodisulfato de potasio y diluir en 10 ml de agua destilada. Después de su uso, almacenar en refrigeración y en la oscuridad.

Resultados ABTS

Nro. corrida	% sólidos (p/p)	Flujo de entrada (%)	Temperatura (°C)	w encaps (mg)	v aforo H ₂ O (μl)	Alicuota (μl)	v aforo (μl)	co (μM)	Ce (μmol/g encapsulado)	Promedio
1	15	30	140	20,2	2020	100	1000	13,119	13,12	14,05
				20,2	2020	100	1000	13,349	13,35	
				20,2	2020	100	1000	14,016	14,02	
2	12,5	40	155	20,2	2020	100	1000	17,066	17,07	16,05
				20,2	2020	100	1000	15,233	15,23	
				20,2	2020	100	1000			
3	10	30	170	27,6	2760	100	1000	39,574	39,57	30,54
				27,6	2760	100	1000	40,174	40,17	
				27,6	2760	100	1000	40,22	40,22	
4	12,5	30	155	20,2	2020	100	1000	22,397		31,31
				20,2	2020	100	1000	24,303	24,3	
				20,2	2020	100	1000	25,315	25,32	
5	10	40	140	10,1	505	100	1000	39,682	19,84	19,75
				10,1	505	100	1000	39,697	19,85	
				10,1	505	100	1000	39,026	19,51	
6	12,5	30	140	20,2	2020	100	1000			16,01
				20,2	2020	100	1000	19,313	19,31	

				20,2	2020	100	1000	16,222	16,22	
7	15	30	170	20,2	2020	100	1000			13,5
				20,2	2020	100	1000	14,771	14,77	
				20,2	2020	100	1000	14,291	14,29	
8	15	40	170	20,2	2020	100	1000	12,51	12,51	13,14
				20,2	2020	100	1000	11,868	11,87	
				20,2	2020	100	1000	13,766	13,77	
9	15	20	170	20,2	2020	100	1000			9,16
				20,2	2020	100	1000	8,48	8,48	
				20,2	2020	100	1000	11,029	11,03	
10	15	40	155	20,2	2020	100	1000	11,582	11,58	12,14
				20,2	2020	100	1000	10,143	10,14	
				20,2	2020	100	1000	11,263	11,26	
11	12,5	20	140	20,2	2020	100	1000	16,189	16,19	15,68
				20,2	2020	100	1000	17,016	17,02	
				120,2	2020	100	1000	13,222	13,22	
12	10	40	155	15,1	755	50	500	38,978	19,49	19,58
				15,1	755	50	500	39,143	19,57	
				15,1	755	50	500	39,382	19,69	
13	10	40	170	169,15	1000	50	3400	9,894	3,98	7,68
				169,15	1000	50	3400	5,432	2,18	
				169,15	1000	50	3400			
14	12,5	40	170	20,2	2020	100	1000	12,17	12,17	11,85
				20,2	2020	100	1000	14,253	14,25	
				20,2	2020	100	1000	12,117	12,12	
15	10	20	155	29	2900	100	1000	36,936	36,94	38,93
				29	2900	100	1000	38,776	38,78	

				29	2900	100	1000	35,554	35,55	
16	15	20	140	20,2	2020	100	1000	12,507	12,51	12,51
				20,2	2020	100	1000	12,673	12,67	
				20,2	2020	100	1000			
17	15	30	155	20,2	2020	100	1000	17,061	17,06	14,07
				20,2	2020	100	1000	17,132	17,13	
				20,2	2020	100	1000	13,375	13,38	
18	10	30	155	31,4	3140	100	1000	39,041	39,04	38,97
				31,4	3140	100	1000	39,972	39,97	
				31,4	3140	100	1000	39,614	39,61	
19	12,5	30	170	20,2	2020	100	1000	14,734	14,73	18,77
				20,2	2020	100	1000	15,928	15,93	
				20,2	2020	100	1000	21,898	21,9	
20	12,5	20	155	20,2	2020	100	1000	18,447	18,45	21,24
				20,2	2020	100	1000	19,879	19,88	
				20,2	2020	100	1000	18,853	18,85	
21	10	20	170	34,4	3440	100	1000	37,824	37,82	38,25
				34,4	3440	100	1000	37,509	37,51	
				34,4	3440	100	1000	37,459	37,46	
22	12,5	20	170	20,2	2020	100	1000			13,68
				20,2	2020	100	1000	14,213	14,21	
				20,2	2020	100	1000	14,718	14,72	
23	15	40	140	20,2	2020	100	1000	14,367	14,37	14,64
				20,2	2020	100	1000	13,707	13,71	
				20,2	2020	100	1000			
24	10	20	140	33,1	3310	100	1000			38,39
				33,1	3310	100	1000	40,025	40,03	

				33,1	3310	100	1000	40,138	40,14	
25	10	30	140	17,5	1750	100	1000	38,534	38,53	39,82
				17,5	1750	100	1000	39,292	39,29	
				17,5	1750	100	1000	39,82	39,82	
26	12,5	40	140	20,2	2020	100	1000	18,863	18,86	15,86
				20,2	2020	100	1000	16,644	16,64	
				20,2	2020	100	1000	17,481	17,48	
27	15	20	155	20,2	2020	100	1000	10,293	10,29	11,73
				20,2	2020	100	1000	11,473	11,47	
				20,2	2020	100	1000	13,306	13,31	

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

