
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CALKINÍ

“Evaluación de la eficiencia de microencapsulación de compuestos fenólicos y antocianinas de *C. cainito* utilizando doble emulsión seguido de la coacervación compleja”.

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**EGRESADO:
CECILIA ISABEL COHUO CHI**

**DIRECTOR Y CO-DIRECTOR:
DR. VICTOR MANUEL MOO HUCHIN
M. en C. EMMANUEL DE JESÚS CHI GUTIÉRREZ**



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante

Calkiní, Campeche **45939**
P/10/25/796

INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

MODALIDAD: TESIS

C. CECILIA ISABEL COHUO CHI 6816
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.
PRESENTE

Con relación a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Licenciatura, capítulo VII, fracción I, vigente en este Instituto, y una vez emitido el fallo favorable por el director DR. VICTOR MANUEL MOO HUCHIN, y el co-director M.C. EMMANUEL DE JESÚS CHI GUTIÉRREZ, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MICROENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ANTOCIANINAS DE C. CAINITO UTILIZANDO DOBLE EMULSIÓN SEGUIDO DE LA COACERVACIÓN COMPLEJA"**.

ATENTAMENTE


Excelexia en Educación Tecnológica® INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
Sabiduría, Fortaleza de Nuestra Cultura® DE CALKINÍ
"DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y APOYO A
ESTUDIANTES
CLAVE: 04MSU0013P
CALKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO

Dr. Jorge Alfonso Hau Puc.
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante.

C.c.p. Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche,
C.P. 24900 Tel. 996-8134870,
e-mail: se_dcalkini@tecnm.mx | itescam.edu.mx



Dedicatoria

En primer lugar, doy gracias a Dios por darme la fortaleza en los momentos de dificultad y la sabiduría necesaria para seguir adelante, así como por permitirme concluir mis estudios.

Agradezco profundamente a mis padres, Modesto Edilberto y María Gabriela, por su sacrificio, amor y apoyo. Su confianza y esfuerzo han sido la base para alcanzar mis metas. Gracias por ser mi inspiración y por creer en mí aun cuando yo dudaba de mis capacidades. Este triunfo no es solo mío, también es suyo.

A mi hermanito, por ser mi alegría y motivación diaria, recordándome con su cariño lo valioso que es luchar por un futuro mejor.

A mi tía María de Lourdes, por abrirme las puertas de su casa y recibirme con el cariño de una madre, brindándome un lugar seguro y lleno de apoyo en los momentos que más lo necesité. Así como también, agradezco a la familia de mi padre y a la familia de mi madre por su apoyo constante.

A mi novio, por permanecer a mi lado en cada etapa de este proceso. Gracias por tu paciencia, apoyo incondicional y por comprender cada esfuerzo, desvelo y cansancio.

Al M. en C. Emmanuel de Jesús Chi Gutiérrez, por su invaluable orientación y los valiosos consejos que me brindó. Su guía, paciencia y compromiso académico fueron fundamentales para que este proyecto llegara a buen término.

Agradezco al Dr. Víctor Manuel Moo Huchin por su apoyo y orientación durante la estancia en el Laboratorio de Desarrollo de Alimentos del TecNM de Mérida, y por compartir sus conocimientos que me permitieron avanzar en este trabajo.

Dedico este logro a mis queridas compañeras Onely, Zalma y Cecilia Loeza, quienes, con su apoyo, compañerismo y entusiasmo, hicieron de este camino académico una experiencia más llevadera y enriquecedora. Gracias por su amistad, motivación y por compartir cada momento de esfuerzo y alegría durante esta etapa. Este logro también refleja la fortaleza y dedicación que juntas demostramos.

Resumen

El caimito (*Chrysophyllum cainito*) es una fruta tropical cultivada en Yucatán, México. La pulpa del fruto es altamente consumida, mientras que la cáscara es desechada como residuo. Los estudios recientes indican que la cáscara del fruto es fuente importante de antocianinas y otros compuestos fenólicos de interés en la industria. Sin embargo, para aprovechar estos compuestos existen limitaciones como la poca estabilidad de los compuestos bioactivos frente a factores como el pH, la luz, la temperatura y el oxígeno. Una propuesta para proteger los compuestos bioactivos y controlar su liberación es la microencapsulación por coacervación compleja. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de encapsulación de antocianinas y compuestos fenólicos de la cáscara de *C. cainito* mediante un sistema de doble emulsión seguido de la coacervación compleja.

Se obtuvo la cáscara liofilizada de *C. cainito*. Se realizó una extracción de compuestos bioactivos de la cáscara mediante ultrasonido. Los compuestos se encapsularon con el sistema de doble emulsión seguido de la coacervación compleja. Se aplicó cuatro tratamientos de encapsulación, en donde se variaron la concentración de los materiales de pared (1.5 % y 2.0 % gelatina bovina-goma arábica) y el volumen de la emulsión (55 mL y 75 mL). Se realizó la extracción de compuestos totales y superficiales a partir de los polvos encapsulados de *C. cainito*. El perfil cromatográfico de antocianinas y compuestos fenólicos de los polvos encapsulados se analizaron por HPLC. Se encontró que el uso de 1.5 % de polímeros (gelatina-goma) con 55 y 75 mL de emulsión obtuvo la mayor eficiencia de encapsulación de cianidina 3-glucósido. Asimismo, esta misma concentración, pero con 55 mL de emulsión fue la condición que favoreció la alta eficiencia de encapsulación de ácido gálico, 2-4 hidroxifenil etanol, catequina y ácido cafeico. Los resultados confirman que las condiciones del proceso de coacervación compleja son determinantes para maximizar la eficiencia de encapsulación de antocianinas y compuestos fenólicos de *C. cainito*.

La microencapsulación por coacervación compleja representa una alternativa eficaz para el aprovechamiento de la cáscara de caimito, aportando evidencia científica sobre su potencial uso en la industria alimentaria.

índice

Dedicatoria	3
Resumen	4
índice.....	5
Índice de Figuras.....	8
Índice de Tablas	11
Introducción.....	13
2. Antecedentes	15
2.1 Clasificación Taxonómica de <i>C. cainito</i> L.	15
2.2 Distribución.....	16
2.3 Descripción botánica	16
2.3.1 Árbol.....	16
2.3.2 Hojas	17
2.3.3 Fruto.....	17
2.4 Composición Química	18
2.4.1 Propiedades fisicoquímicas.....	19
2.5. Aprovechamiento del <i>C. cainito</i> L.....	20
2.6 Color.....	20
2.7 Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la cáscara de <i>C. cainito</i>	21
2.7.1 Compuestos bioactivos	22
2.7.2 Compuestos fenólicos	24
2.8 Antocianinas.....	25
2.8.1 Estructura de las antocianinas	26
2.8.2 Fuentes vegetales de antocianinas	27

2.9 Importancia de las antocianinas y de compuestos fenólicos en la industria alimentaria.....	28
2.10 Actividad Antioxidante	29
2.11 Análisis de compuestos fenólicos y antocianinas por HPLC	32
2.13 La coacervación compleja como método de microencapsulación de compuestos bioactivos	41
2.13.1 Coacervación Compleja	41
2.13.2 Micro encapsulado	43
2.13.3 Encapsulación por coacervación compleja.....	44
2.13.4 Agente encapsulante.....	45
2.14. Estudio de microencapsulación de antocianinas por coacervación compleja ..	46
3. Objetivo	50
3.1 Objetivo General	50
3.2) Objetivo específico	50
4. Justificación.....	50
5. Materiales y Métodos.....	52
5.1.1 Obtención de cáscara liofilizado de caimito.....	53
5.1.2 Extracción de antocianinas.....	53
5.1.3. Preparación de microcápsulas de antocianinas utilizando doble emulsión seguido por coacervación compleja	53
5.1.4 Perfil cromatográfico de antocianinas de los extractos	55
A) Antocianinas superficiales	55
B) Antocianinas totales.....	55
C) Condiciones cromatográficas	55
6. Resultados y discusión.....	56
6.1 Contenido de cianidina 3-glucósido analizado por HPLC.....	56

6.2 Contenido de compuestos fenólicos (mg/100 g) analizado por HPLC	58
7. Conclusión.....	62
8.Bibliografía	63
Anexos	71
Perfil de antocianinas de microcápsulas de <i>C. cainito</i> (AT Y AS)	71
Perfil de polifenoles de microcápsulas de <i>C. cainito</i> (AT Y AS)	75

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución del <i>C. cainito</i> L.....	16
Figura 2. Árbol del Caimito.....	17
Figura 3. Hojas de árbol de caimito.....	17
Figura 4. Fruto de caimito.	18
Figura 5. Fruto de caimito verde y morado.....	18
Figura 6. Espacio Cromático de CIELAB.	20
Figura 7. El espacio de color $L^*a^*b^*$	21
Figura 8 Grupo fenol característico de la estructura de los compuestos fenólicos....	24
Figura 9. Estructuras de los grupos de acuerdo con la composición química los flavonoides y no flavonoides.	25
Figura 10 Indicador de pH.....	26
Figura 11. ion Flavilio.....	26
Figura 12. Estructura General de las Antocianinas.....	27
Figura 13. esquema del equipo de HPL.....	36
Figura 14. recipiente par a la fase móvil.....	36
Figura 15. Bombas recíprocas o reciprocantes, con pistón o diafragma.....	37
Figura 16. Bomba de desplazamiento continuo o de jeringa.....	37
Figura 17. programadores de fase móvil.....	38
Figura 18. Cromatograma LC-DAD de los compuestos fenólicos extraídos con metanol a partir de los cotiledones (A) y de la testa (B) de los granos de frijol almacenados a (condición de Baja Temperatura y Baja Humedad) durante 120 días.	40
Figura 19. Cromatograma del extracto de <i>Jatropha cardiophylla</i> a 278 nm. Los números corresponden al compuesto fenólico.....	41
En la figura 20 se muestran los procesos para la obtención de microcápsulas de compuestos bioactivos, demostrando cuatro fases: comenzando con la formación de	

la emulsión agitando el aceite y gelatina tipo “A”, también se adiciona goma arábica y se agita, luego modificar el pH para la formación del coacervado alrededor del núcleo que se encapsula y finalmente el recubrimiento de coacervados se endurecen mediante el enfriamiento.	42
Figura 21. Diagrama del proceso de microencapsulación.....	42
Figura 22. Estrategia general de trabajo	52
Figura 23. Contenido de cianidina 3-glucósido en microcápsulas de <i>Chrysophyllum cainito</i> obtenidas mediante coacervación compleja y la eficiencia de microencapsulación. A= antocianinas totales; B=antocianinas superficiales y C= eficiencia. T1= T1-55 (1.5 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria); T2= T2-75 (1.5 % polímeros y 75 mL de emulsión primaria); T3= T3- 55 (2.0 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria) y T4= T4-75 (2.0 % de polímeros y 75 mL de emulsión primaria).	58
Figura 24. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AT del tratamiento 1. 1) Acido Gálico.	71
Figura 25. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de Cromatograma de antocianinas <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AT del tratamiento 2. 1) Acido Gálico.	71
Figura 26. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AT del tratamiento 3. 1) Acido Gálico.	72
Figura 27. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AT del tratamiento 4. 1) Acido Gálico.	72
Figura 28. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 1. 1) Acido Gálico.	73
Figura 29. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 2. 1) Acido Gálico.	73
Figura 30. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 3. 1) Acido Gálico.	74

Figura 31. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 4.1) Acido Gálico.	74
Figura 32. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AT del tratamiento 1) Acido gálico. 2) 2-4 Hidroxifenol etanol. 3) Catequina. 4) Acido Vanílico. 5) Epicatequina. 6) Acido Cafeico. 7) Vanillina.....	75
Figura 33. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AT del tratamiento 2. 1) Acido gálico. 2) Catequina 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina.....	75
Figura 34. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AT del tratamiento 3. 1) Acido gálico. 2) Catequina. 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina.....	76
Figura 35. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AT del tratamiento 4. 1) Acido gálico. 2) Catequina. 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina.....	76
Figura 36. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AS del tratamiento 1. 1) Acido gálico. 2) Acido Vanílico. 3) Epicatequina. 4) Vanillina.....	77
Figura 37. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AS del tratamiento 2. 1) Acido gálico. 2) Acido Vanílico. 3) Epicatequina. 4) Vanillina.....	77
Figura 38. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AS del tratamiento 3. 1) Acido gálico. 2) 2-4-Hidroxifenil etanol 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina.....	78
Figura 39. Cromatograma de polifenoles en <i>C. cainito</i> de microcápsulas de AS del tratamiento 4. 1) Ácido Gálico 2) Ácido Vanílico 3) Vanillina.....	78

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación taxonómica de <i>C. cainito</i> L.	15
Tabla 2. Composición química de la pulpa de caimito (100 g de la fruta)	18
Tabla 3 Propiedades fisicoquímico del fruto de Caimito.....	19
Tabla 4. Grupo de compuestos bioactivos y su relación con el color de los alimentos.....	23
Tabla 5. Frutas y subproductos como fuente de antocianinas	27
Tabla 6. Métodos utilizados en los mecanismos HAT y SET para medir actividad antioxidante	30
Tabla 7. Definición de los mecanismos de separación en HPLC	33
Tabla 8. Módulos HPLC modular e integrado.....	35
Tabla 9. Tipos de microcápsulas que se forman en la coacervación compleja	43
Tabla 10. Agentes encapsulantes comúnmente utilizados.....	45
Tabla 11. Agentes encapsulantes más utilizados en la coacervación compleja.	46
Tabla 12. Estudios recientes de microencapsulación de antocianinas por coacervación.....	47
Tabla 13. Tratamientos de microencapsulación de antocianinas a distintas concentraciones de polímeros y volumen de emulsión	54
Tabla 14. Contenido de compuestos fenólicos individuales (mg/100 g) de AS de microcápsulas de <i>C. cainito</i> obtenidos por coacervación compleja.....	59
Tabla 15. Contenido de compuestos fenólicos individuales (mg/100 g) de AT de microcápsulas de <i>C. cainito</i> obtenidos por coacervación compleja.....	59
En general, los resultados indican que la combinación de concentración de polímeros y volumen de emulsión primaria tiene efecto significativo sobre la eficiencia de encapsulación de compuestos fenólicos individuales, y que el tratamiento T1 resulta ser más favorables para retener una mayor diversidad de compuestos en las microcápsulas.	60

Tabla 16. Eficiencia de encapsulación (%) de compuestos fenólicos individuales de microcápsulas de <i>C. cainito</i> obtenidos por coacervación compleja.....	61
---	----

Introducción

El caimito (*Chrysophyllum cainito* L.) es una fruta tropical perteneciente a la familia *Sapotaceae*, es originario del centro y sur de América. En México, el árbol se encuentra distribuido en la Península de Yucatán (Ku Canul, 2021). La fruta de *C. cainito* se cosecha entre marzo y mayo, en donde se consume de forma fresca en la población; mientras que las hojas tienen usos ancestrales en la prevención de enfermedades. Este hecho promueve el interés por desarrollar el cultivo del árbol *C. cainito* en el sureste de México. La fruta tiene una cáscara que puede ser de color morado o verde según la variedad. El primero tiene mayor contenido de azúcar en su pulpa y la segunda variedad muestra un aroma más fuerte y un sabor amargo (Zambrano et al., 2013). El rendimiento de la pulpa es alrededor del 47.3 %, el resto corresponde a la cáscara y semillas; la producción anual de *C. cainito* cultivada durante la temporada "primavera" en el estado de Yucatán en 2009 fue de 33.50 ha (superficie sembrada), y la producción de caimito fue de 191.20 t por 33.50 ha (superficie cosechada), 3, 412.31 precio medio rural (PMR), obteniendo un valor total de producción de 610.37 mil pesos. Ku Canul (2021) estudió la cáscara morada de *C. cainito* y se identificaron compuestos fenólicos como el ácido gálico, ácido clorogénico, ácido elágico, catequina, miricetina, ácido ferúlico, ácido cafeico y quercetina. También Ku Canul (2021) demostró que el extracto de antocianinas de *C. cainito* fue más estable ($k=40.83$ días) a un pH = 4.3 a 4 °C. El tiempo de vida media del extracto (pH = 4.3) expuesto a la luz fue de 0.93 días, el cual es inferior a lo reportado para el extracto almacenado bajo oscuridad (2.24 días). Los autores Rojas et al., (2018) demostraron que el uso de la extracción asistida por ultrasonido (EUA) es un método rápido, sencillo capaz de recuperar sustancias biológicas tales como las antocianinas de la cáscara de caimito. (Santos Cervera, 2023) realizó un estudio sobre la optimización de las condiciones de extracción asistida por ultrasonido de antocianinas utilizando agua acidificada (ácido cítrico). Las condiciones óptimas fueron de 69.111 mL de disolvente por g de muestra, 1 % de ácido cítrico, tiempo de extracción de 23.15 min y una amplitud ultrasónica de 40 %. El rendimiento de sólidos fue de 33.34 ± 2.19 %, con un contenido promedio de antocianinas de 2.58 ± 0.01 expresados en mg cianidina 3 glucósido/g de polvo liofilizado, compuestos fenólicos de 7.36 ± 0.09 (g EAG/100 g

PS), antioxidantes con el ensayo ABTS: 96.30 ± 5.89 (μm trolox/g polvo liofilizado), poder reductor: 1959.35 ± 61.65 (mg equivalente a ácido ascórbico/100vg polvo liofilizado) y el porcentaje de color polimérico de 12.80 ± 0.86 %.

Las antocianinas se encuentran en diversas frutas y vegetales, cuyo consumo se asocia a diversos beneficios para la salud (antioxidantes, anticancerígenos, obesidad, diabetes, etc.) (Khoo et al., 2017). El uso de las antocianinas en la industria depende de la estabilidad del pigmento y dicha estabilidad es influenciada por diversos factores tales como el pH, la luz, la temperatura y la estructura química (Ku Canul, 2021).

