
Microencapsulación del extracto acuoso de cedrón (*Aloysia citrodora*) mediante secado por aspersión

Microencapsulation of the aqueous extract of cedron (aloyisia citrodora) by spray drying

Jaime Orlando Rojas Molina, Ana Maricela Trávez Castellano, Zoila Eliana Zambrano Ochoa, Daniela Lizbeth Iglesias Chérrez, Paula Estefanía Pichucho Molina
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

Resumen

El trabajo de investigación tuvo como objetivo microencapsular un extracto de cedrón (*Aloysia citrodora*), utilizando como material encapsulante la maltodextrina y goma arábica, mediante la metodología de secado por aspersión. El diseño experimental se elaboró con el programa Design Expert 8.0.6 de Stat-Ease Corporation, EE.UU., donde se aplicó un modelo de superficie de respuesta IV óptimo, estableciendo 9 corridas experimentales, donde se controló las temperaturas de aire de entrada (130°C, 140°C y 150°C) y velocidades de flujo de alimentación del (500 ml/h, 600 ml/h y 700ml/h). Para obtener las condiciones óptimas del proceso se evaluó el rendimiento, humedad y eficacia de la encapsulación, obteniendo un modelo estadístico que se ajusta al comportamiento del proceso. A las condiciones óptimas de temperatura de aire de entrada de 150 °C y velocidad de flujo de alimentación de 500 mL/h se obtuvo un rendimiento del 94,70%, humedad 3,85% y eficacia de la microencapsulación del 93,9%. Además, se caracterizó al microencapsulado optimizado teniendo valores de higroscopicidad 13 g/100g, densidad aparente 0,3213 g/ml, densidad compacta 0,5712 g/ml, pH 5,24, capacidad antioxidante reductor del hierro (FRAP) 320,10 µM Fe²⁺/g muestra y polifenoles totales de 0,12 mg/g. El microencapsulado de extracto de cedrón presenta una alta capacidad antioxidante, por lo que puede ser empleado como aditivo natural en las formulaciones de alimentos.

Palabras clave: *Aloysia Citroedora*, eficacia de microencapsulación, microencapsulación, secado por aspersión.

Recibido: 16 de junio de 2022 - revisión aceptada 8 de agosto de 2022

Correspondiente al autor: jaime.rojas@utc.edu.ec

Abstract

The objective of the research work was to microencapsulate an extract of lemon verbena (*Aloysia citrodora*), using maltodextrin and gum arabic as encapsulating material, through the spray-drying methodology. The experimental design was developed with the Design Expert 8.0.6 program from Stat-Ease Corporation, EE.UU, where an optimal IV response surface model was applied, establishing 9 experimental cumshots, where the temperatures were controlled intake air (130°C, 140°C y 150°C) and feed flow rates of the (500 ml/h, 600 ml/h y 700ml/h). In order to obtain the optimal conditions of the process, the yield, humidity and efficacy of the encapsulation were evaluated, obtaining a statistical model that adjusts to the behavior of the process. At optimal conditions of inlet air temperature of 150 °C and feed flow rate of 500 mL/h, a yield of 94.70%, humidity 3.85% and microencapsulation efficiency of 93.9% were obtained. Besides was characterized to the microencapsulation optimized having hygroscopicity values 13 g/100g, apparent density 0,3213 g/ml, compact density 0,5712 g/ml, pH 5,24, iron – reducing antioxidant capacity (FRAP) 320,10 µM Fe²⁺/g sample and total polyphenols of 0,12 mg/g. The microencapsulated lemon verbena extract has a high antioxidant capacity, so it can be used as a natural additive in food formulations.

Key words: *Aloysia Citrodora*, efficacy of microencapsulation, microencapsulation, spray drying drag

Introducción

La planta de cedrón (*Aloysia citrodora*) es parte de la familia de las Verbenáceas, posee un aroma intenso y sabor cítrico. Los compuestos volátiles del aceite esencial se encuentran en las hojas y flores, donde se presentan componentes como el citral, limoneno, linalol, cineol, terpineol, cariofileno, los cuales poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas, fungicidas y diurética. Además, el extracto acuoso de cedrón presenta alto contenido de polifenoles y flavonoides (Dellacassa y Bandoni, 2003). Los extractos acuosos se caracterizan por aprovechar todas las partes de la planta (raíz, tallos y hojas), se preparan habitualmente por maceración e infusiones del material vegetal, lo que ocasiona la ingesta de compuestos fitoquímicos como los polifenoles, flavonoides, etc. (Nedovic et al., 2011).

En las plantas se encuentran metabolitos secundarios que reciben el nombre de polifenoles o fenilpropanoides, estos compuestos presentan un grupo fenol en su estructura química. Los polifenoles presentan actividad antioxidante, que tiene como función neutralizar los radicales libres generados en la oxidación lipídica. Estos compuestos son de gran interés, debido, a que evitan el envejecimiento celular y mantienen la salud de los seres vivos (Martínez, et al., 2000). Pero debido a condiciones adversas del medio ambiente circundante particularmente la humedad, temperatura, pH y oxígeno, las sustancias bioactivas de plantas pueden sufrir cambios y perder sus características antioxidantes y antimicrobianas (Nesterenko y col., 2013).

