

RESEARCH / INVESTIGACIÓN

Obtención de un extracto rico en carotenoides con capacidad antioxidante a escala de banco a partir de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

Obtaining an extract rich in carotenoids with antioxidant capacity on a bank scale from agro-industrial residues of tree tomato (*Solanum betaceum*)

Walter Ramiro Urbina, Danae Fernández, Orestes Dario López, Antonio Iraizoz

DOI. 10.21931/RB/2020.05.04.13

Resumen: Los carotenoides son los compuestos químicos con mayor presencia en las cáscaras del tomate, son pigmentos naturales con capacidad antioxidante, estos se extraen utilizando solventes orgánicos como el etanol. En esta investigación se realizó una extracción de carotenoides utilizando etanol con una relación material vegetal/volumen de disolvente de 1/70 en los volúmenes de 0,5 L, 3 L y 5 L. Los extractos se caracterizaron físico químicamente y se compararon las medias obtenidas de cada ensayo para un nivel de significancia del 95% obteniendo para la escala de banco un extracto con un índice de refracción de 1,36, viscosidad cinemática de 2,09 cSt.s⁻¹, concentración de licopenos de 0,51 mg.L⁻¹ y una eficiencia del proceso de extracción de 34,34 mg.k⁻¹, no presentando diferencias significativas con las escalas de laboratorio (0,5 L y 3 L). Los valores de porcentaje de humedad y pH a la escala de banco fueron de 99,90% y 5,69 respectivamente, presentando diferencias significativas entre las tres escalas. Se microencapsuló mediante secado por aspersión el extracto obtenido a escala de banco con los polímeros maltodextrina y goma arábiga obteniendo un 99,39% de eficiencia de microencapsulación, mediante espectroscopía infrarroja fue corroborado la presencia de carotenoides dentro de las microcápsulas. Se obtuvieron microcápsulas con un porcentaje de inhibición de DPPH del 21,72% equivalente a una concentración de Trolox de 142,72 μmol.L⁻¹.

Palabras clave: Actividad antioxidante equivalente de Trolox, extracto de carotenoides, microencapsulación de carotenoides.

Abstract: Carotenoids are the chemical compounds with the most significant presence in tomato peels; they are natural pigments with antioxidant capacity; these are extracted using organic solvents such as ethanol. In this research, a carotenoid extraction was carried out using ethanol with a plant material / solvent volume ratio of 1/70 in the volumes of 0.5 L, 3 L, and 5 L. The extracts were physically chemically characterized, and the means were compared obtained from each test for a significance level of 95%, obtaining for the bench-scale an extract with a refractive index of 1.36, the kinematic viscosity of 2.09 cSt.s⁻¹, lycopene concentration of 0.51 mg.L⁻¹ and efficiency of the extraction process of 34.34 mg.k⁻¹, showing no significant differences with the laboratory scales (0.5 L and 3 L). The values of the percentage of humidity and pH on the bench scale were 99.90% and 5.69, respectively, presenting significant differences between the three scales. The extract obtained on a bench scale with maltodextrin and gum Arabic polymers was microencapsulated by spray drying, obtaining a 99.39% microencapsulation efficiency, by infrared spectroscopy, the presence of carotenoids within the microcapsules was corroborated. Microcapsules were obtained with a DPPH inhibition percentage of 21.72%, equivalent to a Trolox concentration of 142.72 μmol.L⁻¹.

Key words: Trolox equivalent antioxidant activity, carotenoid extract, carotenoid microencapsulation.

Introducción

El tomate de árbol (*Solanum betaceum*) es una fruta originaria de Sudamérica y se cultiva en las regiones Andinas de países como Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. En Ecuador se cultivan en varias provincias de la Sierra, siendo Tungurahua la provincia de mayor producción a nivel nacional. El consumo es de forma tradicional en jugos y mermeladas. En el procesamiento industrial se generan desechos como las cáscaras y semillas llegando a alcanzar valores hasta un 5%¹.