Acorde a Hernandez Nava & Jimenez Munguía, (2018) la técnica de microencapsulación es un método en el cual un material de interés (por ejemplo antocianinas) está rodeado por una pared de revestimiento para formar partículas, en la que se ha utilizado en varias aplicaciones alimenticias; Una de las técnicas utilizadas para la microencapsulación es la coacervación compleja que involucra la atracción de dos polímeros de cargas opuestas, la gelatina tipo “A” como catión (+), y goma arábiga como anión (-), son encapsulantes comúnmente utilizados en alimentos. Esta técnica se ha utilizado con el propósito de prolongar la durabilidad de sabores, olores y protegen ingredientes funcionales como el ácido graso poliinsaturados para poder aumentar su vida útil en diferentes condiciones de almacenamiento. Un ejemplo de microencapsulación de alta capacidad de carga es la coacervación compleja utilizando emulsiones dobles. Algunos factores que influyen en la formación de los coacervados, son porcentaje de los polímeros, densidad de carga, volumen de la emulsión y la concentración de la mezcla, el grado de homogeneización, pH, temperatura y fuerza iónica pueden llegar a afectar el proceso en una medida considerable (Quintana et al., 2019).

Dado que es importante determinar la concentración de polímeros (polisacárido-proteína) y el volumen de emulsión para mejorar la eficiencia de microencapsulación, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la microencapsulación de compuestos fenólicos y antocianinas de *C. cainito* utilizando el método de la coacervación compleja variando la concentración de goma arábiga y gelatina bovina, y el volumen de la emulsión primaria.

2. Antecedentes

2.1 Clasificación Taxonómica de *C. cainito* L.

En la tabla 1 se muestran las características taxonómicas del fruto del Caimito de cáscara morado, así como también la imagen del caimito morado.

Tabla 1 Clasificación taxonómica de *C. cainito* L.

Caimito morado	Taxonomía	
	Nombre Científico	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.
	Reino	Plantae
	Subreino	Tracheobionta
	División	Magnoliophyta
	Clase	Magnoliopsida
	Subclase	Dilleniidae
	Orden	Ericales
	Familia	Sapotaceae
	Subfamilia	Chrysophylloideae
	Género	Chrysophyllum
	Especies	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.

(Gómez Márquez & Urrea Ciro, 2016)

2.2 Distribución

El caimito (*C. cainito* L.) es un fruto perteneciente a la familia *Sapotaceae*, tiene alrededor de 800 especies diferentes, es originario de centro y sur de América, se adapta a climas tropicales y subtropicales, la temperatura óptima de su crecimiento va entre los 20 °C y 30 °C, conforme a su capacidad de prosperar se extendió hacia otros continentes principalmente en México en los estados de Yucatán y Campeche, de acuerdo a la Figura 1, con países que tengan especies nativas y exóticas (Gómez Márquez & Urrea Ciro, 2016).



Figura 1. Distribución del *C. cainito* L.

Fuente: Ku Canul, 2021

2.3 Descripción botánica

2.3.1 Árbol

El árbol del caimito es de tamaño mediano, alto y con copa, una altura aproximada de 10 a 25 m y un diámetro de 20 a 50 cm (Figura 2). Cuando alguna parte de la planta se desprende se produce una secreción lechosa, la corteza exterior es de color marrón grisáceo a gris oscuro y la corteza interior es de látex pegajoso de color amarillo y blanco (Nogales Herrera, 2017).



Figura 2. Árbol del Caimito.

Fuente: Fundación Museo Bolivariano Quinta de San Pedro Alejandrino, 2012

2.3.2 Hojas

Las hojas son estrechas, lisas y diferentes, de color verde oscuro en la parte superior, café en el exterior, por eso se le conoce como hoja dorada, midiendo de 6 a 14 cm de largo y de 3 a 5 cm de diámetro como se muestra en la Figura 3. La hoja tiene forma ovalada con punta puntiaguda, tiene una superficie dura, miden de 0.8 a 2 cm de largo (Ku Canul, 2021).



Figura 3. Hojas de árbol de caimito

Fuente: (Haiman el Trudi, 2021)

2.3.3 Fruto

Los frutos de caimito son redondos, pero también ovaladas como se observa en la figura 4. Una de las características especiales del caimito es su látex, donde al consumirse puede provocar una sensación amarga. En la figura 5 se muestra que existen dos diversidades de caimito en cuanto a su color, el morado es más rico en azúcar, en cambio el caimito de la variedad verde presenta un aroma aún más fuerte y el sabor es amargo (Gomez Marquez & Urrea Ciro, 2016).



Figura 4. Fruto de caimito.

Fuente: (Flickr, 2022)



Figura 5. Fruto de caimito verde y morado.

Fuente: (Haiman el Trudi, 2021)

2.4 Composición Química

En la tabla 2 se muestra la composición química proximal de la pulpa de caimito morado, determinando el contenido en humedad, calorías, proteínas, carbohidratos, azúcar total, fibra, cenizas, calcio, fósforo y hierro contenidas en 100 g de fruta, así como también del contenido de caroteno, tiamina, riboflavina, niacina, triptófano, metionina, lisina, volátiles totales, fenoles totales y ácido ascórbico (Gómez Márquez & Urrea Ciro, 2016)

Tabla 2. Composición química de la pulpa de caimito (100 g de la fruta)

Constituyente	Contenido	Constituyente	contenido
Humedad	78.4 – 85.7 %	Carotenoides	0.004 – 0.039 mg
Calorías (Kcal)	67.2 kcal	Tiamina	0.018 – 0.08 mg

Proteína	0.72 – 2.33 g	Riboflavina	0.013 – 0.04 mg
Carbohidrato	14.65 g	Niacina	0.935 – 1.34 mg
Azúcares Totales	8.45 – 10.39 g	Triptófano	4 mg
Fibra	0.55 – 3.30 g	Metionina	2 mg
Cenizas	0.35 – 0.72 g	Lisina	22 mg
Calcio	7.4 – 17.3 mg	Volátiles Totales	0.154 mg
Fósforo	15.9 – 22.0 mg	Fenoles Totales	217 – 387.1 mg
Hierro	0.30 – 0.68 mg	Ácido Ascórbico	3.0 – 15.2 mg

(Gómez Márquez & Urrea Ciro, 2016)

2.4.1 Propiedades fisicoquímicas

La tabla 3 muestra los valores de las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de caimito. La pulpa se caracterizó por su bajo valor de acidez y alto contenido de azúcar.

Tabla 3 Propiedades fisicoquímico del fruto de Caimito

Propiedad	Valor
pH	5.8
Acidez (%)	0.14
Sólidos Solubles totales (° Brix)	10.6
Azucars Totales (mg/g)	90.8

(Gómez Márquez & Urrea Ciro, 2016)

2.5. Aprovechamiento del *C. cainito* L.

Los frutos maduros contienen mucílago (sustancia viscosa) que se utiliza para curar la laringitis, neumonía; mientras que la corteza es un tónico para combatir la tos; por el contrario, el extracto de hoja se ha utilizado para tratar la diabetes, el cáncer, etc. (Chel Guerrero, 2018).

La pulpa sirve para preparar salsa, jugos, licuados, postres o para conservar dulces; de la misma manera la semilla se utiliza para preparar bebidas como imitación de leche, u otros productos de confitería (Gómez Márquez y Urrea Ciro, 2016). Sin embargo, la pulpa al ser buena fuente de vitaminas, se incluyen en productos como medicamentos para la tos, la diarrea y los diuréticos (Gómez Márquez y Urrea Ciro, 2016).

2.6 Color

El color es la propiedad más importante de los alimentos, junto con la transparencia y la opacidad, relacionadas con la cantidad de luz que el material transmite o refleja; estas características conforman la apariencia visual del alimento, medir el color de una muestra es encontrar la coordenada del espacio de color que representa la muestra conforme a la figura 6 (Pathare et al., 2013)

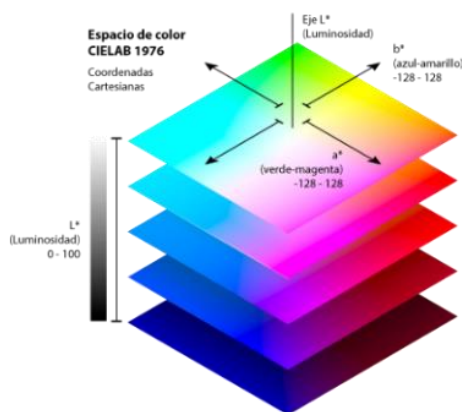


Figura 6. Espacio Cromático de CIELAB.

Fuente: (Konica Minolta, 2023)

Se suele utilizar el sistema de CIELAB donde el parámetro L^* indica el nivel de luminosidad $L^*=100$ en la que distingue un color claro del oscuro, mientras que un valor de $L^*=0$ significa que el alimento es oscuro. El parámetro a^* indica la parte roja- verde de la muestra analizada bajo las condiciones establecidas por el CIELAB, aquí, el rojo indica un valor positivo y el verde indica el valor negativo. El parámetro b^* representa el componente amarillo-azul en el modelo, donde el color azul indica valores negativos y el amarillo es el valor positivo, de acuerdo con los criterios establecidos en la carta de colores acorde a la figura 7 (Gómez Márquez & Urrea Ciro, 2016).

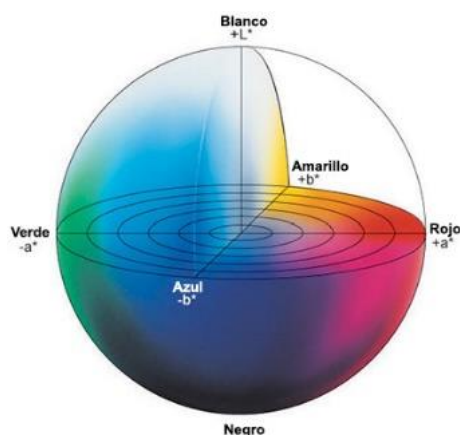


Figura 7. El espacio de color $L^*a^*b^*$

(Mauro Boscarol, 2023)

2.7 Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la cáscara de *C. cainito*

Santos Cervera, (2023) realizó una optimización de las condiciones de extracción asistida por ultrasonido de antocianinas utilizando agua acidificada, las condiciones óptimas fueron determinadas de las siguientes formas: relación muestra/disolvente (M-D) 69.111 mL/g (v/p), porcentaje de ácido cítrico (% AC): 1.0 %, tiempo de extracción (TE): 23.15 min y porcentaje de amplitud ultrasónica (% AU): 40 %. El rendimiento de las antocianinas totales fue de 32.7 ± 2.40 mg/100 g de polvo liofilizada, con un contenido promedio de antocianinas de 2.58 ± 0.01 (mg cianidina 3 glucósido/g de polvo liofilizado), compuestos fenólicos de 7.36 ± 0.09 (g EAG equivalente al ácido gálico/100 g PS(peso seco)) y perfil antioxidante con el ensayo ABTS de 96.30 ± 5.89 (μ M trolox/g polvo liofilizado), poder reductor de 1959.35 ± 61.65 (mg equivalentes de ácido

ascórbico/100 g polvo liofilizado), y un porcentaje de color polimérico de 12.80 ± 0.8 % e índice de oscurecimiento (IO) de 2.51 ± 0.02 demostrando que el modelo y el proceso fueron viables.

Según Ku Canul, (2021) argumenta las condiciones de extracción (temperatura, relación muestra/disolvente y tiempo), para caracterizar un extracto en antocianinas de la cáscara morada de *Chrysophyllum cainito* L. y evaluar la estabilidad de estos pigmentos a diferentes condiciones de pH, luz y temperatura. Aplicando la metodología de superficie de respuesta (MSR) para evaluar la recuperación máxima de antocianinas de la cáscara de caimito, encontrando las condiciones óptimas para la extracción de antocianinas con un tiempo de extracción de 93.58 min, una proporción disolvente/ muestra (M-D) de 64.61 ml/g (v/p), a una temperatura de 44.7 °C. El contenido de antocianinas totales de EAO fue de 3.1 mg de cianidina-3-glucósido/g de cáscara de caimito liofilizada.

2.7.1 Compuestos bioactivos

Se consideran compuestos bioactivos a las sustancias que están presentes en los alimentos y que aporta un beneficio para la salud, estos componentes se pueden encontrar en cantidades pequeñas en los productos de origen vegetal; se pueden llegar a considerar compuestos bioactivos a vitaminas y minerales, que aportan color, aroma, y cumplen funciones en el cuerpo que pueden favorecer la salud tales como prevenir el cáncer, enfermedades del corazón y otras (Moscoso Moscoso, 2014).

Entre los grupos de alimentos funcionales estudiados, se encuentran las frutas, donde se aíslan los compuestos bioactivos que los contienen, estas se pueden clasificar en tres grupos principales de las cuales son terpenoides (carotenoides y esteroides); compuestos fenólicos (flavonoides como los fitoestrógenos o la quercetina, el flavonoide más común en los alimentos) y compuestos de azufre que se muestran en la siguiente tabla 4 (Moscoso Moscoso, 2014).

Tabla 4. Grupo de compuestos bioactivos y su relación con el color de los alimentos

Categorías / Familia	Subclases		Color	Alimento
Terpeno	Carotenoides	Carotenoide	Responsable del color naranja	Zanahoria, Calabaza
		Xantofilas	Responsable del color Rojo	Tomate, col, pimentón, rábano
	Limonoide	Flavonas, Isoflavonas	Color Naranja claro.	Melocotón, papaya naranja.
Fenoles	Flavonoides	Antocianinas	Azul / morado	Cebolla, repollo, zanahoria, berenjena y caimito morado
		Catequina y ácido Gálico		
Tioles	Glucosinolatos	Incluye los isocianatos y Sulforafano	Color verde	Brócoli, coliflor, repollo
	Isotiocianato		Blanco	Ajo, cebollas, cebollín
	Indoles compuestos nitrogenados			

(Moscoso Moscoso, 2014)

2.7.2 Compuestos fenólicos

En la naturaleza, muchos compuestos con estructura molecular se distingue por la presencia de uno o varios anillos fenólicos, es por ello que el término de “compuestos fenólicos” incluyen todas aquellas sustancias o grupo que contienen diversos metabolitos que se caracterizan por disponer de uno o más grupos hidroxilos (-OH) unidas a una estructura aromática, por ese motivo al comprender la estructura química de los compuestos fenólicos, es importante comenzar con la molécula original que es el fenol (figura 8), los fenoles son sintetizados de *Novo* por las plantas y están regulados genéticamente a niveles cuantitativo y cualitativo, además, se comporta como fitoalexinas (plantas que están heridas que expulsan fenoles para protegerse de ataques de hongos o bacterias), contribuyen a la producción de diversos pigmentos de muchas partes de las plantas por ejemplo en las antocianinas son responsables de los colores rojo, naranja, azul, morado en la que se encuentran en la piel de la fruta o verdura. Por otro lado, la oxidación del fenol produce quinonas, que tienen un color marrón oscuro indeseable (Gimeno creus, 2004).

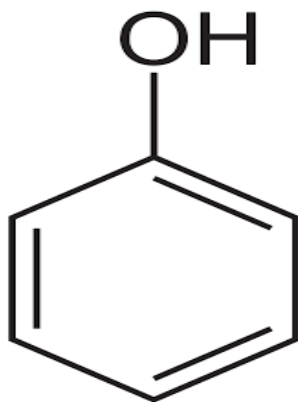


Figura 8 Grupo fenol característico de la estructura de los compuestos fenólicos

(Cory et al., 2018)

Los polifenoles se pueden clasificar en varias formas de acuerdo con sus diferencias estructurales fig. 9. Existen dos grandes grupos según su composición química los flavonoides y los no flavonoides (Gimeno creus, 2004).

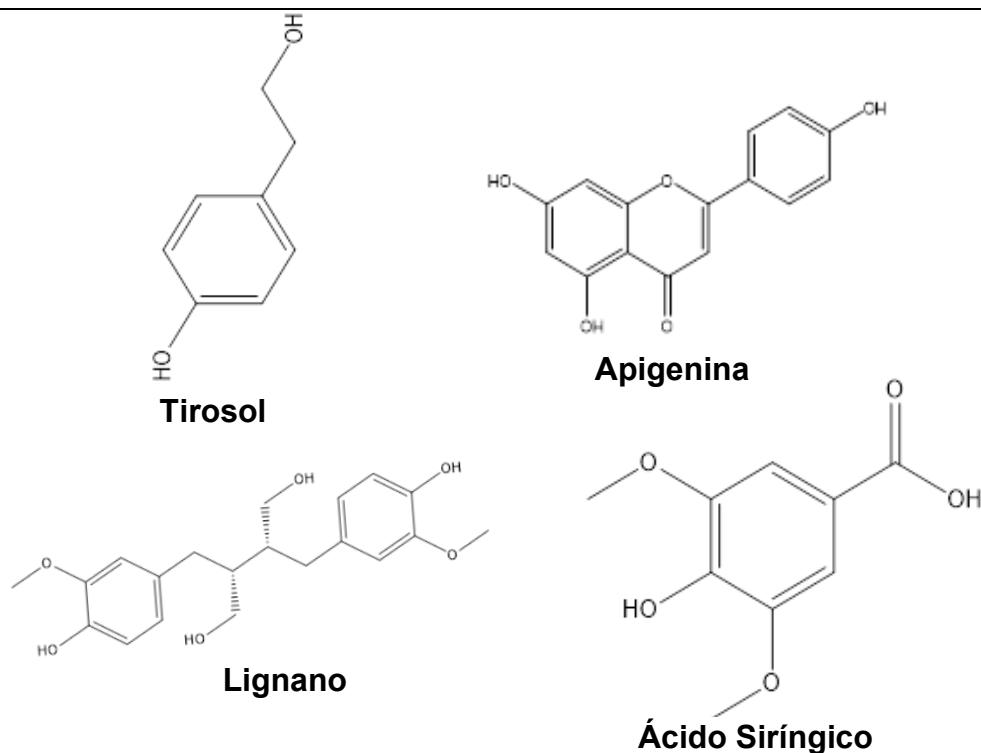


Figura 9. Estructuras de los grupos de acuerdo con la composición química los flavonoides y no flavonoides.

Fuente: propia

Se cree que la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se encuentra en sus diversas actividades biológicas como la eliminación de radicales libres, la quelación de disolventes y la capacidad de modificar enzimas (Bautista Delgado, 2016).

2.8 Antocianinas

El término “antocianinas” fue propuesto en el año de 1835 por el farmacéutico alemán Ludwig Clamor Marquar, la antocianina proviene de las palabras griegas "Antho" que significa "flor" y "Kianos" que significa "azul". Los compuestos fenólicos solubles en agua pertenecen a la familia de los flavonoides, con una estructura de carbono C₆C₃C₆; Lourdes y Aguirre (2019) indican que tienen más de 9.000 estructuras de flavonoides, pero hay 600 tipos de antocianinas (Ku Canul, 2021).