Por ello, el proceso de microencapsulación tiene como objetivo proteger a los compuestos bioactivos de la planta, rodeándolo con una capa protectora de material inerte, que

evita que exista cambios en las propiedades del compuesto (Asbahani et al., 2015). Tecnológicamente se incorporan a la pared de la microcápsula una variedad de compuestos químicos, donde se destaca, la maltodextrina, quitosana, goma arábica, suero de leche, que permiten formar mezclas homogéneas de alta viscosidad, facilitando el proceso de microencapsulación (Nunes et al., 2015). El método de secado por aspersión permite transformar una disolución líquida en un polvo instantáneo. La deshidratación permite formar una microcápsula formada por la sustancia activa y el material de la pared. La disolución líquida (disolución, emulsión o suspensión) que tiene los materiales de la pared y el núcleo de principio activo, se seca en una corriente de aire caliente.

Esta metodología presenta muchas ventajas: barata en comparación con otras metodologías, rápida, por ello, se emplea considerablemente en la industria alimentaria y farmacéutica (Nesterenko et al., 2013). Los microencapsulados de compuestos bioactivos de plantas son una alternativa en la preservación de productos oleosos, pudiendo ser utilizados como aditivos naturales que retardan la oxidación lipídica de grasas, además de promover el consumo de productos funcionales de origen natural (Nunes et al., 2015). Varios de los sabores generados por los materiales vegetales, influyen en la aceptación sensorial de los productos en el consumidor, siendo necesario que la industria diseñe metodologías que enmarcaren características negativas, y aprovechen los beneficios de las plantas para producir productos innovadores, sustentables y sostenibles (Fernandes et al., 2014).

En el presente trabajo se optimizó el proceso de microencapsulación del extracto acuoso de cedrón, mediante el método de secado

por aspersión, posteriormente se caracterizó el polvo optimizado mediante ensayos fisicoquímicos.

Metodología

La planta de cedrón se recolectó antes de la etapa de floración, luego se escogió el material vegetal libre de enfermedades o alteraciones morfológicas, a continuación, se separó las hojas, y se secó en una estufa a 50 °C hasta alcanzar una humedad inferior a 8 % m/m. Consecutivamente se trituraron en molino de cuchillas de alta velocidad (6000 r.p.m.) y se pasó por un tamiz de malla de 0,5 mm, para la obtención de un polvo fino (Gaibor et al., 2017) La extracción hidroalcohólica de los compuestos bioactivos del cedrón, se realizó mediante maceración siguiendo la metodología descrita por Gavilanes (2019), donde se empleó como condiciones de extracción una disolución alcohólica al 90% v/v, tiempo de 24 horas y temperatura de 60°C.

Al extracto acuoso de cedrón, se lo caracterizó mediante ensayos fisicoquímicos que se citan a continuación: contenido de humedad por gravimetría (AOAC 925.105/90., 2010), sólidos solubles disueltos refractométricos (NTE INEN-ISO 2173, 2013), acidez total titulable (NTE INEN-ISO 750, 2013), potencial hidrógeno (NTE INEN-ISO 1842, 2013) y capacidad antioxidante mediante el método de reducción del hierro (FRAP). Al extracto hidroalcohólico de cedrón, se le extrajo el alcohol utilizando un rotaevaporador RE-2000 Biobase, donde los parámetros de operación fueron a una temperatura de 50 °C, 70 r.p.m. y presión de la bomba al vacío de 0,065 Mpa.

Con el extracto libre de alcohol se preparó 500 g de emulsión, donde pesó 70 g de

extracto de cedrón, 70 g de goma arábica, 70 g de maltodextrina y 290 g de agua destilada, en las 19 corridas experimentales (Anwar y Farhana, 2018). El diseño experimental del proceso de microencapsulación del extracto de cedrón, se desarrolló con el programa Design Expert 8.0.6 de Stat-Ease Corporation, EE.UU., utilizando un modelo de superficie respuesta IV óptimo, donde se generó 9 condiciones experimentales, que resultaron de la combinación de los factores temperatura de entrada de aire

(TAE) de 130, 140, 150°C y velocidad de flujo de alimentación del aire (VFA) de 500, 600 y 700 mL/h, de tal forma que la microencapsulación se adaptó a un modelo matemático que describió el comportamiento de las variables de respuesta humedad, rendimiento y eficacia de encapsulamiento. En la Tabla 1 se muestra las condiciones de experimentales empleadas para el proceso de microencapsulación del extracto de cedrón, donde se especifica los intervalos evaluados por cada factor.