Los carotenoides son los compuestos químicos con mayor presencia en las cáscaras de tomate, son pigmentos naturales con una estructura química de ocho unidades de isopreno, liposolubles y responsables de la coloración en el tomate de árbol². El licopeno es uno de los carotenoides sintetizados por las plantas y microorganismos fotosintéticos, es el más abundante en el tomate, su estructura química es de un hidrocarburo alifático de cadena lineal constituido por 40 átomos de carbono con 13 enlaces carbono – carbono de los cuales 11 son conjugados y 56 átomos de hidrógeno. Participa en la

desactivación de algunos radicales libres como el peróxido de hidrogeno, dióxido de nitrógeno, radicales sulfonilo y radicales hidroxilos, también es un intermediario de la biosíntesis de algunos carotenoides como el β-caroteno³.

Los procesos de extracción desarrollados para la obtención de carotenoides de residuos agroindustriales del tomate a lo largo del tiempo han permitido obtener 36,5 mg de carotenoides por kilogramo de residuo seco del tomate de árbol con una mezcla de disolventes etilo – hexano, mientras que usando el solvente etanol se alcanzó una cantidad de 6,1 mg.kg⁻¹.⁴

La microencapsulación del extracto con alto contenido de licopeno es un proceso clave en la conservación de las propiedades funcionales y antioxidantes. Los efectos de la luz, pH, oxígeno y calor son causantes de la degradación de los carotenoides, además la microencapsulación permite mejorar las propiedades organolépticas del ingrediente activo. La tecnología de secado por pulverización permite la utilización de productos que se pueden incorporar como ingredientes activos

en la preparación de alimentos funcionales o productos farmacéuticos de liberación controlada, aumentando su especificidad y disponibilidad⁵.

Materiales y métodos

Obtención del material vegetal

La fruta del tomate de árbol se adquirió del Mercado Mayorista de Ambato y se trasladó a las instalaciones de los laboratorios de la Unidad Operativa de la Dirección de Investigación y Desarrollo (UODIDE-ICIA) de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, de la Universidad Técnica de Ambato, posteriormente se realizó el pelado de la fruta, las cáscaras se cortaron en pedazos pequeños de aproximadamente 2 cm y se sometieron a un proceso de secado en un horno de convección (GANDER MTN) a la temperatura de 50 °C por un tiempo de 55 horas. Se utilizó un molino de cuchillas (INOX-EQUIP) para obtener un tamaño de partículas finas y se preservó en fundas herméticas a la temperatura ambiente⁴.

Obtención del extracto a nivel de laboratorio y de banco

Para obtener el extracto se utilizaron tres biorreactores con volúmenes de 0,5 L, 3 L y 5 L (Tabla 1).

Datos

Volumen (V)	0,5 L	3 L	5 L
Diámetro del agitador (d)	0,025 m	0,05 m	0,062 m
Diámetro del reactor (D)	0,085 m	0,142 m	0,165 m

Tabla 1. Dimensiones de los biorreactores utilizados en la extracción.

Para extraer los carotenoides del material vegetal se utilizó el método descrito por (6) que utilizó una relación de material vegetal/volumen de disolvente 1:70, como disolvente orgánico etanol al 96%, un tiempo de extracción de 30 minutos a una temperatura de 50 °C. El proceso de extracción de carotenoides se realizó por triplicado en cada biorreactor.

Mediante la ecuación I se determinó la velocidad de agitación (n) para cada impelente, donde N es la potencia por unidad de volumen en watts, kn es igual a la constante 0,3 para el etanol, ρ es la densidad del etanol en kg.m⁻³ y d⁵ es el diámetro del impelente en metros elevado a la quinta potencia.

$$N = kn \rho n^3 d^5 \quad (I)$$

La distancia mínima a la pared del biorreactor ($Ji_{laboratorio}$) se determinó a través de la ecuación II, donde es ($Ji_{industrial}$) es la distancia entre el agitador y la pared del biorreactor industrial y (D) es el diámetro del biorreactor.

$$Ji_{laboratorio} = \left(\frac{Ji_{industrial}}{D_{industrial}} * D_{laboratorio} \right) \quad (II)$$

Ecuación 2.

El número de Reynolds se utilizó para conocer el comportamiento de los fluidos en movimiento. Se determinó mediante la ecuación IV, donde n corresponde a la velocidad de agitación en s⁻¹, ρ es la densidad en kg.m⁻³, d² el diámetro del agitador en metros y μ corresponde a la viscosidad.

$$Re = \frac{n \rho d^2}{\mu} \quad (IV)$$

Ecuación 4.