De acuerdo con Ku Canul (2021) las antocianinas se consideran como colorantes naturales utilizados para reemplazar a los colorantes sintético, poseen efectos benéficos en donde se encuentran como los colorantes vegetales más utilizados en la

industria alimentaria siendo responsable de pigmentos en tono amarillos, naranjas, morado y azul como se indica en la figura 10.



Figura 10 Indicador de pH

fuelle: Feira, 2020

Las moléculas llamadas antocianinas, son pigmentos naturales que dan a las especies de plantas sus colores brillantes y únicos. Estos compuestos fenólicos son compuestos solubles en agua que están altamente concentrados en la naturaleza, estos contienen iones de flavilio (2-Fenilcromenilo) (figura 11) (Antonio Gómez, 2015).

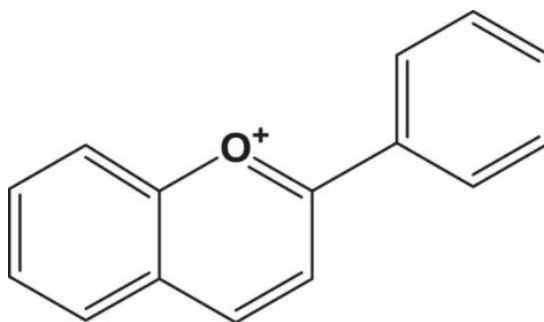


Figura 11. ion Flavilio

Universidad Mayor de San Andrés, 2022

2.8.1 Estructura de las antocianinas

Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, perteneciendo a la familia de los flavonoides compuestos por dos anillos aromáticos A y B están conectados por una cadena de 3 carbonos como se observa en la figura 12. Los cambios estructurales en el anillo B dan lugar a seis antocianinas conocidas (Antonio Gómez, 2015).

Cuando hay dos azúcares en una misma molécula, ocupando los grupos 3 y 5 hidroxilo, suele dar lugar a una estructura más estable que la de un solo monosacárido (Antonio Gómez, 2015).

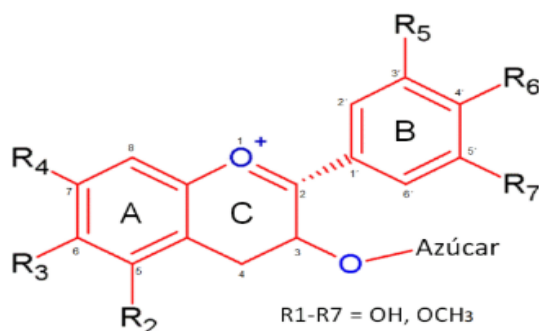


Figura 12. Estructura General de las Antocianinas

Fuente: (Toledo Xocoyotzin, 2018)

2.8.2 Fuentes vegetales de antocianinas

La obtención de pigmentos antociánico ha sido tema de investigación en los últimos años, principalmente a su alta actividad como pigmento, los beneficios para la salud y la capacidad antioxidante. En la tabla 5 se muestran algunos hallazgos realizados para obtener e identificar antocianinas de diversas fuentes vegetales, especialmente en partes no comestibles.

Tabla 5. Frutas y subproductos como fuente de antocianinas

Fuentes	Hallazgos	Fuente
Maíz Morado (<i>Zea Mays L.</i>) 	Los granos del maíz morado se utilizan para la elaboración de productos alimenticios ya que dispone de un alto contenido de antioxidante, por eso, el color se asocia al contenido de antocianinas.	(Moreno et al., 2010)

Cáscara del fruto de Capulí (<i>Prunus Serotina</i> spp capulí) 	El extracto de antocianinas obtenidos en la cáscara de Capulí tiene propiedades que llegan a ser fuentes de compuestos antioxidantes que benefician en la industria alimentaria.	(Hurtado & Pérez, 2014)
Cáscara de Higos Azul-Morado (<i>Ficus Carica</i> L.) 	La cáscara de higo puede llegar a considerarse un colorante natural para alimentos ácidos.	(Ku Canul, 2021)
Jambolán <i>Syzygium Cumini</i> (L. Skeels) 	Los rendimientos de antocianinas del extracto de la cáscara de fruta de <i>S. Cumini</i> son muy altas, por lo que se considera como un posible uso de colorante alimenticio.	(Ku Canul, 2021)

2.9 Importancia de las antocianinas y de compuestos fenólicos en la industria alimentaria

La importancia respecto al color rojo y púrpura que brinda las antocianinas son considerados no solo en el área de los alimentos, si no en los textiles como un colorante natural sustituyendo a los sintéticos. Muchas frutas, flores, vegetales y raíces contienen colores que los hacen ser atractivos debido al compuesto fenólico, de modo que resultan ser inocuos dentro de la industria alimentaria es por ello que se vuelven componentes apreciados y valorados (Santos Cervera, 2023).

Los compuestos fenólicos tienen una gran importancia dentro de los sectores comerciales ya que tienen efectos terapéuticos y son antioxidantes que se encuentran de manera natural en las plantas y frutos. Por lo que los compuestos fenólicos pueden utilizarse en la conservación de alimentos y la elaboración de productos bioactivos,

como la producción de colorantes naturales, hidrogeles, además estos compuestos se han utilizados en química de alimentos, medicina, química fina, textil, demostrando una fuente de innovación de área técnica muy diferente de la región (De Araújo et al., 2021).

Con las películas bioactivas se utilizan para fabricar envases bioactivos, un área en que en los últimos años ha tomado relevancia. Estos envases permiten la incorporación de conservantes o antioxidantes que se liberan en alimentos envasados o en la atmosfera, ofreciendo una alternativa a los envases de plástico derivados del petróleo (De Araújo et al., 2021).

En un estudio australiano se encontró que la combinación entre el ácido ascórbico, lisina, prolina y algunos compuestos fenólicos podrían usarse como un agente preventivo en el tratamiento del cáncer. Así mismo, se identificó otra combinación de nutrientes esenciales, componentes anti digestivos y micronutrientes que podrían utilizarse para la prevención de enfermedades cardiacas, Alzheimer, diabetes y el control de la presión (De Araújo et al., 2021).

2.10 Actividad Antioxidante

Los antioxidantes son compuestos que pueden prevenir o retardar la oxidación de otras moléculas al inhibir el inicio o propagación de reacción en la cadena de radicales libres, que son sustancias químicas que introduce el oxígeno a la célula, es por ello, que la actividad antioxidante se puede definir como la capacidad de reducir los efectos nocivos de las especies reactivas de oxígeno (ROS), que se producen en las células a través del metabolismo del oxígeno. En las células biológicas, a niveles elevados de ROS pueden tener efectos negativos en las funciones, es decir, el envejecimiento o enfermedad (Munteanu & Apetrei, 2021).

Según las reacciones químicas involucradas, estas pruebas se dividen en dos categorías:

Mecanismos de reacción HAT: Las pruebas basadas con el método de transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) determinan la capacidad de los antioxidantes para

poder eliminar a los radicales libres mediante la donación de átomos de hidrogeno (Ruiz Ciau, 2017).

Mecanismo de reacción SET: El método Simple de transferencia de electrones (SET) mide la capacidad de los antioxidantes para promover el cambio de color mediante la transferencia de sus electrones en la reducción de los compuestos oxidados (Ruiz Ciau, 2017).

En la tabla 6 se muestran las pruebas de transferencia de átomos de hidrogeno (HAT): ORAC, HORAC, TRAP y TOSC y pruebas basadas en la transferencia de electrones (SET): CUPRAC, FRAP, prueba de Folin-Ciocalteu y las pruebas que involucran el movimiento de átomos de hidrógeno y electrones, incluyen ABTS y DPPH (Munteanu & Apetrei, 2021)

Tabla 6. Métodos utilizados en los mecanismos HAT y SET para medir actividad antioxidante

Métodos	Definición	Referencia
HAT		
ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)	Mide la capacidad de los antioxidantes para romper las cadenas de radicales libres, de acuerdo con la inhibición de la oxidación por las moléculas de peróxido.	
HORAC (Capacidad Antioxidante de Radicales Hidroxilo)	Este método evalúa la capacidad protectora contra la formación de radicales hidroxilos por complejo de Co (II)	

TRAP (Parámetro Antioxidante Atrapador de Radicales Peroxilo Totales)	Capacidad antioxidante para poder eliminar los radicales derivados del luminol, que son generados de la descomposición de AAPH	(Munteanu & Apetrei, 2021)
TOSC (capacidad total de eliminación de radicales oxirradicales)	Se basa en la inhibición de la formación de etileno (las reacciones se controlan mediante cromatografía de gases) en presencia de un compuesto antioxidante que compite con el ácido α -aceto-y-betilbutírico (KMBA) por las ROS	
SET		
FRAP (Ferric Reducing/Antioxidant Power)	Se utiliza para evaluar el poder reductor del ácido ascórbico también se puede usar en diferentes ligandos como la ferrozina para unir iones de hierro.	
CUPRAC	El reactivo Cu_2 neocuproína, es un agente oxidante cromógeno y se utiliza para determinar la capacidad antioxidante total de los alimentos.	

Folin-Ciocalteu	La prueba de Folin-Ciocalteu se basa en la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu con compuestos fenólicos en estado alcalino.	(Munteanu & Apetrei, 2021)
MIXTO		
ABTS (ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)	Mide la capacidad de los antioxidantes para eliminar el radical libre, que disminuye su intensidad en presencia de antioxidante.	(Munteanu & Apetrei, 2021)
DPPH	Es uno de los medios más utilizados que ofrece evaluar la actividad antioxidante; este mecanismo se basa en la donación de electrones de antioxidantes para neutralizar los radicales DPPH.	(Vázquez-Ovando et al., 2022)

2.11 Análisis de compuestos fenólicos y antocianinas por HPLC

Entre 1966 y 1967 el trabajo de Horváth y Lipsky dio como resultado el primer prototipo de cromatógrafo de HPLC, que fue completado durante los siguientes cinco años por Huber, Kirkland, Majors, Snyder, Unger y Karger hasta la llamada primera generación de equipos, La cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC, por sus siglas en inglés: High Performance Liquid Chromatography) es un método analítico que se emplea para separar, identificar y medir los elementos que se encuentran en una mezcla complicada. denominándolo como el “HPLC MODERNO”; el principio se fundamenta en la interacción distinta de los analitos entre una fase móvil (líquido) y

una fase fija (columna), lo que facilita una separación efectiva, incluso de sustancias con estructuras químicas similares. (Marina de Bayo & Yusá Marco, 2016).

Con el HPLC, se separan componentes de una mezcla, en dos fases la primera es una parte móvil que sigue moviéndose en una dirección y la otra parte es estacionaria que permanece fija. La mezcla de los componentes se realiza mediante columnas, siendo uno de los mejores y más efectivos por sus características (Volonté, 2013).

Existen diversos mecanismos de separación, de las cuales en la tabla 7 se presentan cinco formas de realizar el método de HPLC, cada una se basa en un mecanismo de separación diferente para los componentes de muestra.

Tabla 7. Definición de los mecanismos de separación en HPLC

Mecanismos de separación	Definición
Cromatografía líquido-líquido	Se debe a los diferentes solutos que se encuentran presentes en las moléculas de la muestra en fase móvil y estacionaria líquida. Se considera en desventaja con la disolución de la parte estacionaria de la móvil. Para solucionar se simplifica la parte móvil a la parte estacionaria a través de una pre-columna que contenga un alto porcentaje de la fase estacionaria.
Cromatografía de fase químicamente unida o fase ligada:	Para evitar las disoluciones de la fase estacionaria en la fase móvil, la fase estacionaria utiliza un material normalmente partículas de sílice, unidas químicamente a la superficie de soporte mediante grupos funcionales. Estos pueden ser de naturaleza polar, el grupo amino (-NH ₂) y nitrito (-CN) para cromatografía de fase común, y el no polar con el grupo octilo (-C ₈ H ₁₇), octadecilo (-C ₁₈ H ₃₇), fenilo (-C ₆ H ₅) para cromatografía de fase reversa.

Cromatografía líquido-sólido:	También llamada absorción, este proceso se basa en la competencia que hay entre las moléculas de la muestra, las moléculas de la fase móvil o solvente por establecer los sitios activos en la superficie de sólidos polares como el gel de sílice y la albúmina.
Cromatografía de exclusión molecular	Este tipo de cromatografía, conocida como Permeación o de Filtración, separa las moléculas según su tamaño. las columnas están llenas de gel que tiene poros del mismo tamaño que las moléculas de la muestra.
Cromatografía de intercambio iónico	Depende de la competencia entre la fase móvil y la iónica por los sitios activos de la resina de intercambio. Esto se aplica a compuestos de, peso molecular muy amplio, como péptidos y aminoácidos.

(Volonté, 2013)

El equipo “cromatógrafo HPLC o cromatógrafo líquido” constan de varias partes, algunas se encuentran conectadas a un tubo de acero o de algún otro material con un diámetro exterior de 1/16” y, en ocasiones, un sistema de resolución, de 1/32" o 1/8" (sistema de predeterminado). En el HPLC se encuentran cinco módulos de las cuales son: sistema de bomba (una o más bombas para crear gradientes), inyector de muestra (uno o varios), columna (sin o con columna), detector y procesador de datos que muestra el cromatograma y estadísticas precisas (figura 13) (Marina de Bayo & Yusá Marco, 2016).

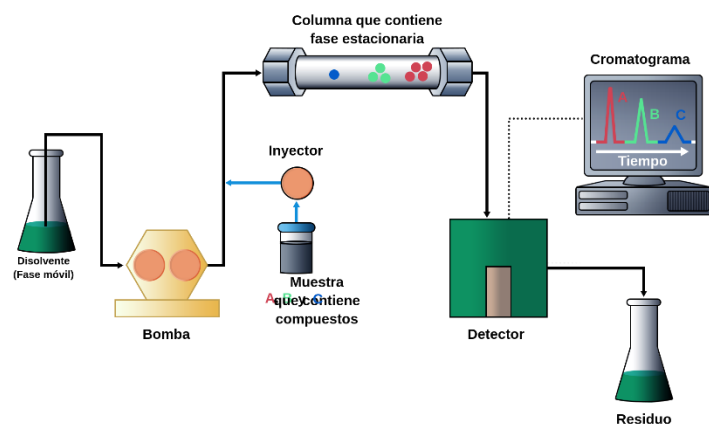


Figura 13. esquema del equipo de HPLC
fuente: Ray, 2022

En la tabla 8 se muestra los tipos de HPLC que mayormente se utilizan el integrado y el modular, así también describiendo la función de cada una.

Tabla 8. Módulos HPLC modular e integrado

HPLC	
Modular	Integrado
 Equipo HPLC modular Fuente: Sykam. (n.d.).	 Equipo HPLC integrado Fuente: Shimadzu. (n.d.).
cada parte es un módulo distinto, como si fueran instrumentos individuales.	En los primeros cada una de sus partes está reunida en un gabinete, lo cual proporciona un mejor aprovechamiento del espacio, menos cables, tuberías y conexiones expuestas.

(Volonté, 2013)

Recipiente para la Fase Móvil: La mayoría de las botellas de vidrio y tubos de teflón están con equipos esenciales para eliminar gases disueltos que pudiese tener algún componente móvil (figura 14) (Bernal Castañeda et al., 2010).



Figura 14. recipiente par a la fase móvil

Fuente:Labster. (n.d.).

Tubería: Se utiliza para unir componentes del HPLC sometidas a altas presiones fabricado en acero inoxidable (entre bomba e inyector, inyector y columna, columna y boquilla, boquillas conectadas en series). La conexión entre la bomba y el inyector, así como el detector no tiene ningún efecto sobre la expansión del grupo de aditivos y tiene pocos efectos (Volonté, 2013).

Sistemas de Bombeo: Las bombas están construidas de materiales muy resistentes tanto al ataque químico como al desgaste mecánico. La bomba de HPLC impulsa la fase móvil desde el contenedor al inyector y de ahí a la columna, está fabricada con materiales altamente resistentes a la agresión química y al deterioro del mecánico (figura 16) (Volonté, 2013).

Existen tres tipos de bombas mecánicas según su función y diseño:

A) Bombas recíprocas o reciprocantes, con pistón o diafragma.

Estas bombas le permiten cambiar el caudal entregado cambiando el corrido del pistón o cambiando la velocidad de movimiento del pistón de acuerdo con la Figura 15 (Volonté, 2013).

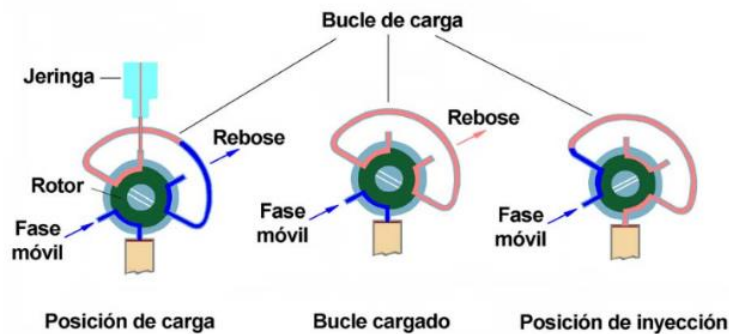


Figura 15. Bombas recíprocas o reciprocantes, con pistón o diafragma

Fuente: Universitat Politècnica de València. (n.d.).

B) Bombas de desplazamiento continuo o bombas jeringas.

También se denomina bombas de pistón o de jeringa por que el pistón, se mueve continuamente por una maquina vibratoria encendido por un motor paso a paso, comprime el líquido de la cámara para obtener un caudal volumétrico constante, igual y continuo (figura 16) (Volonté, 2013).

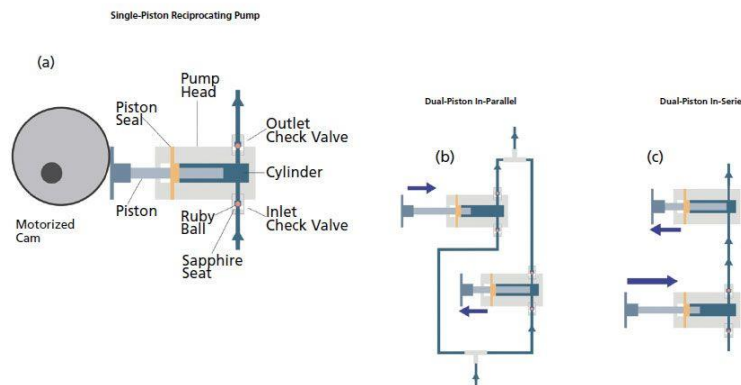


Figura 16. Bomba de desplazamiento continuo o de jeringa

Fuente: Kazakevich, Y. (2023)

C) Bombas neumáticas o de presión constante

En esta bomba, la parte móvil están en un contenedor plegable en un depósito que puede presurizar el motor llenando la parte móvil en la columna mediante gas comprimido. Por otro lado, el caudal depende de la viscosidad del disolvente y no se puede utilizar para flujo en gradiente (Volonté, 2013).