Tabla 1. Condiciones experimentales seleccionadas para el diseño de experimentos

Factor	Nomenclatura	UM	Tipo	Subtipo	Mínimo	Máximo
Velocidad de Flujo de alimentación	VFA	mL/h	Numérico	Discreta	500	700
Temperatura de aire de entrada	TAE	°C	Numérico	Discreta	130	150

Fuente: Iglesias y Pichucho, 2021

En la Tabla 2 se muestra la matriz del diseño experimental, donde se detallan las condiciones de las corridas experimentales empleadas para la microencapsulación.

Tabla 2. Corridas experimentales para la microencapsulación del extracto de cedrón

Corrida	Flujo de alimentación (ml/h)	Temperatura de entrada del aire (°C)
1	600	150
2	600	140
3	700	150
4	700	130
5	500	130
6	500	150
7	600	140
8	700	140
9	500	140

Fuente: Iglesias y Pichucho, 2021

Mediante la optimización numérica, se seleccionó la solución que tiene el mejor ajuste al modelo matemático, la cual se consideró como las condiciones de microencapsulación optimizadas.

Según Sánchez (2009), para obtener el rendimiento de microencapsulación, se calcula con la relación de la cantidad de microcápsulas obtenidas sobre la cantidad de microcápsulas esperadas, como se detalla en la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{cantidad de microcápsulas obtenidas}}{\text{cantidad de microcápsulas esperadas}} \times 100 \quad \text{ec.1}$$

La eficacia de la microencapsulación, se realizó por la metodología descrita por González et al., (2015), donde se realizó una disolución de microencapsulado y etanol al 60 % v/v en relación 1:1. Luego la suspensión fue centrifugada a 5000 rpm/ por 15 min para separar los polifenoles microencapsulados. Posteriormente se determinó la concentración de polifenoles del sobrenadante. La eficacia de la encapsulación (% EE), se realizó mediante la relación entre el contenido de polifenoles totales de la microcápsulado (A) y el contenido

polifenoles sin microencapsular (B). El factor A se obtuvo mediante el lavado del polvo microencapsulado con una disolución de etanol (60% v/v), posteriormente se determinó el contenido de polifenoles en el disolvente. Para el factor B, se procedió a pesar 1 g de polvo microencapsulado y se diluyó con 10 mL de etanol (60% v/v), luego se centrifugó en un equipo Boeco C-28A a 3000 rpm, luego se filtró y en el disolvente filtrado se determinó el contenido de polifenoles totales.

$$\%EE = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad \text{ec.2}$$

A = Contenido de polifenoles totales de la microcápsula (mg/g)

B = Contenido de polifenoles sin microencapsular (mg/g)

La determinación de polifenoles se realizó por el método de Folin-Ciocalteu, donde se utilizó el reactivo de Folin-Ciocalteu en medio básico. Para la determinación de polifenoles totales se mezclaron 50 µL de muestra, 1000 µL solución Folin-Ciocalteu (1:10 V/V) y 500 uL de carbonato de sodio (7,5 %). La mezcla se homogenizó y calentó a 45 °C por 30 minutos, se midió la absorbancia a 765 nm en un lector multi-modal Cytation 3, marca BioTek (Vermont, USA). La absorbancia final de cada muestra se comparó con una curva

estándar de calibración de ácido gálico (40-200 mg/l) (Rioja et al., 2018).

La determinación de la humedad se realizó por el método gravimétrico, donde se pesó 10 g del polvo en una cápsula de porcelana, luego se colocó en la estufa Boeco SCA 23 a una temperatura de 105°C por 24 horas, luego se coloca en un desecador por 1 hora, inmediatamente se pesó en una balanza analítica, luego se calculó el contenido de humedad utilizando la ecuación (Mohammed et al., 2017).

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(w1 - w2)}{w1} \times 100 \quad \text{ec.3}$$

Donde:

W1: Peso de la muestra (g) antes del secado en horno.

W2: Peso de la muestra (g) después del secado en horno.

La caracterización de la microcápsula optimizada se desarrolló mediante las siguientes metodologías: rendimiento, eficacia de la encapsulación, humedad, densidad aparente, densidad compacta, capacidad antioxidante reductora de hierro (FRAP), polifenoles totales, solubilidad e higroscopicidad.

Para la determinación de la densidad aparente de las muestras, se pesaron 0,5 g de polvo del microencapsulado y fueron agregadas a una probeta en donde se determinó el volumen mediante la escala, luego se calculó con el empleo de fórmula de densidad (masa/disolvente) (Lekshmi y col., 2017). Para la densidad compacta se pesó 1 gramo de polvo, luego se transfirió a una probeta, posteriormente de forma manual se procedió a golpear 50 veces la muestra hasta compactar el polvo, y lograr un volumen inferior al inicial. El cálculo se lo obtuvo mediante la relación masa disolvente (Lekshmi et al., 2017).