El número de potencia por unidad de volumen se determinó por el consumo de potencia (N) dividido por el volumen (V) del biorreactor.

La distancia mínima al fondo del biorreactor se calculó con la ecuación III donde Zi es la distancia entre el agitador con el fondo del biorreactor y D el diámetro del biorreactor.

$$Zi_{laboratorio} = \left(\frac{Zi_{industrial}}{D_{industrial}} * D_{laboratorio} \right) \quad (III)$$

Para los factores de forma se utilizó relación de diámetro de impelente (d)/diámetro de tanque (D) constante.

Caracterización de los extractos vegetales

La caracterización físico-química se realizó a los extractos vegetales obtenidos en los tres volúmenes para los ensayos de: porcentaje de humedad, pH, índice de refracción, viscosidad, concentración de licopenos y eficiencia de extracción.

La determinación del porcentaje de humedad se realizó mediante la utilización de una balanza de humedad (KERN MLS 50-3) a través de energía infrarroja. Consistió en un método termogravimétrico, el principio es la determinación de la pérdida de peso por medio del secado, esto es pérdida de agua, sustancias volátiles como alcoholes, disolventes orgánicos, entre otros productos que se pueden descomponer por acción de la temperatura⁷.

Se determinó el pH utilizando el método potenciométrico a través de un pH-metro (Thermo Scientific ORION VERSAS-TAR). El funcionamiento del pH-metro implica la medición de una diferencia de potencial entre un electrodo de referencia y un electrodo de vidrio que actúa como una membrana selectiva que permite el paso de hidrogeniones. Esta diferencia de potencial hace referencia a la ecuación de Nernst⁸.

Para el índice de refracción se utilizó un refractómetro (ABBE NAR-2T) en un rango de medición de 1,30 a 1,70 de índice de refracción. El funcionamiento del equipo se fundamenta en la refracción de la luz de una sustancia que es igual al cociente entre la celeridad de la luz en el vacío y la celeridad de la luz en la sustancia analizada⁹, relacionado con las propiedades físicas como la densidad.

Se determinó la viscosidad con un viscosímetro capilar (CANNON 150 Z285), este método consistió en pasar fluido a través de un capilar a temperatura constante, midiendo el tiempo requerido para que un volumen del líquido escurra desde una marca superior hasta una marca inferior grabada en el viscosímetro¹⁰.

Se determinó la eficiencia de extracción a través de la relación entre la masa de licopenos extraída y la masa del residuo vegetal seco utilizado en el proceso de extracción.

La concentración de licopenos se realizó a través de un método espectrofotométrico con la utilización del espectrofotómetro (Fisher Scientific accuSkan GO) a una longitud de onda de 472 nm. Para el cálculo de la concentración de licopenos se utilizó la ecuación V donde $A_{\lambda max}$ es la absorbancia del extracto y $A_{1\%}^{1\text{cm}}$ es el coeficiente de absortividad del disolvente. La concentración de licopeno (C) es expresada en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.⁵

$$C = \frac{A_{\lambda max} \cdot 10^4}{A_{1\%}^{1\text{cm}}} \quad (\text{V}) \quad \text{Ecuación 5.}$$

Microencapsulación del extracto mediante secado por aspersión

El extracto obtenido a escala de banco en el volumen de 5 L se concentró con la utilización del equipo rotavapor (IKA RV8) a una temperatura de 50 °C y una velocidad de agitación de 200 rpm¹¹. Se preparó una emulsión a partir del extracto concentrado de licopeno utilizando un 15% de agua destilada y un 85% de maltodextrina/goma arábica. Se utilizó el equipo mini spray dray (BUCHI-B290) a la temperatura de 120 °C y 80 °C para la entrada y salida respectivamente del equipo.