Sistemas de Inyección: Una válvula de retención es una que dirige el flujo a la columna dependiendo si está en posición o no, se pueden operar de forma manual o automática; el sistema de inyección también necesita un carrusel para acomodar los viales donde se coloca e inyecta la muestra (figura 17) (Volonté, 2013).

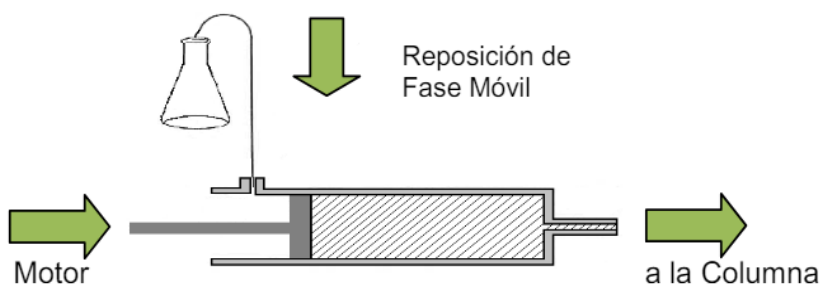


Figura 17. programadores de fase móvil

Fuente: *Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. (s.f.)*.

Programadores de Fase Móvil: Se utiliza para modificar la composición de la unidad móvil durante el análisis. Básicamente se utilizan en dos disolventes distintos a su polaridad y a la proporción del disolvente varía el porcentaje más polar en la mezcla binaria (Volonté, 2013).

Detectores : Un detector es un equipo de cromatografía que permite la posición en el tiempo y el espacio de cada componente de la muestra que salga de la columna cromatográfica (Volonté, 2013).

En todo el sistema cromatográfico en todas las fases, la columna es el corazón del sistema, porque de esta manera se realiza la separación de los componentes de la mezcla que se estudia. Entonces la columna está formada por varios tramos de tuberías fabricados en material neutro, del mismo ancho y capaz de soportar altas presiones. Por lo que, de todos los materiales el acero inoxidable es el más utilizado; la longitud de la columna mide de los 10 a 50 cm, pero pueden ser más largas. La columna más utilizada es la de 25 cm, los cuales tienen mejor velocidad y menor consumo de solvente, la preparación, es decir, la separación y recuperación de unidades de muestra para uso en un futuro, requiere el uso de columnas de medición (Volonté, 2013).

Cuando se trata de la forma de la columna, en la regla general, las líneas rectas son mejores que otras formas. Esto se debe al hecho de que el ajuste queda un poco apretado, especialmente cuando la columna esta doblado. A menudo, para prolongar la vida útil de la columna, se coloca una pre-columna al frente para eliminar los sólidos en suspensión y las impurezas metálicas, para minimizar la caída de presión, el tamaño de las partículas debe ser igual a la concentración de la columna de filtro más grande la mayoría de las máquinas cuentan con un horno de columna para controlar la temperatura si es necesario trabajar a temperaturas muy altas (Volonté, 2013).

En la separación de mezclas de polifenoles se realiza mediante HPLC en función al peso molecular, polaridad y propiedades electroquímicas. Para lograrlo se utilizaron componentes de fases inversa y normal. Por ejemplo, en la fase normal se utilizó para mezclar oligómeros de procianidina. También se ha utilizado en la separación de monómeros, dímero y trímeros de procianidina de otras familias de bayas, usando una columna de sílica. Sin embargo, una de las limitaciones de esta fase es que es difícil combinarlas con técnicas de ionización como ESI para espectrometría de masas, debido a la baja polaridad y constante dieléctrica del disolvente utilizado en la fase móvil por eso se requiere el método de ionización. En algunos casos se combinan con un detector de fluorescencia debido a la alta sensibilidad de estos compuestos (Vargas Fajardo, 2020).

En la figura 18 se muestra el trabajo de investigación indicando las distribuciones de picos en los cromatogramas HPLC-DAD (cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos este método puede separar, identificar en patrones y cuantificar una solución diferentes sustancias de una mezcla.) de extractos metanólicos de los cotiledones y de la testa de los granos de frijoles almacenadas BTBH (condición de Baja Temperatura y Baja Humedad) durante 120 días, los cromatogramas de las muestras faltantes presentan una distribución similar, con diferencia en la altura de los picos. En los cotiledones solo se han identificado ácidos hidroxycinamicos identificados y conjugados, mientras que la testa sobresale los compuestos de tipo flavonoides (Mujica V. et al., 2012).

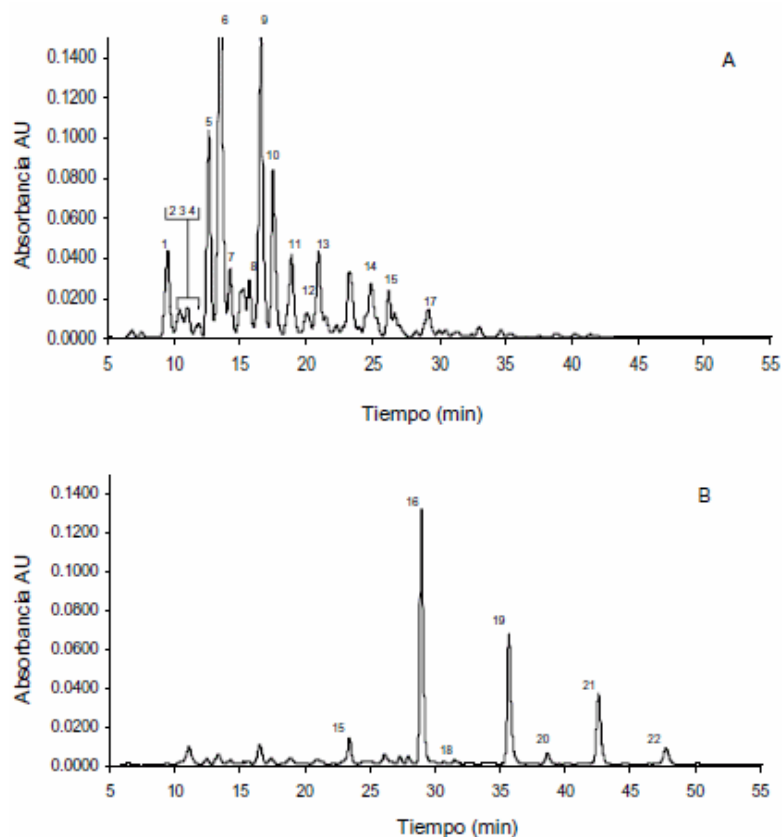


Figura 18. Cromatograma LC-DAD de los compuestos fenólicos extraídos con metanol a partir de los cotiledones (A) y de la testa (B) de los granos de frijol almacenados a (condición de Baja Temperatura y Baja Humedad) durante 120 días.

Para identificar compuestos fenólicos en los extractos etanólicos de partes aéreas de *J. Cardiophylla* mediante HPLC-DAD (cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos), se realizó un proceso de hidrólisis para obtener estos compuestos en forma libre. Inicialmente se detectaron trece especies fenólicas diferentes mediante análisis HPLC-DAD, la presencia de 10 se confirmó mediante ESI.IT-MS-MS (La ionización por electro pulverización y espectrometría de masas); como se observa en la figura 19 varios picos, que indican la ubicación de otros compuestos que pueden estar presentes en la capacidad antioxidante del extracto.

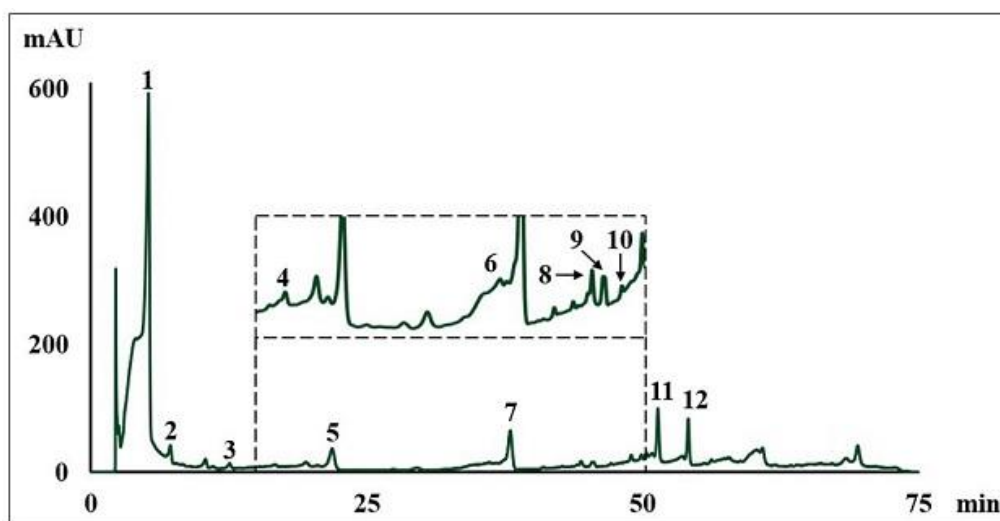


Figura 19. Cromatograma del extracto de *Jatropa cardiophylla* a 278 nm. Los números corresponden al compuesto fenólico

2.13 La coacervación compleja como método de microencapsulación de compuestos bioactivos

2.13.1 Coacervación Compleja

La coacervación compleja se utiliza para referirse al proceso de separación de fases mediante la modificación de factores como el pH, fuerza iónica, temperatura y solubilidad en condiciones controladas, la coacervación se puede clasificar en simples y complejas; donde el simple utiliza un polímero entrelazado, cuya formación se da por un mecanismo de deshidratación, la compleja depende de la interacción iónica de dos o más polímeros con cargas opuestas, una proteína y un polisacárido; la coacervación que más se utiliza es la compleja ya que extiende la vida útil funcional de ingredientes como sabores y ácidos grasos, lo que permite un procesamiento alternativo de alimentos (Mosquera Vivas et al., 2023).

La coacervación compleja consta de tres pasos:



En la figura 20 se muestran los procesos para la obtención de microcápsulas de compuestos bioactivos, demostrando cuatro fases: comenzando con la formación de la emulsión agitando el aceite y gelatina tipo “A”, también se adiciona goma arábica y se agita, luego modificar el pH para la formación del coacervado alrededor del núcleo que se encapsula y finalmente el recubrimiento de coacervados se endurecen mediante el enfriamiento.



Figura 21. Diagrama del proceso de microencapsulación.

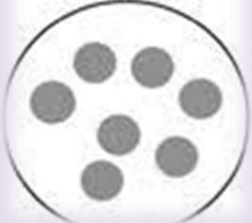
Fuente: (Hernández Nava & Jiménez Munguía, 2018)

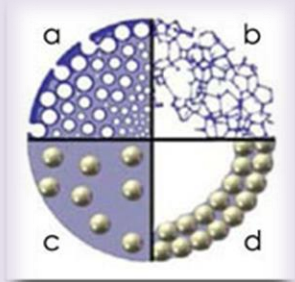
2.13.2 Micro encapsulado

El proceso de la tecnología de encapsulación implica rodear partículas pequeñas con una pared de polímero para formar un compuesto de recubrimiento similar a una cápsula, rodeada de sustancias activas con pared porosa en la que se obtiene capsulas de 50 nm a 2 mm. La resistencia de esta matriz semipermeable permite que las cápsulas de producto se apilen unas sobre otras. Esto significa que muchos núcleos son colocados en una matriz con una sola capsula de núcleo, Por tanto, la coacervación compleja es una técnica de microencapsulación (Mosquera Vivas et al., 2023).

De acuerdo con su morfología, las microcápsulas se pueden clasificar en 3 categorías: Mononuclear: tienen una cubierta alrededor del núcleo, Polinucleares: tienen varios núcleos dentro de la pared; Tipo Matriz: El material del núcleo se distribuye de manera homogénea en el material y puede presentarse en diferentes estructuras ya sea en espuma (material activo se reparte en toda la capsula y cubierta), en forma de red (Estructura abierta) y microcápsulas (el material activo se encuentra disperso en la matriz que actúa como cubierta) (tabla 9) (Nava Reyna et al., 2015).

Tabla 9. Tipos de microcápsulas que se forman en la coacervación compleja

Microcápsulas	Definición	
Mononuclear	Tiene una cubierta alrededor del núcleo.	Mononuclear 
Polinuclear	Tiene varios núcleos dentro de la pared.	Polinuclear 

Matriz	El material del núcleo se distribuye de manera homogénea en el material y puede presentarse de diferentes estructuras	 Matriz	Espuma (a): Material que es activo y se reparte en toda la capsula u cubierta. forma de red (b): estructura abierta y con microcápsulas (material activo) c) se encuentra disperso en la matriz que actúa como cubierta. d) Matriz que solamente en el contorno de la capsula	 Figura 2. Morfología de los diferentes estilos de microcápsulas tipo matriz. Imagen tomada de Vehrings (2008).
--------	---	---	---	---

2.13.3 Encapsulación por coacervación compleja

La encapsulación se refiere al proceso en el que pequeñas partículas son rodeadas por una pared polimérica para formar un complejo de recubrimiento conocido como cápsula (Mosquera Vivas et al., 2023). Por lo tanto, se ha utilizado en una variedad de aplicaciones alimentarias, y la tecnología de microencapsulación utilizada en el polvo de cáscara de caimito es una coacervación compleja basada en la atracción eléctrica entre dos biopolímeros, la gelatina tipo A y la goma arábica (Tamjidi et al., 2013).

Esta técnica se ha utilizado para introducir, proteger y proporcionar nutrientes beneficiosos como dulzor, color y ácidos grasos poliinsaturados para prolongar la vida útil en diversas condiciones de almacenamiento (Hernandez Nava & Jimenez Munguía, 2018).

2.13.4 Agente encapsulante

Llamados también como agentes acarreadores, en la que existe una gran variedad de materiales para su encapsulación, entre los materiales se encuentran algunos carbohidratos, lípidos, proteínas y polímeros, como se muestra en la tabla 10 (Guevara-Bretón & Jiménez – Munguía, 2017).

Tabla 10. Agentes encapsulantes comúnmente utilizados

Tipos de Agentes Encapsulantes	
Ceras y lípidos	Cera de abejas, emulsiones de micro y macro, glicerol etc.
Proteínas	Gelatinas, proteínas de suero, proteína de soya, gluten etc.
Carbohidratos	Almidones, Maltodextrina, Quitosano, Sacarosa, Glucosa etc.
Polímeros de Grado Alimenticio	Polipropileno, poliestireno, polibutadieno etc.

Fuente: (Guevara-Bretón & Jiménez – Munguía, 2017)

La estabilidad de la cápsula, la eficacia y el nivel de protección contra la absorción están influenciados por el agente de absorción. Las proteínas (gelatina tipo A) y los polisacáridos (goma arábiga) son los ingredientes más utilizados en la industria alimentaria mediante complejos procesos de coacervación, debido a que son productos naturales y tienen buenas interacciones con la formación de coacervados (Hernández Nava y Jiménez Munguía, 2018). En la tabla 11 se observan algunos materiales de recubrimiento en la microencapsulación junto con sus características

Tabla 11. Agentes encapsulantes más utilizados en la coacervación compleja.

Algunos materiales de recubrimiento en la microencapsulación (Parzanese, 2024)	
Material de recubrimiento	Características de interés
Maltodextrina	Formador de películas
Sólidos de jarabe de maíz	Formador de películas
Almidón modificado	Muy buen emulsionante
Goma arábica	Emulsionante, formador de película
Celulosa modificada	Formador de películas
Gelatina	Emulsionante, formador de película
Ciclodextrina	Emulsionante, encapsulante
Lecitina	Emulsionante
Proteínas de suero	Buen emulsionante
Grasas hidrogenadas	Barrera al oxígeno y humedad

2.14. Estudio de microencapsulación de antocianinas por coacervación compleja

La microencapsulación es una alternativa para mantener la estabilidad de las antocianinas, mientras que la coacervación compleja preserva y mantiene sus propiedades durante el almacenamiento en diferentes condiciones. Entonces, es una de las tecnologías más antiguas en la que las microcápsulas preparadas son insolubles en agua y tienen excelentes propiedades de liberación. Es por esto que la disociación del polielectrolito ocurre cuando el electrolito está en equilibrio en el medio líquido (Jain et al., 2016); de tal modo que en la tabla 12 se muestra los hallazgos de extractos encapsulados de compuestos bioactivos tales como el propóleo, aceite de

pescado, frambuesa roja y cáscara de pitaya. Utilizando polímeros como agentes encapsulantes.