La higroscopicidad del polvo se realizó pesando en un crisol 0,5 g de muestra, luego se dejó reposar por una semana en un desecador que contenía una disolución de sulfato de sodio, se dejó reposar por una semana, posteriormente se pesó y por diferencia de pesos se calculó la masa que absorbió el polvo (Gaibor et al., 2017). Para la metodología de capacidad antioxidante (FRAP), se prepararon tres disoluciones en relación 10:1:1 (v/v/v) del reactivo acetato de sodio (300 mM), cloruro férrico (20 mM) y 10 mM 4,6-tripiridils-triazina (TPTZ). El ensayo FRAP se realizó a con 1 g de muestra, al cual se le añadió 0,3 ml de reactivo y se incubaron a 37 °C durante 4 min. La absorbancia se midió a 593 nm con relación con un blanco de reactivo. La capacidad antioxidante total de las muestras se determinó frente a un patrón de FRAP (Mohammed et al., 2017).

La higroscopicidad del polvo se realizó pesando en un crisol 0,5 g de muestra, luego se dejó reposar por una semana en un desecador que contenía una disolución de sulfato de sodio, se dejó reposar por una semana, posteriormente se pesó y por diferencia de pesos se calculó la masa que absorbió el polvo (Gaibor et al., 2017). Para la metodología de capacidad antioxidante (FRAP), se prepararon tres disoluciones en relación 10:1:1 (v/v/v) del reactivo acetato de sodio (300 mM), cloruro férrico (20 mM) y 10 mM 4,6-tripiridils-triazina (TPTZ). El ensayo FRAP se realizó a con 1 g de muestra, al cual se le añadió 0,3 ml de reactivo y se incubaron a 37 °C durante 4 min. La absorbancia se midió a 593 nm con relación con un blanco de reactivo. La capacidad antioxidante total de las muestras se determinó frente a un patrón de FRAP (Mohammed et al., 2017).

La higroscopicidad del polvo se realizó pesando en un crisol 0,5 g de muestra, luego se dejó reposar por una semana en un desecador que contenía una disolución de sulfato de sodio, se dejó reposar por una semana, posteriormente se pesó y por diferencia de pesos se calculó la masa que absorbió el polvo (Gaibor et al., 2017). Para la metodología de capacidad antioxidante (FRAP), se prepararon tres disoluciones en relación 10:1:1 (v/v/v) del reactivo acetato de sodio (300 mM), cloruro férrico (20 mM) y 10 mM 4,6-tripiridils-triazina (TPTZ). El ensayo FRAP se realizó a con 1 g de muestra, al cual se le añadió 0,3 ml de reactivo y se incubaron a 37 °C durante 4 min. La absorbancia se midió a 593 nm con relación con un blanco de reactivo. La capacidad antioxidante total de las muestras se determinó frente a un patrón de FRAP (Mohammed et al., 2017).

posteriormente se extrajo el etanol mediante destilación al vacío. La Tabla 3 muestra los análisis fisicoquímicos del extracto acuoso de cedrón, donde se presentan los valores de los parámetros: potencial de hidrógeno, humedad, sólidos solubles (°Brix) y capacidad antioxidante reductor del hierro.

Tabla 2. Corridas experimentales para la microencapsulación del extracto de cedrón

Parámetros	Resultado
Potencial de hidrógeno	7,18
Humedad (% m/m)	94,55
Sólidos solubles (° Brix)	9,7
Capacidad antioxidante reductor del hierro ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g muestra}$)	1802,23

Fuente: Iglesias y Pichucho, 2021

Mediante la optimización numérica, se seleccionó la solución que tiene el mejor ajuste al modelo matemático, la cual se consideró como las condiciones de microencapsulación optimizadas.

Según Sánchez (2009), para obtener el rendimiento de microencapsulación, se calcula con la relación de la cantidad de microcápsulas obtenidas sobre la cantidad de microcápsulas esperadas, como se detalla en la ecuación 1.

Tabla 2. Corridas experimentales para la microencapsulación del extracto de cedrón

Corrida	TAE (°C)	VFA (mL/h)	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Eficacia del encapsulamiento (%)
1	150	600	90,34	4,23	89,47
2	140	600	86,34	4,53	92,31
3	150	700	88,89	4,11	85,00
4	130	700	79,34	5,10	87,88
5	130	500	83,63	4,85	87,50
6	150	500	95,72	3,75	94,74
7	140	600	85,45	4,52	92,00
8	140	700	83,12	4,82	88,89
9	140	500	90,96	4,26	91,67

Fuente: Iglesias y Pichucho, 2021

La Tabla 5 muestra la significancia del análisis de rendimiento, humedad y eficacia de la de varianza para los modelos codificados encapsulación.