Determinación de la actividad antioxidante

Se realizó mediante el uso del reactivo 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), este radical reacciona con compuestos antioxidantes resultando en un cambio de coloración, el cual se determina utilizando un espectrofotómetro (Fisher Scientific accuSkan GO) a la longitud de onda de 515 nm¹². Se realizó una curva de calibración con Trolox como antioxidante de referencia con concentraciones en el rango de 50 a 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Se determinó el porcentaje de inhibición del DPPH a través de la ecuación VI, donde A_m es la absorbancia de la muestra y A_b la absorbancia del blanco reactivo. Se expresó la actividad antioxidante como equivalentes a μmol de Trolox/L.

$$\% \text{ Inhibición DPPH} = \left(1 - \left(\frac{A_m}{A_b} \right) \right) * 100 \quad (\text{VI})$$

Determinación del porcentaje de eficiencia de microencapsulación

Se calculó a través de la relación entre la concentración de licopeno obtenida al disolver el microencapsulado en agua (CA) y en etanol (CE) (ecuación VII).

$$E.M = \frac{CA_{\text{agua}} - CE_{\text{etanol}}}{CA_{\text{agua}}} * 100 \quad \text{Ecuación 7.}$$

Espectroscopía infrarroja

Se realizó un análisis de espectroscopía infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR) en una frecuencia de 400 a 4000 cm^{-1} a las muestras del extracto vegetal concentrado, microencapsulado y mezcla de polímeros utilizando un espectroscopio infrarrojo (Jasco FT/IR 4100).

Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar, en el cual el factor de cambio fueron los volúmenes de extracción a nivel de laboratorio y banco con tres réplicas. Se utilizó el software Statgraphics Centurion (versión XVI.I) en el análisis ANOVA y para la comparación de medias entre los tres volúmenes para un nivel de significación del 95%.

Resultados y discusión

Obtención del extracto a nivel de laboratorio y de banco

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos de los pa-

rámetros analizados en el cambio de escala en los volúmenes de 0,5; 3 y 5 L.

Para la velocidad de agitación se da una disminución por efecto de las dimensiones de cada biorreactor con el agitador. El consumo de potencia es la disipación de la energía mecánica en el fluido a través del agitador que genera fricción entre las capas del fluido¹³. En efecto el consumo de potencia se relaciona de forma directa con el volumen del biorreactor, además el diámetro del agitador es la variable que más influye en la determinación de la velocidad de agitación. Entonces al incrementarse el volumen de 0,5 a 5 L se incrementó la potencia consumida, pero la velocidad de agitación fue menor porque el diámetro del impelente se incrementó.

En la relación diámetro del agitador con el diámetro del biorreactor se buscó la más cercana entre los tres biorreactores existiendo una diferencia de 0,081 entre el de 0,5 L y el de 5 L, que se consideró como un valor poco significativo que no influyó en el número de potencia como mencionan García y Jáuregui¹³ que si el valor de la relación d/D aumenta el número de potencia también aumenta.

Caracterización de los extractos vegetales

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en la caracterización físico química de los extractos obtenidos en las tres escalas.

Los resultados de porcentaje de humedad se encontraron en un intervalo de 99,85 a 99,9%, mediante un análisis estadístico ANOVA se identificó que existieron diferencias estadísticas significativas entre los tres volúmenes valor de $p=0,0488$ (Tabla 4).

El resultado obtenido del diseño factorial para la variable respuesta pH indicó que existieron diferencias significativas entre los tres volúmenes de extracción valor de $p=0,0007$ (Tabla 5). Los valores registrados se encuentran en el intervalo mínimo de 5,58 y un máximo de 5,68 considerando que la fruta del tomate de árbol se encuentra en un pH alrededor de 3,77 según manifiesta Carrasco y Encina¹⁴ en su investigación y al estar en un medio con etanol se incrementa el pH.

Para el índice de refracción no se encontraron diferencias estadísticas significativas valor $p=0,7865$ (Tabla 6). El etanol en los extractos se encuentra en un porcentaje mayoritario respecto a los carotenoides.

Los resultados para la viscosidad cinemática no mostraron diferencias estadísticas significativas obteniendo un valor de $p=0,8669$ (Tabla 7). Según Aguado, Nuñez, Bela, Okulik y Bregni¹⁵ para el extracto etanólico de *Aloysia polystachya* determinó la viscosidad cinemática a 37,8 °C obteniendo un valor de 1,037 $\text{cSt}\cdot\text{s}^{-1}$. En contexto de que no existieron diferencias significativas en la escala de laboratorio y banco se puede atribuir a la realización del proceso de extracción a tiempo y temperatura constante. En un mayor tiempo a una temperatura determinada se incrementa la viscosidad y al no existir una variación de tiempo y temperatura los resultados no presentaron diferencias significativas.