Tabla 12. Estudios recientes de microencapsulación de antocianinas por coacervación

Extracto encapsulado de compuestos bioactivos	Polímeros usados como agentes encapsulantes	Resultados	Referencia
Propóleo encapsulado (resina pegajosa de las abejas)	Gelatina 2.8 g Alginato de sodio 0.8 g Maltodextrina de 36 g 168 g de propóleo seco con 1200 mL de solución de etanol al 70 %.	Se obtuvo tres concentraciones diferentes del propóleo de las cuales son 11.21 % (F1), 20.16 % (F2) y 27.47 % (F3). El propóleo tiene un sabor amargo y un aroma fuerte por eso se busca encapsular, ya que contiene compuestos bioactivos que benefician al ser humano, como resultado se demostró que al aumentar la concentración de propóleo también podrían aumentar el rendimiento, el contenido de fenólico total, la higroscopicidad y la solubilidad.	(Sukri et al., 2023)
Aceite de pescado	Gelatina bovina tipo A (1 %, 1.5 %, 2 %)	En un estudio de microencapsulación se evaluó la eficiencia y el contenido de aceite de pescado, utilizando	(Habibi et al., 2017)

	Goma Arábica (1 %, 1.5 %, 2 %) Aceite de pescado (1 %, 0.5 % y 2 %) Jugo de Granada para fortificar la microencapsulación	dos polímeros, gelatina-goma arábica, como material de pared cada una con tres concentraciones (1 %, 1.5 %, 2 %) y de aceite de pescado con concentraciones diferentes (1 %, 0.5 % y 2 %). Se encontró que a mayor concentración de polímeros 1.5 % y de aceite al 2 % se obtuvo una eficiencia del 76.66 % y un contenido de aceite de las microcápsulas de 56.78 % para luego fortificar el jugo de granada con las micro capsuladas.	
Frambuesa roja	Proteína de soya (5 %) Goma Arábica A diferentes concentraciones (5 %) Extracto de antocianinas de frambuesa roja (0.025 %, 0.05 %, 0.075 %)	Este estudio implica la microencapsulación de extracto de antocianinas (AC) de frambuesa roja con concentraciones (0.025 %, 0.05 %, 0.075 %) mediante la microencapsulación con aislado de proteína de soya (SPI) (5 % y 2.5 %) y dos concentraciones (5 % y 2.5 %) de goma arábica como material de pared. Los tratamientos de encapsulación obtuvieron un	(Mansour et al., 2020)

		valor de eficiencia entre el 93.05 % al 98.87 %, mejorando la estabilidad térmica a una temperatura de 80 a 114 °C	
cáscara de pitahaya	Maltodextrina 20 % Goma Arábica 20 % Goma Xantana 20 % Gelatina 20 % Alginato de sodio 1 %	En este trabajo trata sobre la microencapsulación de la betacianina usando cuatro agentes de las cuales son la maltodextrina (20 %), goma arábica (20 %), goma xantana (20 %) y gelatina (20 %), que fueron mezclados con alginato de sodio (1 %) para formar material de pared. La goma arábica se utilizó como material de pared para micro encapsular la betacianina ya que obtuvo mayor eficiencia de encapsulación de un 92.26 %, mientras que los demás materiales de pared tuvieron una eficiencia menor entre 80 % y 90 %.	(Bhagya Raj & Dash, 2022)

3. Objetivo

3.1 Objetivo General

1. Evaluar la eficiencia de microencapsulación de compuestos fenólicos y antocianinas de *C. Cainito* utilizando el sistema doble emulsión seguido de la coacervación compleja.

3.2) Objetivo específico

- Determinar el contenido de los compuestos fenólicos y antocianinas por HPLC en los extractos de compuestos superficiales y de compuestos totales de las microcápsulas de antocianinas de *Chrysophyllum cainito*
- Determinar la eficiencia de encapsulación (compuestos fenólicos y antocianinas) de microcápsulas de antocianinas de *C. cainito*.

4. Justificación

El *C. cainito* es un fruto tropical muy popular en el sureste de México, cultivado por pequeños productores, distribuido en el mercado local y se consume en forma fresca. El consumo del fruto produce residuos como la cáscara (47.3 %) que aún no han sido estudiados. Se ha demostrado que la cáscara del caimito morado muestra propiedades bioactivas y un alto contenido de compuestos fenólicos. Se ha reportado que la cáscara de caimito morado tiene un alto contenido de antocianinas totales (3.1 mg cianidina 3 glucósido/100 g peso seco). Las antocianinas sufren cambios químicos durante el procesamiento, lo que provoca que pierdan estabilidad ante distintos ambientes externos como el pH, humedad, oxígeno entre otros. El incremento de la temperatura de 4 a 25 °C para cada pH (2.5, 3.0 y 4.3), evidencia un aumento constante de la degradación del pigmento y una disminución en los valores de $t_{1/2}$. El extracto de antocianinas de *Chrysophyllum cainito* presenta baja estabilidad frente a la luz, con una vida media de tan solo 0.93 ± 0.00 días cuando está expuesto a condiciones luminosas. En ausencia de luz, la vida media se incrementa a 2.24 ± 0.07 días. Estos resultados indican que las antocianinas deben almacenarse en recipientes

oscuros o con protección contra la luz para preservar su estabilidad y mantener su color característico por más tiempo.

Una estrategia para mejorar la estabilidad y bioaccesibilidad de las antocianinas de caimito es la coacervación compleja. Esta técnica se considera un procedimiento sencillo y económico. Permite la producción de microcápsulas con una capa delgada y un alto porcentaje de aceite, lo que resulta en excelentes propiedades de liberación. Al utilizar el método de la coacervación compleja, se obtiene una excelente capacidad de carga, es reproducible, es más alta la tasa de eficiencia de microencapsulación. Además, este método permite evitar la pérdida de compuestos volátiles y es más barato.

Los factores que afectan la microencapsulación de compuestos bioactivos por coacervación compleja son el pH, la concentración del material de la pared, el porcentaje de los polímeros, la velocidad y el tiempo de agitación, y el volumen de la emulsión. El trabajo contribuye en valorar los residuos del caimito y aprovecharlo para la industria alimentaria. Se promueve el cultivo y se puede tener beneficios económicos para los pequeños productores de la fruta. El trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de microencapsulación de compuestos fenólicos y antocianinas de *C. Cainito* utilizando la coacervación compleja.

5. Materiales y Métodos

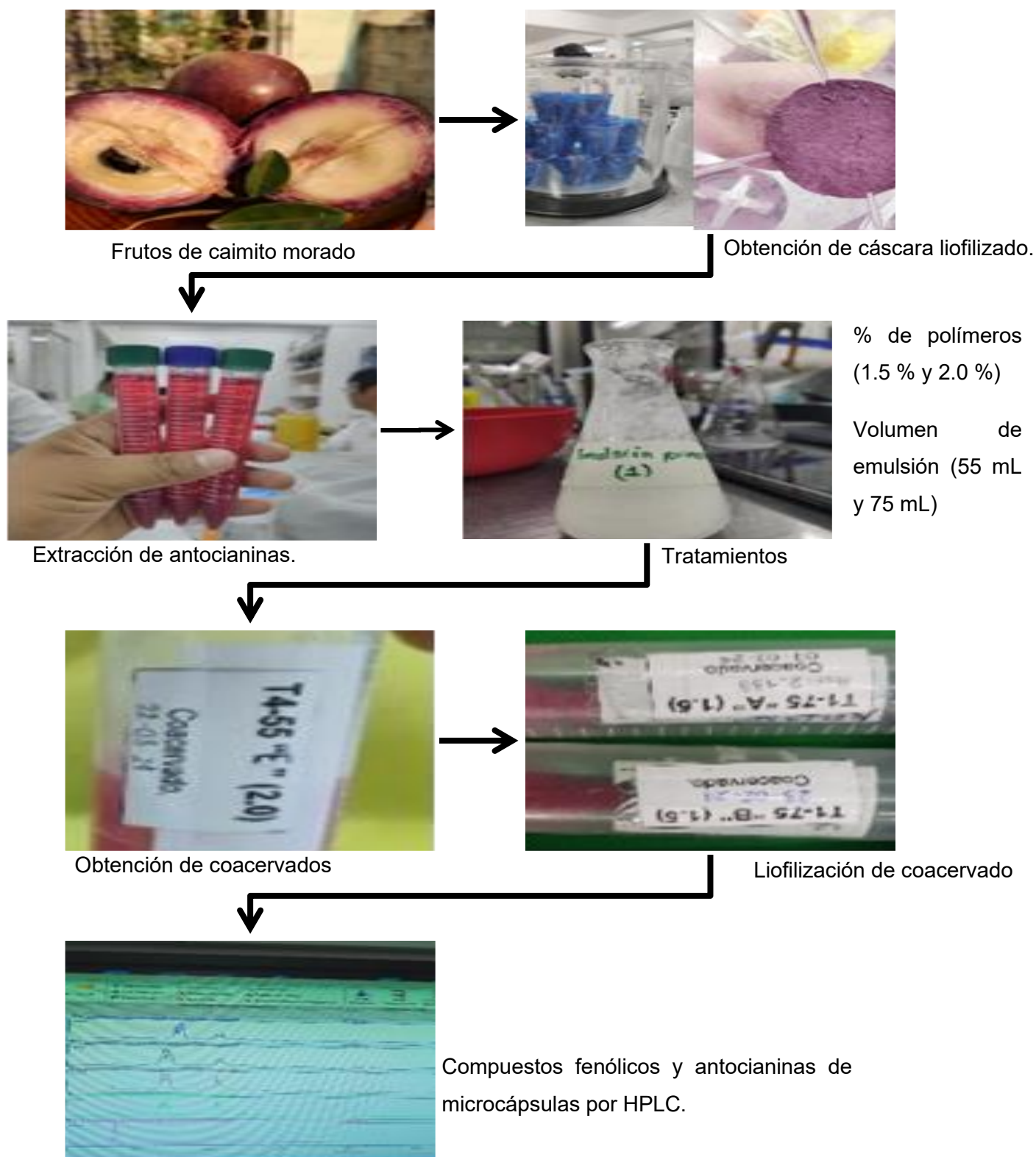


Figura 22. Estrategia general de trabajo

5.1.1 Obtención de cáscara liofilizado de caimito

Los frutos de caimito fueron comprados en los estados de Yucatán y Campeche entre marzo y mayo del 2023. Los frutos se seleccionaron tomando como criterio el 75 % de coloración morado de su cáscara y sin daños físicos. Los frutos se lavaron con agua corriente y se extrajo la cáscara con un cuchillo. La cáscara se cortó en secciones pequeños y se almacenó a -20 °C hasta su uso. La muestra congelada se colocó en la liofilizadora durante 72 h para obtener cáscara liofilizada. El material deshidratado se trituró en una licuadora nutribullet® para obtener un polvo fino, el cual se almacenó en bolsa ziploc a -20 °C hasta la extracción de antocianinas.

5.1.2 Extracción de antocianinas

El extracto de antocianinas se obtuvo mediante extracción asistida por ultrasonidos (EAU) según la metodología descrita por Santos (2022), para ello se empleó un baño ultrasónico marca CScientific, modelo CS-UB100 con capacidad de 10 L, que proporciona control cuantitativo de la temperatura, tiempo y amplitud ultrasónica. Las extracciones se llevaron a cabo mediante una frecuencia constante de 40 kHz, temperatura de 35 °C y un poder ultrasónico de 240 W. Para la extracción, se pesaron 15 g de cáscara liofilizado y se colocaron en un matraz Erlenmeyer que contenía 400 mL de disolvente (ácido cítrico al 1.06 % en agua destilada). La mezcla se agitó magnéticamente durante 10 min a 25 °C, y se colocó en el baño de ultrasonido durante 24 min a una amplitud de 40 % y a una temperatura no mayor a 30 °C. Después de la extracción, la muestra se centrifugó a 4,000 rpm durante 10 min a 25 °C. El sobrenadante (extracto) se recuperó y se liofilizó a 0.04 mbar a -56 °C durante 72 h y finalmente, se obtuvo el extracto seco de antocianinas (10 g) y se almacenó a -20 °C.

5.1.3. Preparación de microcápsulas de antocianinas utilizando doble emulsión seguido por coacervación compleja

La emulsión primaria (W/O) se preparó siguiendo el procedimiento descrito por Devi et al., (2023) con pocas modificaciones y ensayos preliminares. El aceite de soya (80 mL) se mezcló con 5 g de span 60 (emulsificante lipofílico) mediante agitación magnética a 70 °C durante 10 min. Entonces, la mezcla se dejó enfriar hasta 40 °C y se sometió a homogeneización a 14, 000 rpm durante 2 min utilizando un equipo de dispersión

Ultraturrax IKA® T-18 digital. Inmediatamente, se pesaron 4 g de extracto seco de antocianinas y se aforó en 20 mL de agua destilada. A la mezcla de aceite de soya con span 60, se adicionaron los 20 mL de extracto y se mezcló en Ultraturrax a 15,400 rpm durante 2 min, y finalmente, la emulsión se dejó en agitación magnética durante 3 min.

Los emulsificantes hidrofílicos se mezclaron en una proporción 1:1 (1.5 y 2.0 % p/v de solución goma arábica GA y 1.5 % y 2.0 % p/v de gelatina bovina GB) mediante agitación magnética a 40 °C durante 10 min. La solución se mantuvo a 40 °C en un baño de agua con control de temperatura para uso posterior.

La emulsión W/O (55 y 75 mL) se dispersó en el emulsificante hidrofílico con agitación magnética a 40 °C durante 30 min, mientras el pH de la mezcla se ajustó a 5.5 con NaOH (1 M). Luego, la mezcla se homogeneizó en un Ultraturrax® IKA T-18 a 13, 400 rpm durante 3 min. Los tratamientos por duplicado se resumen en la tabla 13.

Tabla 13. Tratamientos de microencapsulación de antocianinas a distintas concentraciones de polímeros y volumen de emulsión

<i>Tratamiento</i>	<i>Concentración de polímero (%)</i>	<i>Solución emulsión (núcleo) (mL)</i>	<i>Goma arábica (mL)</i>	<i>Gelatina bovina (mL)</i>
T1-55	1.5	55	50	50
T2-75	1.5	75	50	50
T3-55	2.0	55	50	50
T4-75	2.0	75	50	50

Las microcápsulas coacervadas se obtuvieron por el ajuste del valor de pH de la mezcla a 3.7 y 40 °C., utilizando una solución de ácido cítrico (1 M) con agitación magnética constante. La emulsión final se enfrió gradualmente a 10 °C y luego, se almacenó a 7 °C durante 24 h para permitir la separación de fases y el equilibrio. Los sedimentos se recogieron, se almacenaron a -20 °C y se liofilizaron durante 3 d. Las microcápsulas secas se almacenaron en tubos centrífugos protegidos de la luz a -20 °C para caracterizaciones adicionales.

5.1.4 Perfil cromatográfico de antocianinas de los extractos

A) Antocianinas superficiales

Se pesaron 400 mg de microcápsulas y se mezclaron con 10 mL de una solución etanol: metanol (1:1, v/v), agitado en un vortéx durante 1 min y luego, centrifugado durante 5 min a 3,000 rpm a 25 °C. Posteriormente, se recuperó el sobrenadante y se ajustó el volumen a 10 mL con la misma solución extractora (etanol: metanol, 1:1, v/v).

Solución: medir 20 ml de etanol y mezcla en vortéx con 20 mL de metanol (medidos con una probeta de 50 mL).

B) Antocianinas totales

Se pesaron 400 mg de microcápsulas y se aforó con 5 mL de una solución compuesta de metanol: ácido acético: agua destilada (50:1:49, v/v/v). Agitado con un vortéx durante 10 s, y luego se sometió en un proceso de sonicación durante 20 min a 25 °C y 100 % amplitud). Luego, se centrifugó a 4,000 rpm durante 5 min y se recuperó el sobrenadante, el cual se transfirió en un tubo centrífugo. El sedimento (pellet) se sometió a una segunda extracción siguiendo el mismo procedimiento. Posteriormente, se combinaron ambos sobrenadantes de las dos extracciones sucesivas y se ajustó el volumen a 10 mL con el mismo disolvente de extracción (metanol: ácido acético: agua destilada). El contenido de cianidina 3 glucósido se determinó por cromatografía de líquidos.

Solución metanol: ácido acético: agua destilada (50:1:49, v/v/v) Con una probeta de 50 mL, medir 50 mL de metanol absoluto, mezclar con 1 mL de ácido acético más 49 mL de agua destilada. Una vez reunidos todos los disolventes, mezclar con la mano para una completa disolución. Esta mezcla se mete a refrigeración.

C) Condiciones cromatográficas

Luego de extraer las antocianinas totales y superficiales a partir de las microcápsulas, se realizó el análisis mediante el método de HPLC. Las diluciones previas de los extractos para la inyección al HPLC se muestran en la tabla 15. De cada dilución, se tomó 1 mL del extracto y se filtró con filtros de Millipore de 0.45 µm antes de la inyección. Para la dilución de las antocianinas superficiales se tomó 1 ml de la

muestra principal (solución AS preparada) para proceder a su filtración e inyección.; de la misma manera en la dilución de las antocianinas totales Se tomó 1 ml de la muestra principal (solución AT preparada) para proceder a su filtración e inyección. La identificación de las antocianinas fue realizada conforme al método establecido por Collison et al. (2015), con un HPLC Thermo Scientific, modelo Dionex Ultimate 3000. Se tomaron alícuotas de 1 mL de acuerdo con la tabla 15 de diluciones y se filtró con filtro de Millipore de 0.45 μ m. Los extractos se analizaron con las siguientes condiciones cromatográficas: columna Elipse XDB (C18 4.6 μ m x 250 mm). Se utilizó para la separación para las antocianinas se monitorearon a 520 nm a una temperatura de 40 °C; la velocidad de flujo de 0.5 mL/min; el volumen de inyección de 100 μ L; la fase A: Agua ácido fórmico (2 %) y fase B: Acetonitrilo:Metanol (2 %) ácido fórmico y para otros los polifenoles se monitorearon a 280 nm a una temperatura de 40 °C; la velocidad de flujo de 0.5 mL/min; el volumen de inyección de 100 μ L; la fase A: Agua acidificada (1 %) ácido fórmico y fase B: Acetonitrilo (filtrado) 100 %.

6. Resultados y discusión

6.1 Contenido de cianidina 3-glucósido analizado por HPLC

En la figura 23 se muestra el contenido de cianidina 3-glucósido (Cyn-3-g) y la eficiencia de encapsulación de antocianinas del proceso de coacervación compleja, utilizando como materiales de pared la gelatina bovina tipo A y goma arábiga. De manera general, el contenido de AT de las microcápsulas (exterior e interior de la microcápsula) resultó con alta variación entre los tratamientos figura A). El T3 obtuvo una microcápsula con mayor contenido de Cyn-3-g (98.33 mg/100 g), seguido de T1 (88.92 mg/100 g), T4 (82.22 mg/100 g) y T2 (60.92 mg/100 g). Este resultado indica que la microcápsula con mayor contenido de polímeros y un menor volumen de emulsión mejora su contenido de AT. Así mismo, en la figura (B) se encontró que el T3 (22.91 mg/100 g) también obtuvo un mayor contenido de AT superficial (exterior de la cápsula) en comparación a los demás tratamientos (valores entre 10 y 17 mg/100 g).