Tabla 5. Resultados del modelo codificado para el rendimiento, humedad y eficacia de la encapsulación de la microencapsulación extracto de cedrón *Aloysia Citrodora*

Indicador	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Eficacia de la encapsulación (%)
Intercepto	86,52	4,52	91,70
X _{VFA}	-3,16*	0,20*	-2,02*
X _{TAE}	5,09*	0,48*	0,86
X ² _{VFA}	-	-	-0,97
X ² _{TAE}	-	-	-2,18
X _{VFA.TAE}	-	-	-2,53*
R ²	0,9606	0,939	0,954
R ² ajustado	0,9475	0,918	0,877
R ² predicho	0,8937	0,882	0,832
F modelo	73,21*	45,93*	12,39*
F falta de ajuste	3,66	86,65	34,51
Precisión adecuada	25,317	19,28	0,163

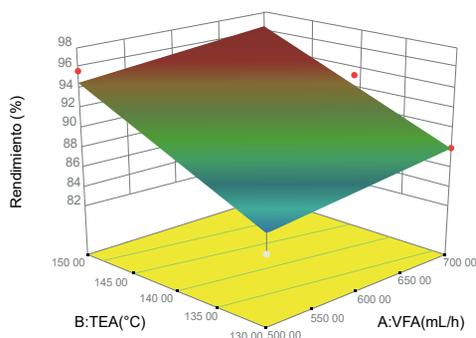
VFA: velocidad de flujo de alimentación. TAE: temperatura del aire de entrada.
*Valor significativo para $p \leq 0,05$. **Valor significativo para $p \leq 0,005$

Fuente: Iglesias y Pichucho, 2021

El modelo rendimiento y la humedad, presentó un comportamiento lineal, siendo significativo a un nivel de confianza del 95,0 %, mostrando una relación significativa entre la VFA y TAE. El R2 indicó que los modelos ajustados explican el 96,06 y 93,90 % de la variabilidad del rendimiento y humedad, respectivamente. El modelo de eficacia de

la encapsulación resultó significativo en los térmicos cuadráticos con un R2 de 95,40%. La figura 1 muestra la superficie respuesta de los modelos de rendimiento, humedad y eficacia de la microencapsulación del extracto cedrón y la relación con la velocidad de flujo de alimentación (VFA) y temperatura de aire de entrada (TAE).

a)



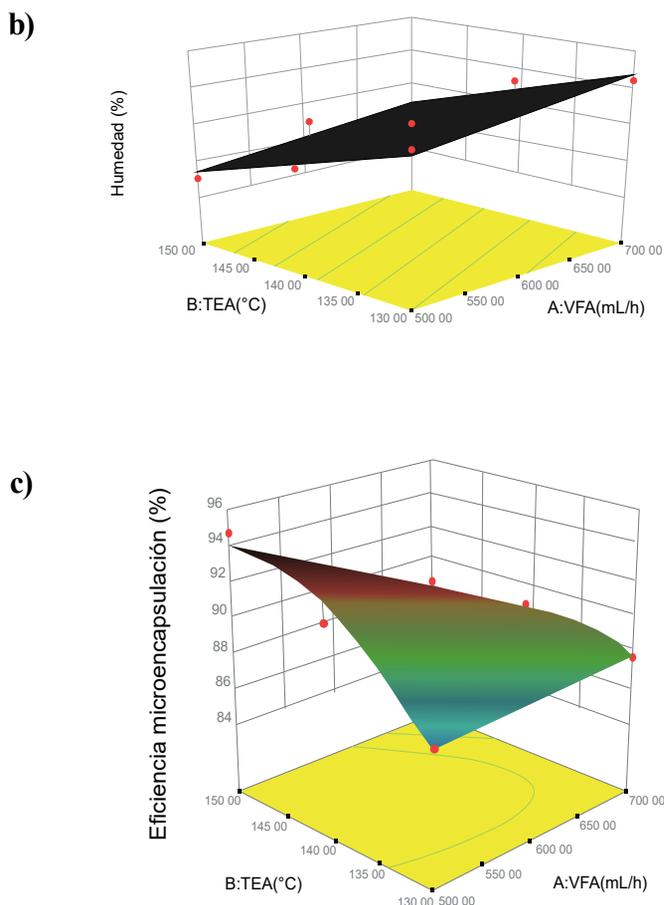


Figura 1. Influencia de la velocidad de flujo de alimentación (VFA) y temperatura de aire de entrada (TAE) en los modelos de rendimiento (a), humedad (b) y eficacia de la microencapsulación del extracto cedrón (c). Nota. Figura generada con los datos experimentales en el programa Design Expert 8.0.6 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, EE.UU.).

Fuente: Iglesias y Pichucho, 2021

La Tabla 6 muestra las condiciones óptimas del proceso de microencapsulación, donde a una velocidad de flujo de alimentación de 500 mL/h y temperatura de aire de entrada de 150 °C, se logró una función de deseabilidad de 0,922 cercana al máximo de uno. Con esta combinación se encontraron

los siguientes valores: rendimiento 94,70 %, humedad 3,68 %, eficacia de encapsulación 93,92 %, densidad aparente 0,3213 g/mL, densidad compactada 0,5712 g/mL, capacidad antioxidante reductor del hierro 320,10 μM Fe 2+/g muestra y polifenoles totales 33 mg/g.