El análisis estadístico indicó que no existió una diferencia

Volumen	0,5 L	3 L	5 L
Potencia consumida (N)	0,051 W	0,306 W	0,510 W
Velocidad de agitación (n)	26 s ⁻¹	14,883 s ⁻¹	12,329 s ⁻¹
Distancia mínima a la pared (Ji)	0,0015 m	0,0025 m	0,0029 m
Distancia mínima al fondo (Zi)	0,0024 m	0,0041 m	0,0047 m
Diámetro del agitador/diámetro del biorreactor	0,294	0,352	0,375

Tabla 2. Resultados de los cálculos de desescalado.

Número de Reynolds

14979,050 34297,416 43685,986

	Volumen (L)	0,5	3	5
% Humedad		99,849	99,882	99,905
pH		5,583	5,607	5,685
Índice de refracción		1,363	1,362	1,363
Viscosidad cinemática (cSt.s ⁻¹)		2,105	2,073	2,086
Concentración de licopeno (mg.L ⁻¹)		0,539	0,527	0,514
Rendimiento (mg.kg ⁻¹)		35,47	35,34	34,34
% de inhibición del DPPH		55,72	53,65	50,80
Concentración equivalente de Trolox (µmol.L ⁻¹)		496,82	475,24	445,54

Tabla 3. Resultados de la caracterización físico química de los extractos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00468867	2	0,00234433	5,21	0,0488
Intra grupos	0,00269933	6	0,000449889		
Total (Corr.)	0,007388	8			

Tabla 4. ANOVA para % de humedad por Volumen (L)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0171842	2	0,00859211	30,38	0,0007
Intra grupos	0,00169667	6	0,000282778		
Total (Corr.)	0,0188809	8			

Tabla 5. ANOVA para pH por Volumen (L).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,22222E-7	2	1,11111E-7	0,25	0,7865
Intra grupos	0,00000266667	6	4,44444E-7		
Total (Corr.)	0,00000288889	8			

Tabla 6. ANOVA para Índice de refracción por Volumen (L).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,00152422	2	0,000762111	0,15	0,8669
Intra grupos	0,03127	6	0,00521167		
Total (Corr.)	0,0327942	8			

Tabla 7. ANOVA para Viscosidad Cinemática (cSt.s⁻¹) por Volumen (L)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,000940222	2	0,000470111	2,48	0,1639
Intra grupos	0,00113667	6	0,000189444		
Total (Corr.)	0,00207689	8			

Tabla 8. ANOVA para la concentración de licopenos (mg.L⁻¹)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,31303	2	1,15651	1,39	0,3186
Intra grupos	4,98335	6	0,830558		
Total (Corr.)	7,29637	8			

Tabla 9. ANOVA para la Eficiencia de Extracción en mg.kg⁻¹.

significativa entre la concentración de licopenos en los tres volúmenes de extracción (valor p= 0,1639, (Tabla 8)), como consecuencia de que en la extracción se utilizó igual relación material vegetal/volumen de disolvente en los tres volúmenes lo que favorece a la no variabilidad de los resultados.

En el análisis de medias se obtuvo un valor p= 0,3186 (Tabla 9) lo que demuestra que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los tres volúmenes para la eficiencia de extracción, obteniendo el valor más elevado en el volumen de 0,5 L con 35,47 mg de licopenos en 100 kg de material vegetal (35,473 mg.kg⁻¹), encontrándose este valor dentro del rango reportado en literatura de 5 a 45 mg.kg⁻¹ con temperaturas de extracción de 25 – 60 °C y tiempos de extracción de 30 min utilizando cáscaras de tomate⁵. Este valor se

encuentra similar a otros reportados en bibliografía donde de una cantidad de 100 g de residuo vegetal se han logrado obtener alrededor de 4 mg de carotenos¹⁴.