La eficiencia de encapsulación es uno de los criterios importantes para el mejoramiento de un proceso de microencapsulación (Akhavan Mahdavi et al., 2016). La mayor eficiencia de encapsulación se obtuvo con los tratamientos T1, T2 y T4 en comparación a T3. Este resultado indica que los tratamientos T1, T2 y T4 pueden mejorar el proceso y maximizar la concentración de antocianinas en el interior de la microcápsula. Sin embargo, el T1 tiene la ventaja de utilizar una menor concentración de materiales de pared y volumen de emulsión dentro del proceso de la coacervación compleja, el cual podría reducir el costo de producción de las microcápsulas.

En un estudio realizado por (Pachacutec Apaza, 2024), se utilizó la encapsulación de compuestos fenólicos (103.584 mg/100g) y antocianinas (20.707 mg/100g) proveniente de extractos de mashua morado silvestre, mediante secado por atomización. Estos autores encontraron que el polvo encapsulado obtuvo un mayor contenido de compuestos fenólicos en comparación con las antocianinas.

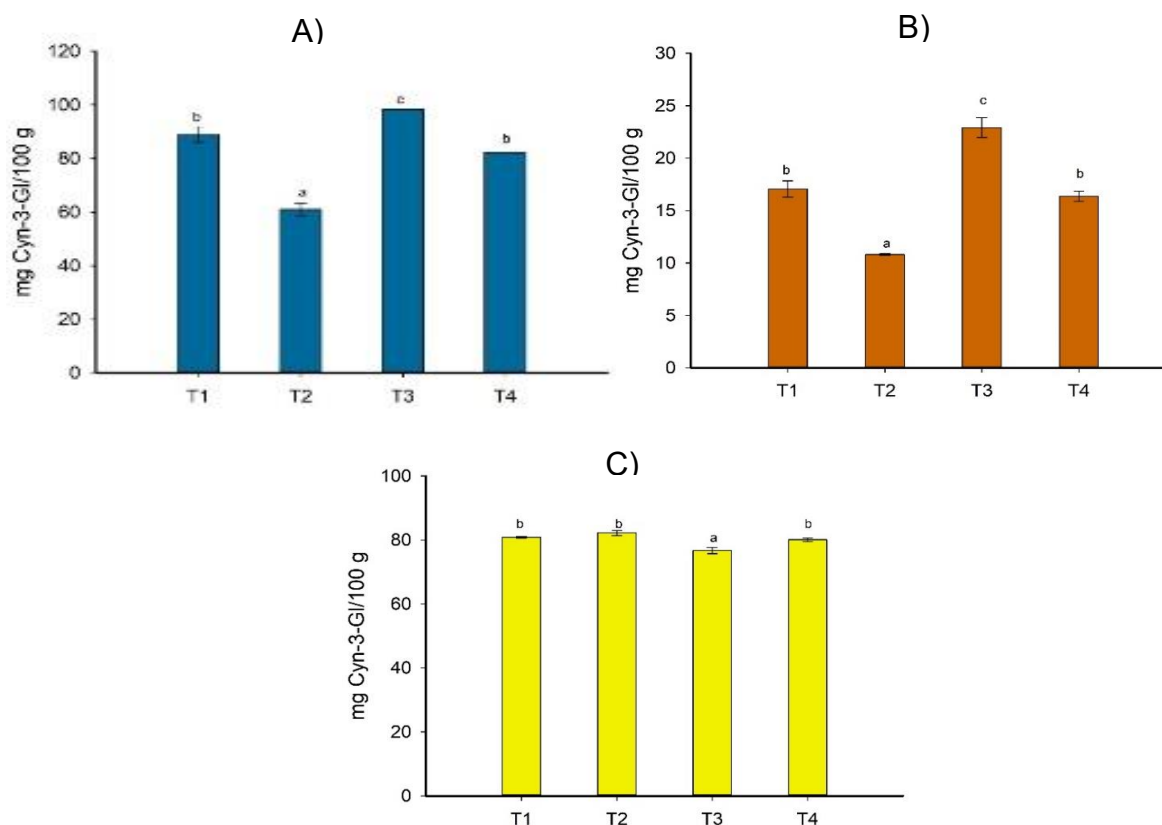


Figura 23. Contenido de cianidina 3-glucósido en microcápsulas de *Chrysophyllum cainito* obtenidas mediante coacervación compleja y la eficiencia de microencapsulación. A= antocianinas totales; B=antocianinas superficiales y C= eficiencia. T1= T1-55 (1.5 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria); T2= T2-75 (1.5 % polímeros y 75 mL de emulsión primaria); T3= T3- 55 (2.0 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria) y T4= T4-75 (2.0 % de polímeros y 75 mL de emulsión primaria).

6.2 Contenido de compuestos fenólicos (mg/100 g) analizado por HPLC

El interés en el estudio de los compuestos fenólicos ha aumentado considerablemente en los últimos años, debido a sus propiedades farmacológicas y efectos terapéuticos (Hernández-Rodríguez et al., 2020).

La Tabla 14 y 15 muestran el contenido promedio de compuestos fenólicos en AS y AT (analizado por HPLC) de encapsulados de *C. cainito*. De manera general, se identificaron siete compuestos fenólicos en AS y AT, las cuales fueron: ácido gálico, 2-4-hidroxifeniletanol, catequina, ácido vanílico, epicatequina, ácido cafeico y vanillina. Se observaron mayores contenidos de compuestos fenólicos individuales en encapsulados de AT en comparación al encapsulado AS. Para AT, el encapsulado T1 obtuvo un mayor contenido de ácido gálico (49.48 mg/100 g), epicatequina (8.98 ± 0.61 mg/100 g) y vanillina (3.35 ± 0.04 mg/100 g) en comparación a T2, T3 y T4. Además, en este mismo tratamiento se reportó el 2-4-hidroxifeniletanol y ácido cafeico (Tabla 15). En AS y comparando los tratamientos, el contenido de ácido gálico, ácido vanílico y epicatequina fue mayor en T1 (4.96 mg/100 g), T3 (15.07 mg/100 g) y T1 (3.69 mg/100 g), respectivamente.

Los compuestos fenólicos identificados (ácido gálico, ácido vanílico, catequina y epicatequina) son comunes en productos naturales como uvas, fresas, vino y chocolate, y están presentes también en encapsulados de antocianinas de la cáscara de caimito. Estos compuestos destacan principalmente por su alta capacidad antioxidante, lo que permite retrasar el deterioro oxidativo en alimentos y preservar su calidad (Dai & Mumper, 2010). Además, poseen propiedades antiinflamatorias, contribuyendo a la prevención de enfermedades degenerativas (Vauzour et al., 2008).

El efecto antimicrobiano de los compuestos fenólicos los convierte en conservadores naturales potenciales, al inhibir el crecimiento de microorganismos y prolongar la vida útil de los productos. Asimismo, se ha documentado su actividad anticancerígena, lo que añade valor funcional y nutracéutico a los alimentos que los contienen (Daglia, 2012).

El contenido de compuestos fenólicos de microcápsulas de AS es comparable a lo reportado por Cadena-Cadena et al. (2024) en microcápsulas de maíz morado, quienes informaron presencia de ácido gálico (5.50 ± 0.99 mg/100 g), catequina (17.00 ± 0.99 mg/100 g) y ácido cafeico (20.63 ± 0.99 mg/100 g). Estos resultados destacan la riqueza de *C. cainito* como fuente natural de compuestos fenólicos, así como la eficacia del método de coacervación compleja para la protección y estabilización de compuestos fenólicos individuales.

Tabla 14. Contenido de compuestos fenólicos individuales (mg/100 g) de AS de microcápsulas de *C. cainito* obtenidos por coacervación compleja

Tratamiento	Ácido gálico	2-4 Hidroxifenil etanol	Catequina	Ácido Vanílico	Epicatequina	Ácido Cafeico	Vanillina
T1	4.96±0.24	ND	ND	13.16±0.63	3.69±0.17	ND	1.80±0.05
T2	3.46±0.21	ND	ND	10.00±0.61	2.31±0.14	ND	1.23±0.08
T3	3.84±0.21	ND	ND	15.07±0.82	1.32±0.07	ND	1.70±0.09
T4	3.67±0.15	ND	ND	8.36±0.34	ND	ND	1.03±0.04

ND= No Detectado.

T1= T1-55 (1.5 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria); T2= T2-75 (1.5 % polímeros y 75 mL de emulsión primaria); T3= T3- 55 (2.0 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria) y T4= T4-75 (2.0 % de polímeros y 75 mL de emulsión primaria).

Tabla 15. Contenido de compuestos fenólicos individuales (mg/100 g) de AT de microcápsulas de *C. cainito* obtenidos por coacervación compleja

tratamientos	Ácido gálico	2-4 Hidroxifenil etanol	Catequina	Ácido Vanílico	Epicatequina	Ácido Cafeico	Vanillina
T1	49.48±10.61	0.87±0.69	4.98±0.74	27.84±0.18	8.98±0.61	1.95±0.09	3.35±0.04
T2	13.86±0.84	ND	5.87±0.28	25.53±1.22	7.50±0.36	ND	2.19±0.11
T3	11.32±0.39	ND	6.89±0.24	23.27±0.80	3.17±0.11	ND	2.62±0.09
T4	8.68±0.36	ND	5.31±0.22	22.69±0.94	1.62±0.07	ND	2.04±0.08

ND=No Detectado.

T1= T1-55 (1.5 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria); T2= T2-75 (1.5 % polímeros y 75 mL de emulsión primaria); T3= T3- 55 (2.0 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria) y T4= T4-75 (2.0 % de polímeros y 75 mL de emulsión primaria).

En la tabla 16 se presenta los porcentajes de la eficiencia de encapsulación de compuestos fenólicos individuales en las microcápsulas de *C. cainito* obtenidas mediante coacervación compleja. Los valores de la eficiencia de encapsulación de los compuestos fenólicos de *C. cainito* fueron diferentes entre tratamientos. El tratamiento T1 registró las mayores eficiencias de encapsulación en la mayoría de los compuestos analizados, destacando el ácido gálico (89.68 %), 2-4 hidroxifeniletanol (100%), catequina (100%), ácido cafeico (100%) y vanillina (46.15%).

Todos los tratamientos tuvieron 100 % de eficiencia de encapsulación para catequina. El tratamiento T2 y T4 tuvieron valores similares de eficiencia de encapsulación para ácido vanílico (~ 60 %). El T4 (100 %) exhibió la mayor eficiencia de encapsulación de epicatequina en comparación a los otros tratamientos. Todos los tratamientos resultaron con una eficiencia de encapsulación similar de vanillina (~40 %).

En general, los resultados indican que la combinación de concentración de polímeros y volumen de emulsión primaria tiene efecto significativo sobre la eficiencia de encapsulación de compuestos fenólicos individuales, y que el tratamiento T1 resulta

ser más favorables para retener una mayor diversidad de compuestos en las microcápsulas.

Tabla 16. Eficiencia de encapsulación (%) de compuestos fenólicos individuales de microcápsulas de *C. cainito* obtenidos por coacervación compleja

Tratamientos	Ácido gálico	2-4 Hidroxifenil etanol	Catequina	Ácido Vanílico	Epicatequina	Ácido Cafeico	Vanillina
T1	89.68±2.69	100.00±0.00	100.00±0.00	52.74±1.94	58.79±4.73	100±0.0	46.15±2.20
		0	0			0	
T2	74.91±3.02	ND	100±0.00	60.73±4.27	69.09±3.34	ND	43.59±6.31
T3	66.03±3.05	ND	100±0.00	35.16±5.76	58.35±3.79	ND	34.95±5.88
	9						
T4	57.68±0.01	ND	100±0.00	63.16±0.01	100±0.00	ND	49.58±0.08

ND= No Detectado. T1= T1-55 (1.5 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria); T2= T2-75 (1.5 % polímeros y 75 mL de emulsión primaria); T3= T3- 55 (2.0 % polímeros y 55 mL de emulsión primaria) y T4= T4-75 (2.0 % de polímeros y 75 mL de emulsión primaria).

7. Conclusión

- Se determinó que el 1.5 % de ambos materiales de pared (gelatina bovina tipo A y goma arábica) tuvo la mayor eficiencia de encapsulación de cianidina 3-glucosido de *C. cainito* en el proceso de coacervación compleja.
- Los compuestos fenólicos presentes en la cáscara de *C. cainito* como el ácido gálico, 2-4 hidroxifenil etanol, catequina, ácido vanílico, epicatequina, ácido cafeico y vanillina fueron encapsulados utilizando doble emulsión seguido de la coacervación compleja.
- De todos los tratamientos de encapsulación, el tratamiento T1 (1.5 % de ambos polímeros) mostró la mayor eficiencia de encapsulación de compuestos fenólicos de la cáscara de *C. cainito*, destacando en la retención de ácido gálico, 2-4 hidroxifenil etanol, catequina y ácido cafeico.
- Se demostró el rol que juega el porcentaje de la gelatina bovina y goma arábica; además del volumen de la emulsión en la encapsulación de las antocianinas y compuestos fenólicos de la cáscara de *C. cainito*.
- . Se concluye que la coacervación compleja es una estrategia eficaz y económica para el aprovechamiento de la cáscara de caimito, al permitir el desarrollo de microcápsulas con alto potencial antioxidante.

8. Bibliografía

Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>

Antonio Gómez, M. V. (2015). *ESTABILIDAD DE LAS ANTOCIANINAS MICROENCAPSULADAS DE Ardisia compressa K. EN UNA BEBIDA ISOTÓNICA*. Instituto de Enseñanza e Investigación de Ciencias Agrícola.

Bautista Delgado, M. K. (2016). PERSPECTIVA ACTUAL DE LOS POLIFENOLES EN MÉXICO. *Investigadora en el Departamento de Gastroenterología, del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán*.

Bernal Catañeda, B. E., Dominguez Gomez, D., Enríquez cerda, N. A., & Guevara García, A. (2010). *Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) Partes del equipo* [Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología]. file:///C:/Users/Ceci/Downloads/29466592-HPLC-Partes-Del-Equipo.pdf

Bhagya Raj, G. V. S., & Dash, K. K. (2022). Microencapsulation of betacyanin from dragon fruit peel by complex coacervation: Physicochemical characteristics, thermal stability, and release profile of microcapsules. *Food Bioscience*, 49, 101882. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101882>

Carranza Zúñiga, J. T. (2020). *Caracterización Morfológica y Físico Químico del Caimito (Chrysophyllum cainito L.), en la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP*. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/50333/1/Carranza%20Z%c3%ba%c3%bliga%20Joselyn%20Tatiana.pdf>

Chel Guerrero, L. D. (2018). *El fruto maduro, es mucilaginoso, se como para calmar la inflamación de la laringitis y la neumonía. La corteza es considerada como un tónico y estimulante que se utiliza para combatir la tos. La infusión de las hojas se ha utilizado contra diabetes, artritis entre otros.* [Instituto Tecnológico de Mérida.]. <https://www.researchgate.net/profile/Lilian-Chel->

Guerrero/publication/331233197_Evaluacion_del_Potencial_Farmacologico_de_los_Extractos_Metanolicos_de_Cascaras_de_Frutas_Tropicales_Annona_squamosa_L_saramuyo_Annona_reticulata_L_anona_Chrysophillum_cainito_L_caimito_y_Melicoccus_b/links/5c6d8acb4585156b570d2d18/Evaluacion-del-Potencial-Farmacologico-de-los-Extractos-Metanolicos-de-Cascaras-de-Frutas-Tropicales-Annona-squamosa-L-saramuyo-Annona-reticulata-L-anona-Chrysophillum-cainito-L-caimito-y-Melicoccus.pdf

Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 87. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>

Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007>

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

De Araújo, F. F., De Paulo Farias, D., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2021). Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. *Food Chemistry*, 338, 127535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127535>

Gimeno creus, E. (2004). *Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud*. 23(6), 80-84. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35101196/Compuestos_fenolicos-libre.pdf?1413165699=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAMBITO_FARMACEUTICO.pdf&Expires=1718824590&Signature=KTuF89vSweZq-S5q4ESimwkBmlXaZtDDwEuYPIC7U7Rxb34OwaW1XyfS9nsgEuDf78Qf77J8stoSFJaMqFEHL-pERUIB84h3-j6hvvUCn4chakdUbNYfYgrlwrh1dL3gpGbbQDRsyGwiWycnHeYVGhZKKijJacobof26eRIHjND439LMjHLPZd~nHCm9n4XlZAQKhTrhRg5qi3ZeKIlp6Jvs-zXJHopeb8B5eTCXg1wtGCjHRezGzy~4fyfUW9OsGvI-G96HKSU58JMnqcXSPAk8obPAcVll-r~WqNa-

OWpqnC3uZ694mkLBwmISzIoLgKOapaKr5HOcdUHNv9SAw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Gomez Marquez, I. C., & Urrea Ciro, O. N. (2016). *Determinación de las propiedades bromatológicas, fisicoquímicas, termofísicas y mecánicas del caimito (chrysophyllum cainito l) variedad morado cultivado en el departamento de córdoba y antioquia* [de Córdoba]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/20b63068-6f86-41b2-9fba-c91c9ec4c31c/content>

Guevara-Bretón, N. A., & Jiménez – Munguía, M. T. (2017, septiembre 15). Materiales utilizados en la encapsulación. *Revista de Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos de la UDLAP*, 2(22-27), 6.

Guzmán Pérez, V., & Calderón P., Y. M. (2019). *Compuestos Bioactivos en Alimentos Funcionales y Suplementos Alimenticios: Rol en la Salud, Prevención de Enfermedades y Regulación en Latinoamérica y El Mundo*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. <https://infoalimentarios.files.wordpress.com/2020/05/compuestos-bioactivos2020.pdf>

Habibi, A., Keramat, J., Hojjatoleslami, M., & Tamjidi, F. (2017). Preparation of Fish Oil Microcapsules by Complex Coacervation of Gelatin–Gum Arabic and their Utilization for Fortification of Pomegranate Juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12385. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12385>

Hernandez Nava, R., & Jimenez Munguía, M. T. (2018). *Coacervación compleja: Una alternativa como método de microencapsulación*. 7. file:///C:/Users/Ceci/Downloads/TSIA-Vol11-HernandezNava.pdf

Hernández-Rodríguez, S., Quiroz-Reyes, C. N., Ramírez-Ortiz, M. E., Ronquillo-de Jesús, E., & Aguilar-Méndez, M. Á. (2020). Optimización del proceso de extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de Justicia spicigera Schltdl. Mediante la metodología de superficie de respuesta. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.246>

Hurtado, N. H., & Pérez, M. (2014). Identificación, Estabilidad y Actividad Antioxidante de las Antocianinas Aisladas de la Cáscara del Fruto de Capulí (*Prunus serótina* spp capuli (Cav) Mc.