Tabla 6. Optimización del proceso de microencapsulación

VFA (mL/h)	TEA (°C)	RENDIMIENTO (%)	EFICACIA DE LA ENCAPSULACION (%)	HUMEDAD (%)	DESEABILIDAD
500.00	150.00	94.70	93.92	3.68	0.922

Fuente: Iglesias y Pichucho, 2021

Discusión

El pH del extracto de cedrón (*Aloysia Citrodora*) fue de 7,18; valor similar a lo citado por Pérez et al., (2016) en el estudio del extracto etanólico de *Spondias mombin* con un valor de pH 7,1. El pH de los extractos de plantas se ve influenciado por el contenido de saponinas, taninos, flavonoides y polisacáridos (Mena et al., 2015).

El contenido de humedad del extracto acuoso cedrón es de 94,55 % m/m, que se asemeja a lo publicado por Serratos et al., (2008) en el extracto acuoso de *Prunus dulcis*, donde se obtuvo 94,23% m/m de humedad y Arrazola et al. (2014) para el extracto de *Solanum melongena* con un valor de humedad de 96,56 % m/m. La humedad de los extractos es una medida de la cantidad de agua presente en la disolución, que permite determinar la cantidad de sólidos totales (sólidos disueltos y suspensión) presente en las disoluciones, los sólidos totales representan a los compuestos biocativos (Serratos et al., 2008).

El extracto acuoso de cedrón presentó 9,7 °Brix, valor similar a lo reportado Manzanares et al. (2020) que expuso 14,65 °Brix para el extracto de higo (*Ficus carica*). Los °Brix representa la cantidad de sólidos solubles disueltos en una mezcla, varios de los compuestos fitoquímicos presentes en las plantas se disuelven en el agua, entre los que se destacan los azúcares y ácidos orgánicos.

La capacidad antioxidante (FRAP) del extracto de cedrón presentó 1802,23 $\mu\text{M Fe}^{2+}$ /g de muestra, valor superior a lo expuesto por Arrazola et al. (2014) para el extracto de berenjena con 8,3 a 9.1 $\mu\text{m/g}$ y 8,2 $\mu\text{g/ml}$ reportado por Boncun et al. (2013) para el extracto acuoso de alcachofa. La capacidad antioxidante de los extractos acuosos y etanólicos está dado principalmente por los compuestos fenólicos y flavonoides (Arrazola et al., 2014).

En la Tabla 5 se observa los coeficientes de los modelos de rendimiento, humedad y eficacia de la encapsulación, donde se aprecia que la temperatura del aire de entrada (TAE) tiene mayor relevancia sobre el rendimiento y la humedad, seguida de la velocidad de flujo de alimentación (VFA). En la eficacia de la encapsulación la VFA resulto tener mayor relevancia que la TAE. Los rendimientos del proceso de microencapsulación varían desde 83,12 hasta un 95,72 %, valor similar a lo reportado por Bae y Lee (2008) con un 95% para la microencapsulación de polvos sabor a pino (*Pinus sylvestris*) y mayor a lo expuesto por Fernandes et al. (2014) de 59,7% para la microencapsulación de aceite esencial de orégano con almidón-goma arábica y maltodextrina.

Para el modelo de rendimiento se observa una relación directamente proporcional entre la TAE e inversamente proporcional para la VFA, lo que indica que el rendimiento aumenta a medida que aumenta la TAE

y disminuye la VFA. Con la humedad se presenta una relación inversa con la TAE y directa con VFA, es decir la humedad disminuye cuando aumenta la temperatura y disminuye la VFA. Además, en la eficacia de encapsulación la VFA presentó una relación inversa y la TAE una relación directa, es decir, la eficacia de la encapsulación aumento cuando la VFA disminuyo y el TAE aumento.

Cuando se proporciona una menor cantidad de la disolución encapsulante en la alimentación del equipo de secado, existe una mejor transferencia de calor y masa, que genera una disminución de las diferencias de temperaturas del aire de entrada y salida, lo que produce microencapsulados con baja humedad y, por ello, disminuye los desperdicios en el equipo aumentando el rendimiento (Reineccius, 2006).

La humedad de los polvos varió desde 3,75 hasta 5,10 %, similar a los resultados obtenidos de Sharayei et al. (2020) para microencapsulas de extracto de cáscaras de granada, donde se obtuvo 4,12 %. En la figura 1 se observa el modelo de humedad, donde se aprecia que al aumentar la TAE y disminuir la VFA, disminuye la humedad de los polvos. Las altas VFA, permiten que no haya suficiente tiempo de contacto con las gotículas y el aire de secado, por lo cual no se evapora toda el agua de la disolución. La TAE genera una disminución de la humedad relativa del aire del secador, lo que permite eliminar rápidamente el agua del secador (Tontul y Topuz, 2017).