Microencapsulación del extracto mediante secado por aspersión

Se determinó la actividad antioxidante en el microencapsulado obtenido del extracto del volumen de 5 L alcanzando un valor de 21,73 % de inhibición del radical DPPH.

Se obtuvo la siguiente ecuación lineal (Ecuación VIII) con un coeficiente de correlación de 0,996 obteniendo una concentración equivalente a Trolox de 142,72 µmol.L⁻¹.

Se obtuvo un valor de 99,39% de porcentaje de eficiencia de microencapsulación (E.M) lo que demuestra que la re-

$$\% \text{ Inhibición} = 8,02204 + 0,0960156 * \text{Concentración (umol Trolox L}^{-1} - 1) \text{ (VIII)}$$

Ecuación 8.

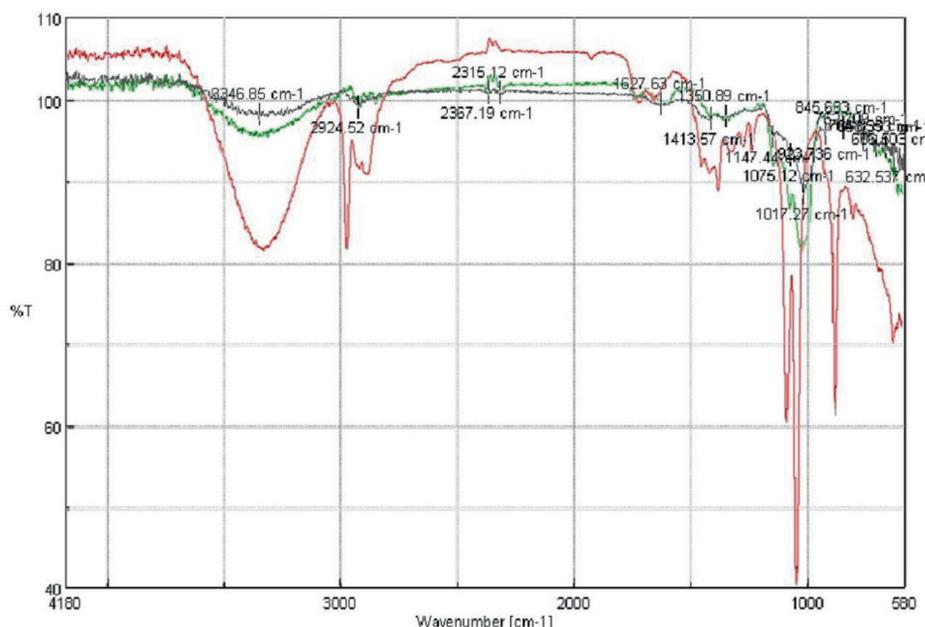


Figura 1. Espectros de resonancia infrarrojo de las muestras de extracto concentrado, microencapsulado y polímeros goma arábica – maltodextrina.

lación polímeros y temperaturas utilizados en el proceso son óptimas. En comparación con datos bibliográficos de Pérez⁶ el porcentaje de eficiencia de microencapsulación para el mismo compuesto activo es similar, en el cual obtuvo una eficiencia del 96,5% utilizando una mezcla de estos polímeros. Se corroboró este elevado porcentaje de eficiencia de la microencapsulación a través de espectroscopía infrarroja utilizando una frecuencia de absorción entre 580 – 4180 cm^{-1} y 40 – 110% de transmitancia (Figura 1). Se observó que el microencapsulado produjo un espectro infrarrojo muy similar que la mezcla de polímeros, confirmando que los licopenos se encuentran en el interior de las microcápsulas.

Conclusiones

Se extrajeron carotenoides a partir de los residuos agroindustriales del tomate de árbol, obteniendo a escala de banco (volumen de 5 L) una concentración de licopenos de 0,514 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ con un rendimiento del proceso de extracción de 34,34 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Se caracterizó el ingrediente activo presente en el extracto y mediante el análisis estadístico ANOVA con un nivel de confianza del 95% se concluyó que no existieron diferencias estadísticas significativas de los resultados obtenidos entre los tres volúmenes para las variables de respuestas: índice de refracción, viscosidad cinemática, concentración de licopeno y eficiencia de extracción, mientras que para el porcentaje de humedad y pH si existieron diferencias significativas.