Vaug Cav). *Información Tecnológica*, 25(4), 131-140. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000400015>

Jain, A., Thakur, D., Ghoshal, G., Katare, O. P., & Shivhare, U. S. (2016). Characterization of microcapsulated β -carotene formed by complex coacervation using casein and gum tragacanth. *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.117>

Ku Canul, C. Y. (2021). *Extracción, Características y Estabilidad de las Antocianinas de la Cascara de Chrysophyllum cainito L., Cultivado en Yucatán* [Instituto Tecnológico de Mérida.]. <http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/3632/1/Cindially%20Yuliet%20Ku%20Canul%20885600.pdf>

Mansour, M., Salah, M., & Xu, X. (2020). Effect of microencapsulation using soy protein isolate and gum arabic as wall material on red raspberry anthocyanin stability, characterization, and simulated gastrointestinal conditions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104927>

Marina de Bayo, A. G., & Yusá Marco, D. J. (2016). *HPLC intrumental*. universidad politécnica de valencia. https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/0fc53ce9-a267-4235-85bb-31be388412c0/TOC_0360_11_01.pdf?guest=true

Moreno, Y. S., Ruiz, J. S., & Trujillo, E. E. (2010). *Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36398.82241>

Moscoso Moscoso, E. (2014). *Determinacion de la Capacidad Antioxidante y Compuestos Bioactivos de Cinco Clones de Papa Nativa (Solanum tuberosum) y del Pure Deshidratado*. [Nacional Jose Maria Arguedas]. <https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/209/15-2014-EPIA-Moscoso%20Moscoso-capacidad%20antioxidante.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttps://repositorio.unajma.edu.pe/bi>

tstream/handle/20.500.14168/209/15-2014-EPIA-Moscoso%20Moscoso-capacidad%20antioxidante.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mosquera Vivas, E. S., Ayala Aponte, A. A., & Serna Cock, L. (2023). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 21. file:///C:/Users/Ceci/Downloads/2223-Encapsulaci%C3%B3n+Mosquera.revisi%C3%B3n.19062023+(7).pdf

Mujica V., M., Granito, M., & Soto, N. (2012). Variación de los compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* L. durante el almacenamiento y su relación con el endurecimiento. *universidad Simón Bolívar*, 3(24), 163-174. <https://ve.scielo.org/pdf/ba/v24n3/art02.pdf>

Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>

Nava Reyna, E., Álvarez, G., Iliná, A., & Martínez Hernández, J. L. (2015). *Microencapsulación de componentes bioactivos*. 23(66), 64-70.

Nogales Herrera, C. (2017). *Propagación del caimito (Chrysophyllum cainito L.) por estacas subterminales con hojas* [CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/d812a223-94d8-4418-b956-bb25f38b5040/content>

Pachacutec Apaza, P. (2024). ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS Y FENOLES TOTALES DE EXTRACTOS DE MASHUA SILVESTRE MORADO POR EL MÉTODO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA*, 91. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/21284/Pachacutec_Apaza_Pastor.pdf;jsessionid=2C689CCE4CDDCF3AFED416912665D2AE?sequence=1

Padilla, F. C., Rincón, A. M., & Bou-Rached, L. (2008). *Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces*. 58(3). <https://www.alanrevista.org/ediciones/2008/3/art->

Sukri, N., Putri, T. T. M., Mahani, & Nurhadi, B. (2023). Characteristics of propolis encapsulated with gelatin and sodium alginate by complex coacervation method. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 696-707. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2179635>

Tamjidi, F., Nasirpour, A., & Shahedi, M. (2013). Mixture Design Approach for Evaluation of Fish Oil Microencapsulation in Gelatin-Acacia Gum Coacervates. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 62, 444-449. <https://doi.org/10.1080/00914037.2012.719138>

Vargas Fajardo, C. J. (2020). *DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS FENOLICOS EN FLORES DE TARAXACUM OFFICINALE, MEDIANTE HPLC-DAD-MS Y ENSAYOS COLORIMETRICOS UV-VIS*. Laboratorio de técnicas analíticas avanzadas en productos naturales (LATNAP).

Vauzour, D., Vafeiadou, K., Rodriguez-Mateos, A., Rendeiro, C., & Spencer, J. P. E. (2008). The neuroprotective potential of flavonoids: A multiplicity of effects. *Genes & Nutrition*, 3(3-4), 115-126. <https://doi.org/10.1007/s12263-008-0091-4>

Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J. D., García-Cabrera, K. E., & Velázquez-Ovalle, G. (2022a). Capacidad antioxidante: Conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>

Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J. D., García-Cabrera, K. E., & Velázquez-Ovalle, G. (2022b). Capacidad antioxidante: Conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>

Volonté, M. G. (2013). *Análisis Farmacéutico*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

Zambrano, J., Montilla, N., Riveros, R., Quintero, I., Maffei, M., Valera, A., & Materano, W. (2013, noviembre 20). *CARACTERIZACIÓN DE FRUTOS DE CAIMITO (CHRYSOPHYLLUM CAÍNITO L) VARIEDADES VERDE Y MORADO E INFLUENCIA DE LA ÉPOCA DE COSECHA EN LA CALIDAD DE LOS FRUTOS*. 12 (27)(287-294).

<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/38655/articulo6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos

Perfil de antocianinas de microcápsulas de *C. cainito* (AT Y AS)

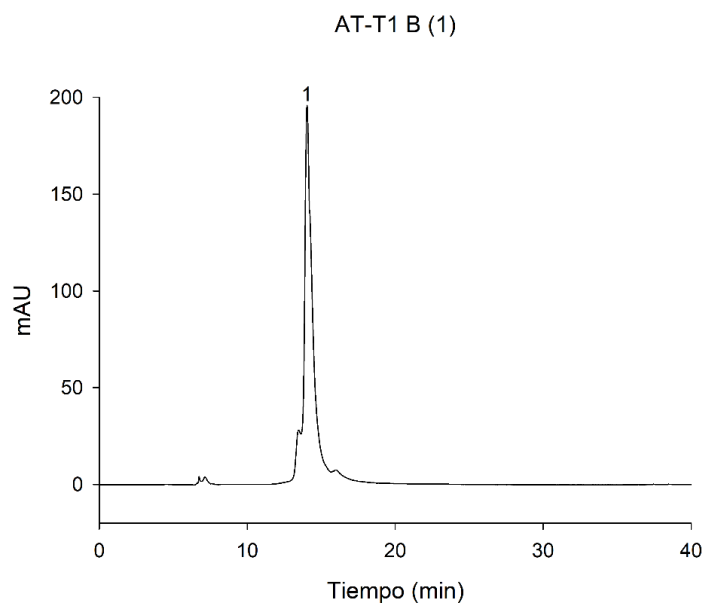


Figura 24. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de *C. cainito* de AT del tratamiento 1. **1)** Acido Gálico.

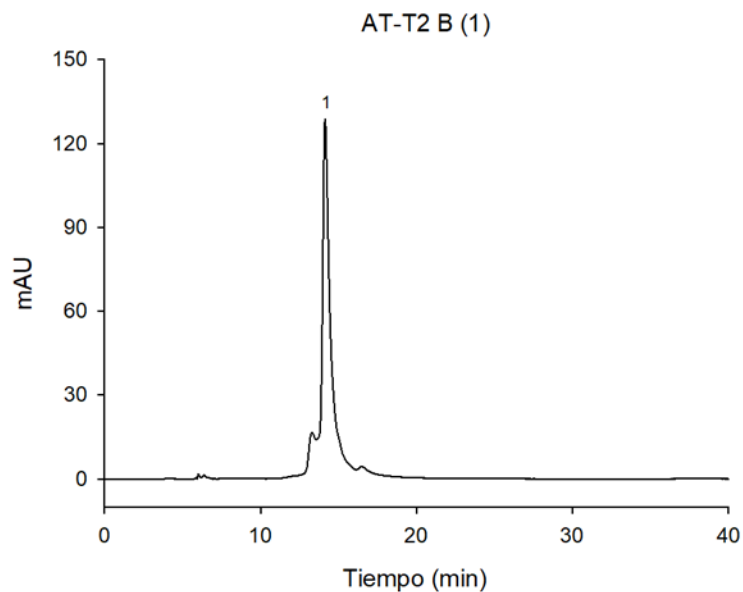


Figura 25. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de *C. cainito* de Cromatograma de antocianinas *C. cainito* de microcápsulas de AT del tratamiento 2. **1)** Acido Gálico.

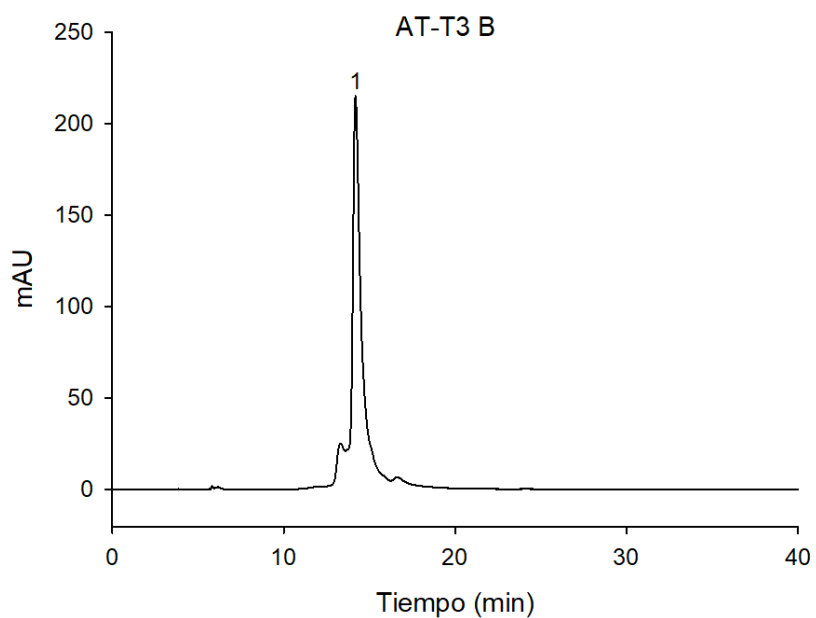


Figura 26. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de *C. de AT* del tratamiento 3. **1)** Acido Gálico.

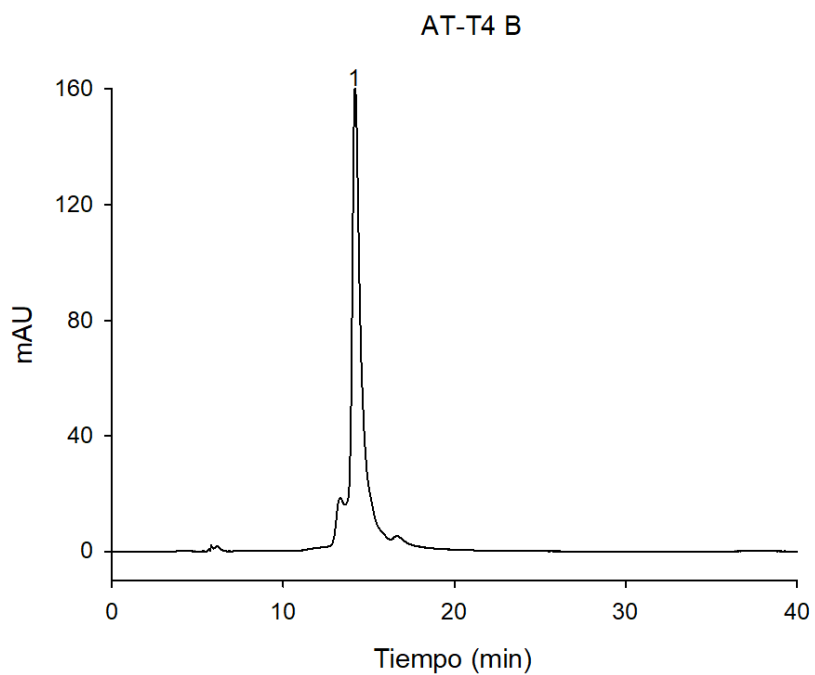


Figura 27.

Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de *C. de AT* del tratamiento 4. **1)** Acido Gálico.

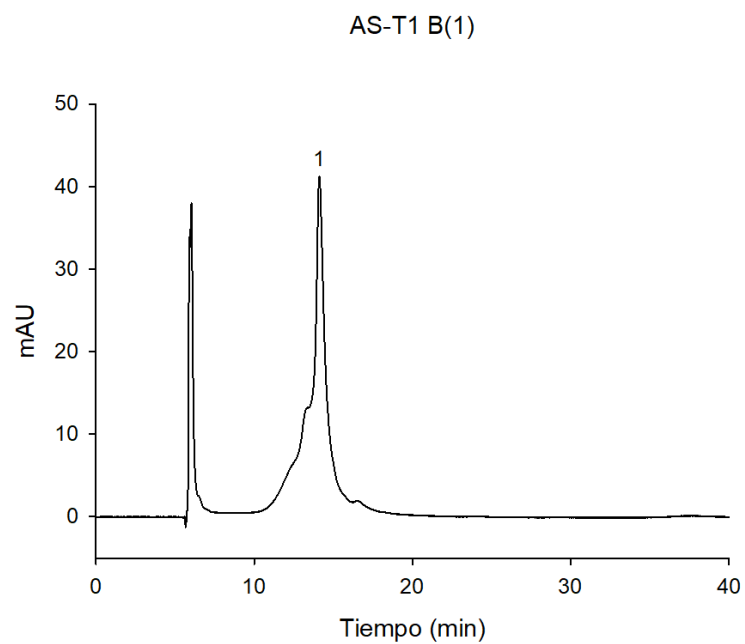


Figura 28. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto
fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 1.1) Acido Gálico.

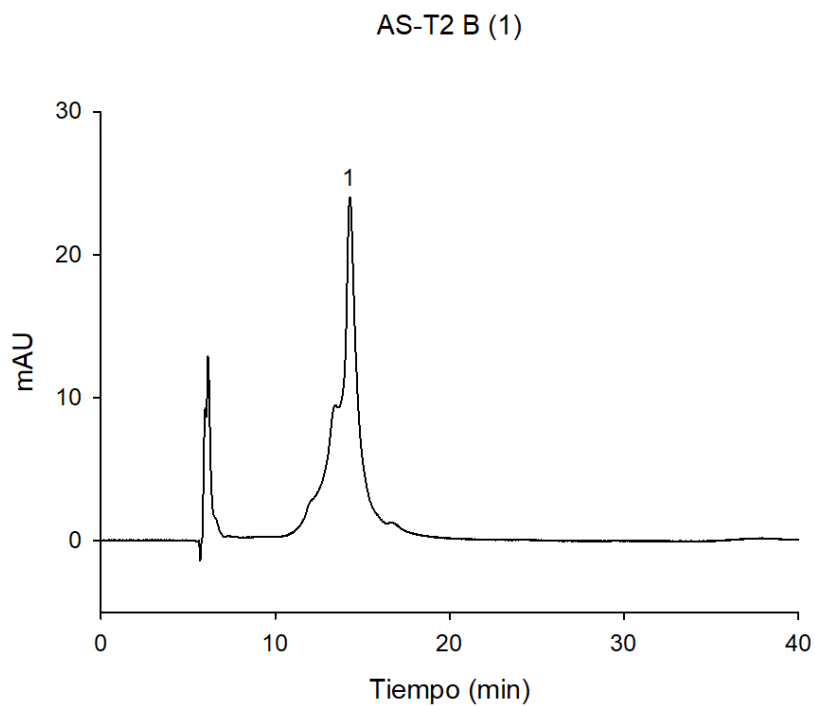


Figura 29. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto
fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 2.1) Acido Gálico.

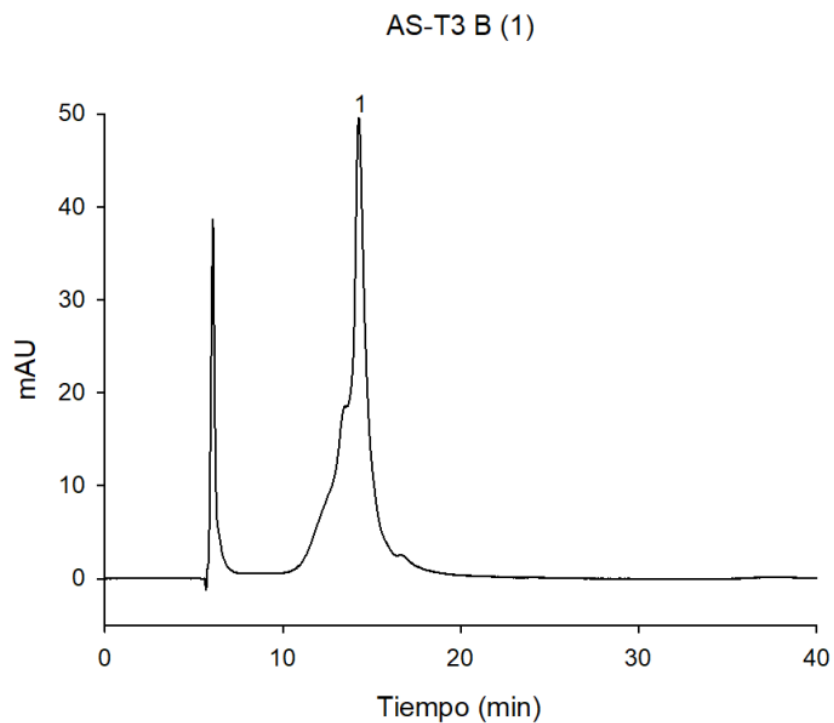


Figura 30. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 3.1) Acido Gálico.