La eficiencia de la microencapsulación, varió desde 85,00 hasta 94,74%, similar al valor obtenido por Arrozola et al. (2014) para la microencapsulación de antocianinas de la Berenjena (*Solanum melongena L.*) donde se obtuvo 94,74% y 92,21% para la microencapsulación de carotenoides de la

Daucus carota (Fiallos y López, 2019). En la figura 1 se observa el comportamiento del modelo de eficacia de la encapsulación, donde se aprecia que al aumentar la TAE y disminuir la VFA, aumenta la eficacia del encapsulamiento de los polvos. La metodología de secado por aspersión permite obtener altas eficacias de encapsulación, a TAE altas y VFA bajas, lo que permite que los componentes bioactivos se puedan fijar de mejor manera al material encapsulante. Es necesario citar que cuando la temperatura de secado aumenta, pueden verse afectados algunos compuestos bioactivos de los extractos de plantas.

La caracterización del polvo con la mejor combinación presentó valores de: rendimiento 94,70 %, humedad 3,68 %, eficacia de encapsulación 93,92 %, densidad aparente 0,3213 g/mL, densidad compactada 0,5712 g/mL, capacidad antioxidante reductor del hierro 320,10 μ M Fe 2+/g muestra y polifenoles totales 33 mg/g. La densidad aparente del polvo es de 0,3213 g / mL, que fue similar al valor de 0,34 g / mL para polvos de aceite esencial de romero microencapsulado con goma arábica / almidón / maltodextrina / inulina (Fernandes et al., 2014) y 0,38 g / mL para la microcápsula de escualeno con quitosano (Lekshmi y col., 2017). Valores altos de densidad aparente indica que hay menos espacios entre partículas. El aire en los espacios libres puede ocasionar oxidación y desestabilizar la estabilidad de las partículas (Calva et al., 2018).

La densidad compacta del polvo es de 0,5712 g / mL que es superior a 0,48 g / mL reportado para el aceite esencial de romero microencapsulado con goma arábica / almidón / maltodextrina / inulina (Fernandes et al., 2014) y 0,50 g / mL para

polvos de escualeno con quitosano (Lekshmi et al., 2017). La capacidad antioxidante del polvo fue de 320,10 μM Fe 2+/g y 33 mg/g de polifenoles totales, lo que indica una buena cualidad para eliminar radicales libres presentes en las matrices alimentarias, lo que permitiría evitar la oxidación lipídica en alimentos oleosos.

Conclusiones

El trabajo de investigación microencapsuló un extracto de cedrón (*Aloysia citrodora*), utilizando como material encapsulante maltodextrina y goma arábiga, a las condiciones optimizadas de secado de TAE de 150° C y VFA de 500 mL/h, donde se obtuvo un 94,70 % de rendimiento, 3,68 % de humedad y 93,92 % de eficacia de encapsulación. El microencapsulado optimizado presentó valores de 13 g/100g de higroscopicidad, 0,3213 g/mL de densidad aparente, 0,5712 g/mL de densidad compacta, 320,10 μM Fe2/g muestra de capacidad antioxidante reductor del hierro (FRAP) y polifenoles totales de 33 mg/g. El microencapsulado de extracto de cedrón presenta una alta capacidad antioxidante, por lo que puede ser empleado como aditivo natural en las formulaciones de alimentos oleosos.

Literatura citada

Anwar, E., & Farhana, N. (2018). Formulation and Evaluation of Phytosome-Loaded Maltodextrin-Gum Arabic Microsphere System for Delivery of Camellia sinensis Extract. *Journal of Young Pharmacists*, 10(2): 556–562.

AOAC. (2020). Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA.

Arrazola G., Herazo I., Alvis A. (2015). Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante. *Información tecnológica*, 25(3):31-42.

Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. . (2014). Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante: Anthocyanins Microencapsulation of Eggplant (*Solanum melongena* L.) and evaluation. *Información Tecnológica*, 25(3), 31–42.

Azwanida, N. (2015). A Review on the Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and Limitation. *Medicinal & Aromatic Plants. Medicinal & Aromatic Plants*, 4(3).

Bae, E. K., Lee, S. J. . (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, 25(8), 549–560.

Boncun, B., Ruiz, G., Soto, M., Venegas, E., Ruidias, D. (2013). Capacidad antioxidante in vitro de los extractos acuosos e hidroetanólicos de las hojas de *Cynara scolymus* L. “alcachofa” frente al 2, 2-difenil-1-picrilhidrazilo. *Pharmaciencia*. Recuperado de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/farmabioq/article/view/169>

Calva-Estrada, J., Mendoza, M., García, O., Jiménez-Fernández, V., Jiménez, M. (2017). Microencapsulation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) and powder characterization. *Powder Technology*, 323: 416-423.