Se micro encapsuló el extracto obtenido en el volumen de 5 L registrando resultados del porcentaje de eficiencia de microencapsulación de 99,39% corroborado mediante espectroscopía infrarroja.

Referencias bibliográficas

1. Silva Y, Brooks MS-L, Ferreira TAPC, Caliri M, Borba BC, Reis MG, et al. Characterization of tomato processing by-product for use as a potential functional food ingredient: nutritional composition, antioxidant activity and bioactive compounds. *Int J Food Sci Nutr* [Internet]. 2018;70(2):150-60. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1489530>

2. Silva Y, Ferreira T, Celli G, Brooks M. Optimization of Lycopene Extraction from Tomato Processing Waste Using an Eco-Friendly Ethyl Lactate – Ethyl Acetate Solvent : A Green Valorization Approach. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2018;0(0):0. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-018-0317-7>
3. Szabo K, Cătoi AF, Vodnar DC. Bioactive Compounds Extracted from Tomato Processing by-Products as a Source of Valuable Nutrients. *Plant Foods Hum Nutr*. 2018;73(4):268-77.
4. Cardona EM, Ríos LA, Restrepo GM. EXTRACCIÓN DEL CAROTENOIDE LICOPENO DEL TOMATE CHONTO (*Lycopersicon esculentum*). *Rev la facultad Química Farm* [Internet]. 2006 [citado 10 de abril de 2019];13. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v13n2/v13n2a06.pdf>
5. Strati IF, Oreopoulou V. Effect of extraction parameters on the carotenoid recovery from tomato waste. *Int J Food Sci Technol* [Internet]. 2011;46(1):23-9. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.2010.02496.x>
6. Pérez CF. Extracción y microencapsulación de licopenos provenientes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) [Internet]. Universidad Técnica de Ambato ; 2019 [citado 3 de abril de 2019]. Disponible en: http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29416/1/BQ_178.pdf
7. PCE. Balanzas para medición de humedad [Internet]. 2019 [citado 4 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medidores/balanzas-humedad.htm>
8. Macarulla JM, Goñi FM. Bioquímica humana : curso básico [Internet]. Reverté; 1994 [citado 4 de abril de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=4h_losytGvkC&pg=PA33&dq=ph+metodo+potenciométrico&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwinnMfM6bbhAhUp1VkkHU6QABgQ6AEI-JzAA#v=onepage&q=ph+metodo+potenciométrico&f=false
9. Cromer AH, Fernández J. Física en la ciencia y en la industria [Internet]. Reverté; 1998 [citado 4 de abril de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=egCF0g6V2j0C&pg=PA423&dq=indice+de+refraccion+de+una+sustancia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjLiZ-M-bbhAhUCTlk-KHavnD_IQ6AEILTAB#v=onepage&q=indice+de+refraccion+de+una+sustancia&f=false
10. Agudelo JC. Práctica 4. VISCOSIMETRO ROTACIONAL [Internet]. 2018 [citado 4 de abril de 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/36026224/Práctica_4._VISCOSIMETRO_ROTACIONAL

11. Corrêa L, Lourenço S, Duarte D, Moldão M, Alves V. Microencapsulation of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Pomace Ethanol Extract by Spray Drying: Optimization of Process Conditions. *Appl Sci* [Internet]. 2019;9(3):612. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2076-3417/9/3/612>
12. Bobo G, Davidov G, Arroqui C, Vírseda P, Marín MR, Navarro M. Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *J Sci Food Agric*. 2015;95(1):204-9.
13. García D, Jáuregui U. Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas. *Rev Fac Ing* [Internet]. 2006 [citado 11 de septiembre de 2019];1:97-113. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n38/n38a09.pdf>
14. Carrasco RR, Encina CR. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [Internet]. 2008 [citado 29 de mayo de 2019];74(2):108-24. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200004
15. Aguado MI, Nuñez MB, Bela AJ, Okulik NB, Bregni C. Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de un extracto etanólico de *Aloysia polystachya* (Griseb.) Mold. (Verbenaceae). *Rev Mex Ciencias Farm*. 2013;44(3):46-51.

Received: 15 junio 2020

Accepted: 20 septiembre 2020