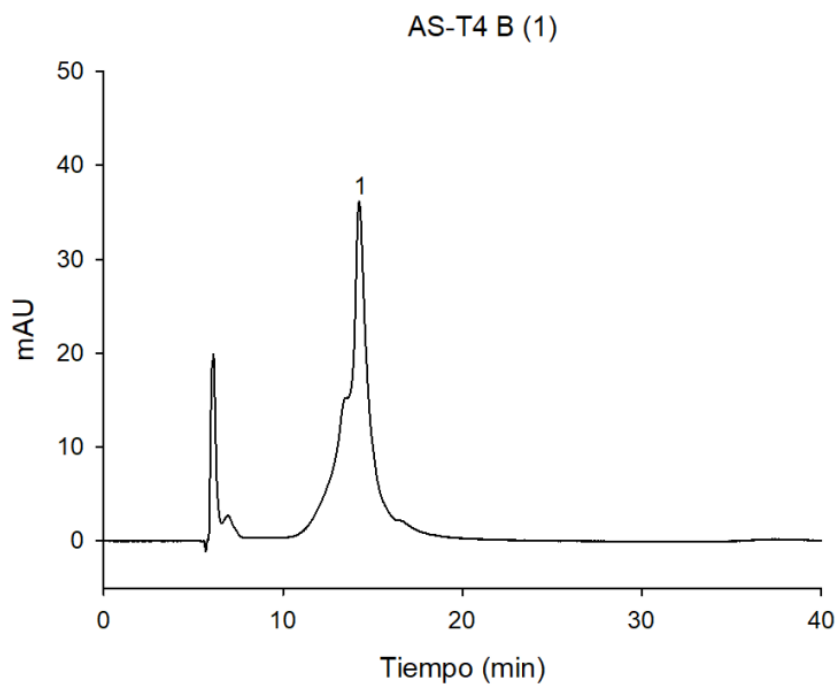


Figura 31. Cromatograma de compuestos fenólicos de microcápsula de extracto fenólico de microcápsulas de C. de AS del tratamiento 4.1) Acido Gálico.

Perfil de polifenoles de microcápsulas de *C. cainito* (AT Y AS)

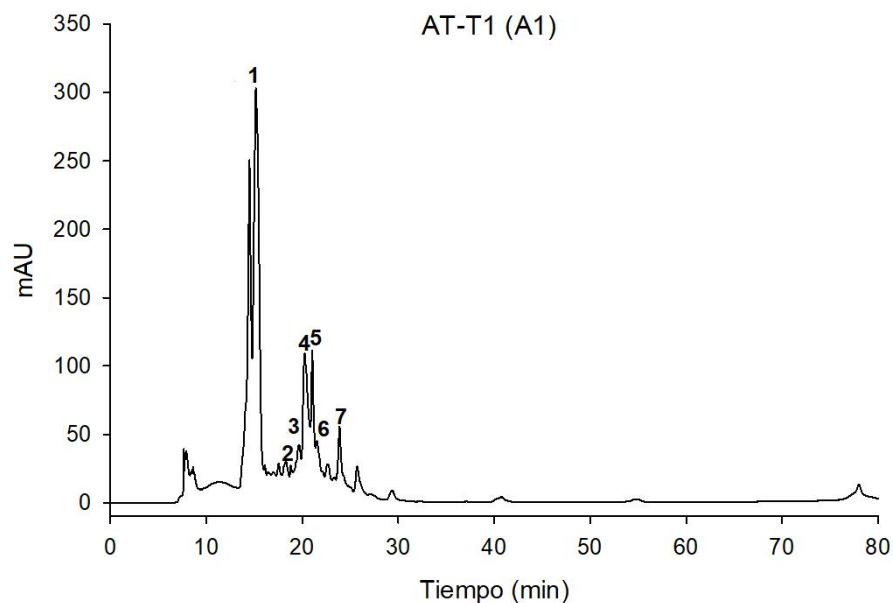


Figura 32. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AT del tratamiento 1) Acido gálico. 2) 2-4 Hidroxifenol etanol. 3) Catequina. 4) Acido Vanílico. 5) Epicatequina. 6) Acido Cafeico. 7) Vanillina

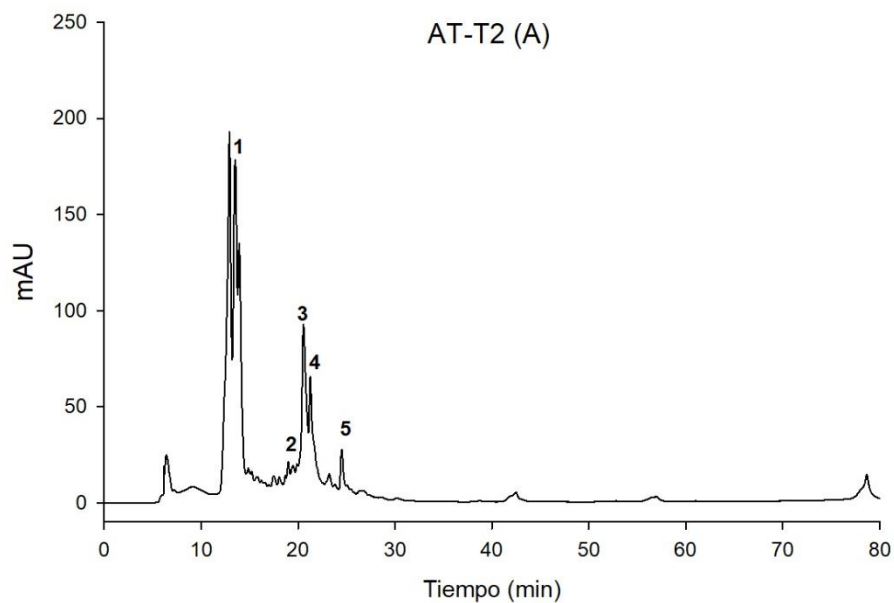


Figura 33. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AT del tratamiento 2. 1) Acido gálico. 2) Catequina 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina

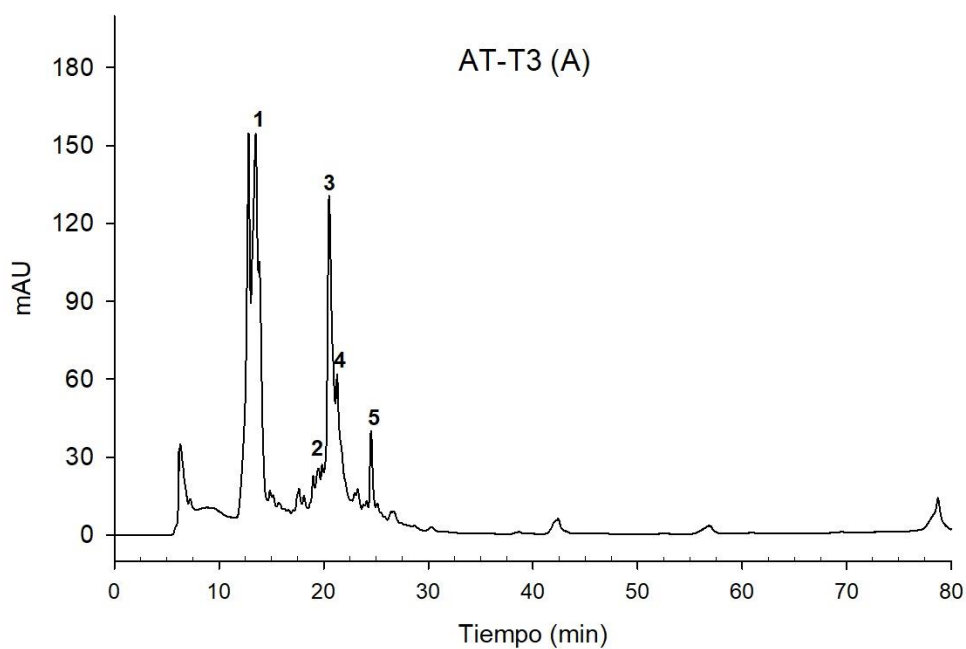


Figura 34. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AT del tratamiento 3. 1) Acido gálico. 2) Catequina. 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina

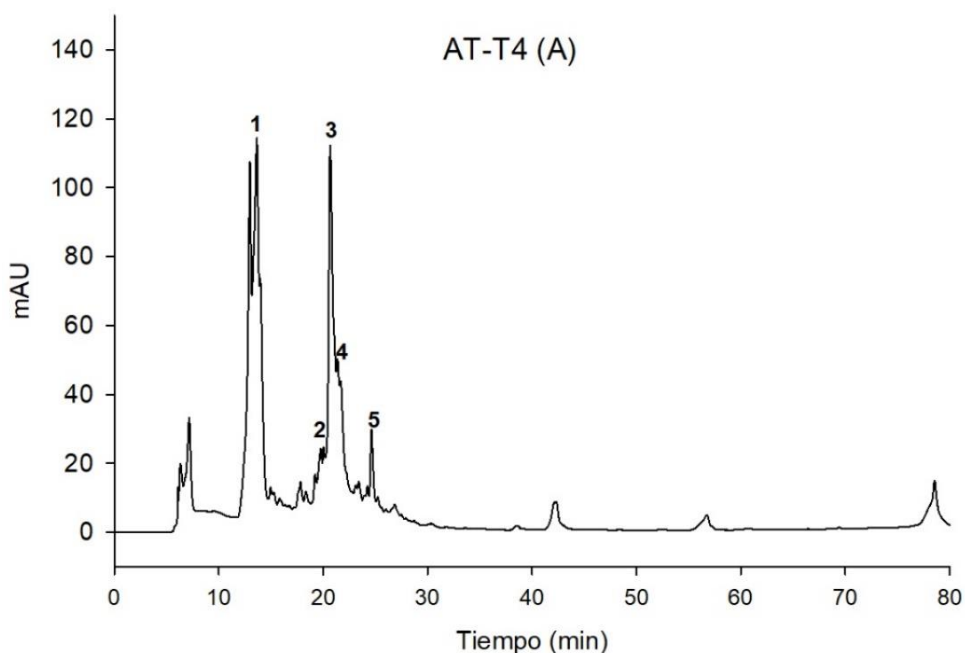


Figura 35. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AT del tratamiento 4. 1) Acido gálico. 2) Catequina. 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina

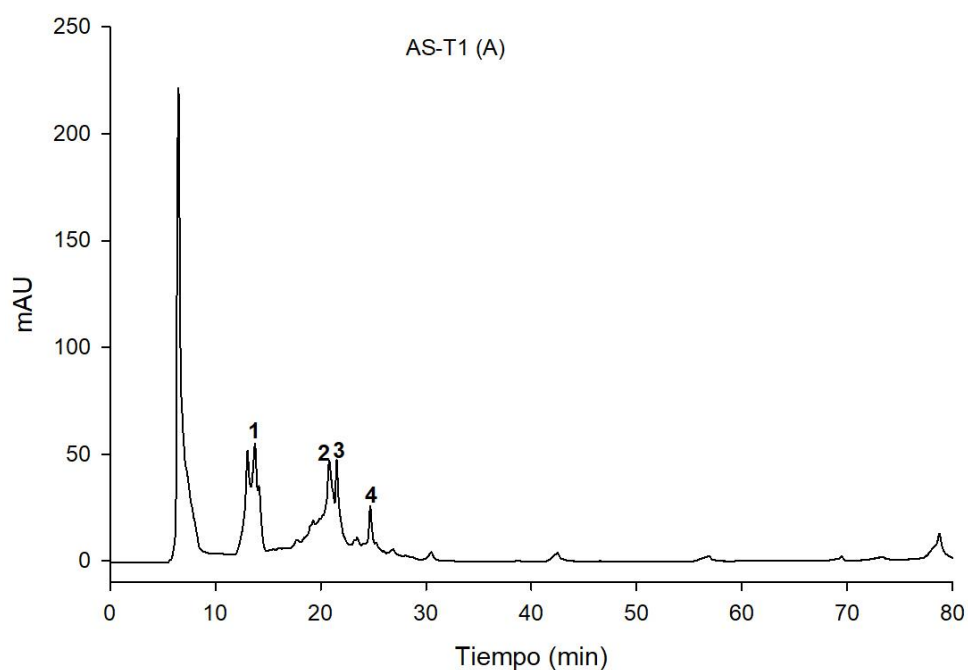


Figura 36. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AS del tratamiento 1. 1) Acido gálico. 2) Acido Vanílico. 3) Epicatequina. 4) Vanillina

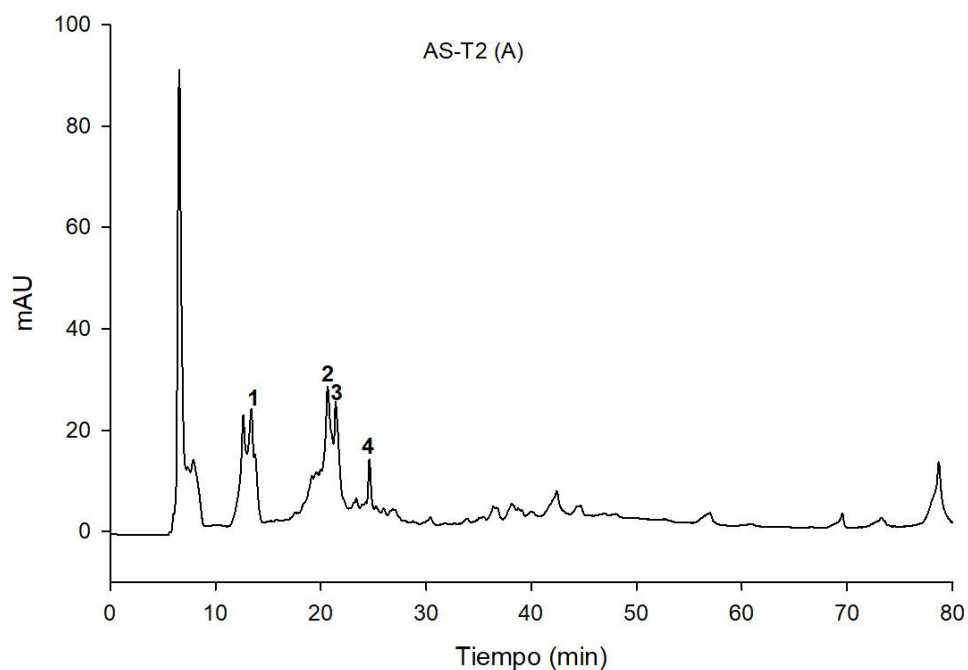


Figura 37. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AS del tratamiento 2. 1) Acido gálico. 2) Acido Vanílico. 3) Epicatequina. 4) Vanillina

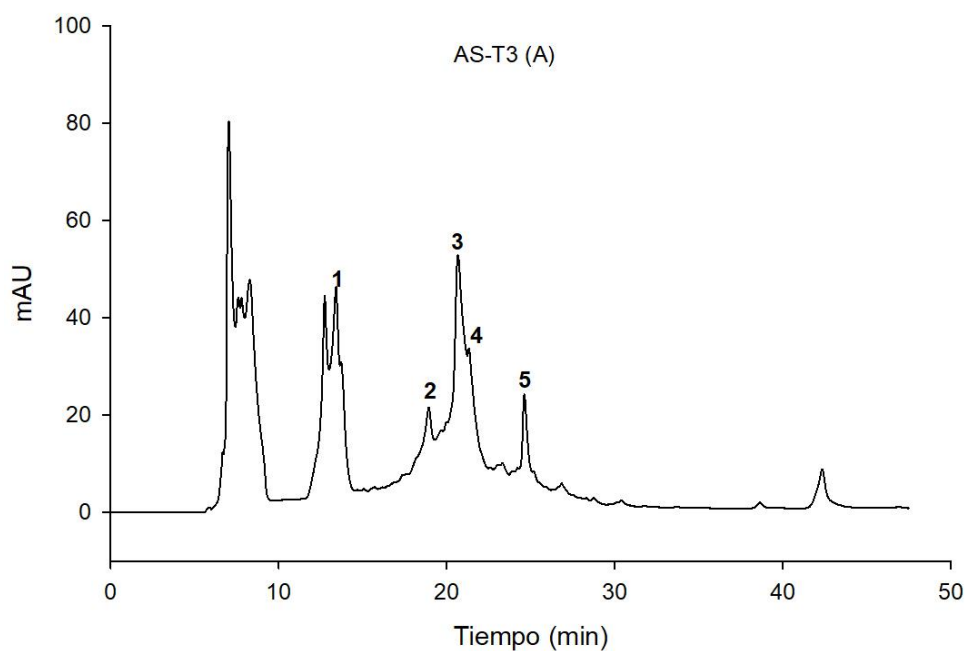


Figura 38. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AS del tratamiento 3. 1) Acido gálico. 2) 2-4-Hidroxifenil etanol 3) Acido Vanílico. 4) Epicatequina. 5) Vanillina

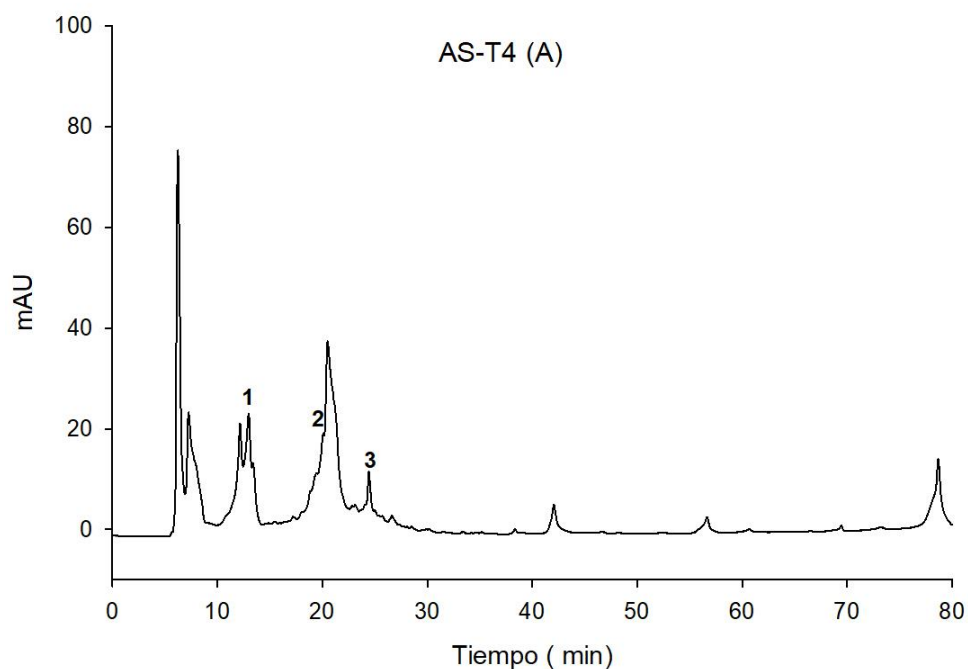


Figura 39. Cromatograma de polifenoles en *C. cainito* de microcápsulas de AS del tratamiento 4. 1) Ácido Gálico 2) Ácido Vanílico 3) Vanillina