- Costa-Machado, A. R. M., Bastos, J. K., De Freitas, L. A. P. (2013). Dynamic maceration of *Copaifera langsdorffi* leaves: a technological study using fractional factorial design. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(1): 79-85.
- Fernandes, R. V. de B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101, 524–532.
- Fiallos Y., López O. (2019). *Extracción y microencapsulación de carotenoides con actividad antioxidante a partir de Daucus carota*. Ambato-Ecuador : Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería Bioquímica.
- Gaibor, F., Rodríguez, R., García, M., Casariego, A. (2017). Optimización del proceso de extracción hidroalcohólica a partir de la pulpa de cerezo negro (*Syzygiumcumini* L. Skeels). *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 27(2): 51:59.
- Gavilanes, S. (2019). Optimización del proceso de extracción hidroalcohólica a partir del orégano (*Origanum vulgare* L.). *Universidad Técnica de Cotopaxi*.
- González, R. E., Tarón, A., & Morón, L. B. (2015). Formación de Microcápsulas de Tamaño Controlado por Gelación Iónica Utilizando Mezclas Biopoliméricas Binarias. *Información Tecnológica*, 26(6), 31–38.
- Heredia, W., Párraga, C., Salvatierra, J., García, J., & Heredia, E. (2021). Néctar de fruta con extracto acuoso de hoja de guanábana (*Annona muricata* L.): Calidad fisicoquímica, sensorial y funcional. *Manglar*. doi:https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/241/366
- Iglesias D., Pichucho P. (2021). Desarrollo de un microencapsulado de cedrón (*Aloysia Citrodora*), mediante secado por aspersión. *Universidad Técnica de Cotopaxi*.
- INEN. (2013). NTE INEN-ISO 1842. Productos vegetales y de frutas. Determinación de pH.
- INEN. (2013). NTE INEN-ISO 2173. Productos vegetales y de frutas determinación de sólidos solubles método refractométrico. Ecuador .
- INEN. (2013). NTE INEN-ISO 750. Productos vegetales y de frutas. Determinación de la acidez titulable. Ecuador.
- Lekshmi, R., Kumara, N., Chatterjee, C., Tejpal, C., Vishnu, K., Anas, K., Asha, K., Anandan, R. . (2017). Evaluation of chitosan as a wall material for microencapsulation of squalene by spray drying: Characterization and oxidative stability studies. . *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1985-1995.
- Manzanarez-Tenorio, L. E., Ruiz Cruz, S., Márquez-Ríos, E., Ornelas-Paz, J. de J., Del-Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Suárez-Jiménez, G. M., Dévora-Isiordia, G. E., Holguin-Soto, R. . (2020). Microencapsulación de extractos de higo (*Ficus carica*) por coacervación compleja y evaluación de su capacidad antioxidante// Microencapsulation of fig (*Ficus carica*) extracts by complex coacervation and evaluation of its antioxidant capacity. *Biotecnia* , 22(2), 70–77.
- Martínez I., Periago M., Ros G. (2000). Significado nutricional de los compuestos

- fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1).
- Mena C., S. B. (2020). Composición química y actividad biológica de los aceites esenciales de lamiaceas, asteraceas, vervenaceas: una revisión. *Infoanalítica*, 8. doi:<https://doi.org/10.26807/ia.vi.177>
- Mena, L., Tamargo, B., Salas, E., Plaza, L., Blanco, Y., Otero, A., Sierra, G. (2015). Determination of saponins and others secondary metabolites in aqueous extracts of *Sapindus saponaria* L. (jaboncillo). *Scielo Organization*. doi:<http://scielo.sld.cu/scielo.php?scri>
- Mohammed, N. K., Tan, C. P., Manap, Y. A., Alhelli, A. M., & Hussin, A. S. M. (2017). Process conditions of spray drying microencapsulation of *Nigella sativa* oil. *Powder Technology*, 315, 1–14.
- Nesterenko, A., Alric, I., Silvestre, F., & Durrieu, V. (2013). Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness. *Industrial Crops and Products*, 42, 469–479. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.035>
- Nunes G., Boaventura B., Pinto S., Verruck S., Murakami F., Prudêncio E., De Mello C. . (2015). Microencapsulation of freeze concentrated *Ilex paraguariensis* extract by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 151, 60–68.
- Pérez, V. (2018). Estructura química de algunos componentes del extracto etanólico del fruto *bunchosia armeniaca* (cansa boca) con actividad antioxidante y antimicrobiana. Perú: Universidad Inca Garcilazo de la Vega .
- Reineccius G. A. (2006). Flavor Chemistry and Technology. Boca Raton, FL. Taylor and Francis Group. CRC Press, 360-383.
- Rodriguez O., López O. (2021). Extractos de plantas microencapsulados con potencial actividad antiviral: Una revisión general . *Revista de Investigación y desarrollo I+D* , 45-48.
- Sánchez, R. (2009). Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersión, utilizando quitosano como material de pared. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(2), 189-195. doi:<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v9n2/v9n2a7.pdf>
- Serratos, J. C. (2008). Composición químico-nutricional y de factores antinutricionales en semillas de parota (*enterolobium cyclocarpum*). *Interciencia*, 33(11), 850-854. doi:<http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442008001>
- Sharayei, P., Azarpazhooh, E., & Ramaswamy, H. S. (2020). Effect of microencapsulation on antioxidant and antifungal properties of aqueous extract of pomegranate peel. *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 723–733.
- Tontul, I., Topuz, A. . (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science and Technology*, 63: 91–102.