

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN QUÍMICA COHORTE 2021

Tema: Elaboración de un microencapsulado de vitamina E (D-alfa tocoferol), vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina B₂ (riboflavina) mediante secado por aspersión.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de
Magíster en Química

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyectos de Desarrollo

Autora: Ing. Vanessa Alexandra Navas Enríquez

Director: Ing. Orestes Darío López Hernández Ph.D

Ambato – Ecuador
2024

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Magíster, e integrado por los señores: Ingeniera. Nelly del Pilar Pazmiño Miranda Magister, Licenciada Danae Fernández Rivero Máster, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: “Elaboración de un microencapsulado de vitamina E (D-alfa tocoferol), vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina B₂ (riboflavina) mediante secado por aspersión” elaborado y presentado por la señora Ingeniera Vanessa Alexandra Navas Enríquez, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Química; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Firmado electrónicamente por:
**ELSA PILAR URRUTIA
URRUTIA**

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**NELLY DEL PILAR
PAZMIÑO MIRANDA**

Ing. Nelly del Pilar Pazmiño Miranda, Mg.
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**DANAE FERNÁNDEZ
RIVERO**

Lic. Danae Fernández Rivero, M.Sc.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: Elaboración de un microencapsulado de vitamina E (D-alfa tocoferol), vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina B₂ (riboflavina) mediante secado por aspersión., le corresponde exclusivamente a: Ing. Vanessa Alexandra Navas Enríquez, Autora bajo la Dirección de Ing. Orestes Darío López Hernández Ph.D., Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

VANESSA
ALEXANDRA
NAVAS
ENRIQUEZ

Firmado digitalmente
por VANESSA
ALEXANDRA NAVAS
ENRIQUEZ
Fecha: 2024.05.21
17:42:01 -05'00'

Ing. Vanessa Alexandra Navas Enríquez

c.c.: _1722643333

AUTORA



Firmado electrónicamente por:
ORESTES DARIO LOPEZ
HERNANDEZ

Ing. Orestes Darío López Hernández Ph.D

c.c.: 1754784864

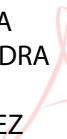
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

VANESSA
ALEXANDRA
NAVAS
ENRIQUEZ



Firmado digitalmente
por VANESSA
ALEXANDRA NAVAS
ENRIQUEZ
Fecha: 2024.05.21
17:42:40 -05'00'

Ing. Vanessa Alexandra Navas Enríquez
c.c.:1722643333

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....	i
A la Unidad Académica de Titulación.....	ii
Capítulo I.....	12
Introducción.....	12
Justificación.....	13
Objetivos.....	14
Capítulo II.....	15
Antecedentes Investigativos.....	15
Fundamentación Científica.....	17
Capítulo III.....	21
Marco Metodológico.....	21
Capítulo IV.....	25
Resultados y Discusión	25
Espectrofotometría por transformada de Fourier.....	27
Calorimetría diferencial de barrido.....	33
Rendimiento del microencapsulado.....	35
Eficiencia de microencapsulación.....	36
Optimización de variables.....	36
Capítulo V.....	37
Conclusiones.....	37
Recomendaciones.....	37
Referencias Bibliográficas.....	38
Anexos.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Técnicas de microencapsulación	16
Formulaciones en porcentaje.....	21
Gramaje de materiales de pared y vitaminas.....	22
Condiciones de temperatura de entrada y salida del secador por aspersión.....	25
Proporciones de vitamina C, E y B2 en suplementos y complementos comerciales y valor diario recomendado.....	26
Rendimiento de los microencapsulados.....	35
Eficiencia de la microencapsulación	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Estructura α -tocoferol 18.....	18
Fórmula del ácido ascórbico 18.....	18
Fórmula de la vitamina B2 19.....	19
Espectro de microencapsulados comparados con la vitamina E.....	27
Tratamiento 1.....	28
Tratamiento 2.....	29
Tratamiento 3.....	29
Tratamiento 4.....	30
Tratamiento 5.....	31
Tratamiento 6.....	31
Microencapsulados vs mezcla polimérica.....	32
Emulsión y Homogenización.....	42
Equipo de secado por aspersión.....	42
Secado por aspersión del microencapsulado.....	43
Recolección de polvo de microencapsulado.....	43
Análisis del microencapsulado en FTIR.....	44
Análisis de muestra microencapsulada en DSC.....	44

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien siempre guía mi camino y a las personas que han estado en los momentos más difíciles:

A mi familia a quienes amo mucho: Carmita, Laura, Jorge, Paúl, Jorgito y Joshua.

A mi director de trabajo de titulación Dr. Orestes López por su ayuda incondicional.

A mis Evaluadores: Pilar y Danae por su apoyo y buena voluntad.

A mis compañeros y amigos de la maestría: Leonel, Maritza, Teobaldo, Tatiana y Marlon quienes fueron una luz en un momento muy complicado de mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato por abrirme las Puertas, principalmente a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, electrónica e Industrial junto a su coordinador y su equipo profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres:
Carmita Enríquez quien me ha guiado con su ejemplo
y ahora me acompaña desde el cielo.
A mi Padre Jorge Navas quien siempre ha sido un
pilar fundamental en mi vida.
A mi Abuelita Laura quien me ha dado apoyo y amor.
A mis hermanos Jorge y Paúl, quienes tienen un gran
corazón y son mi apoyo.
A mi esposo Joshua quien es mi amigo y compañero de
vida.

RESUMEN EJECUTIVO

A nivel mundial los alimentos procesados han seguido creciendo frente a la demanda y por contraparte la nutrición ha decrecido debido a que, a pesar de la adición vitamínica a estos productos, el mal manejo hace que las vitaminas se pierdan, por esta razón, se buscan métodos para mejorar la estabilidad de los nutrientes, una de las técnicas para ello es la microencapsulación, la cual es una opción viable tanto para minerales, sabores, aromas y vitaminas. La finalidad de esta investigación fue elaborar un microencapsulado de vitamina E (D-alfa Tocoferol), C (ácido ascórbico) y B₂ (riboflavina) mediante secado por aspersión, para los materiales de pared se utilizó maltodextrina y goma arábica, las vitaminas puras utilizadas fueron comerciales, donde se estudiaron relaciones de maltodextrina-goma arábica (25 %-75 %, 50 %-50 %, 75 %-25 %) respectivamente para la matriz polimérica, también se evaluó la carga de vitamina E 10 % y 20 %, de la vitamina C 1,5 g -3 g y de la vitamina B₂ 0,16 g y 0,32 g . La efectividad de la microencapsulación se analizó cualitativamente mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y cuantitativamente determinando la cantidad de vitamina E microencapsulada. Se comparó el pico de fusión para determinar de forma semicuantitativa la eficiencia de microencapsulación además la cristalinidad del ácido ascórbico mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) comparando el microencapsulado con la vitamina C donde se demostró que existe un 89,95 % de eficiencia de microencapsulación. Los resultados mostraron que en todos los tratamientos se formó un microencapsulado, sin embargo, el mejor tratamiento fue el número 6, que contenía 10% de vitamina E y 22,5 %-67,5 % maltodextrina y goma arábica respectivamente, lo cual coincide con el análisis estadístico de optimización obteniendo una eficiencia de microencapsulación de vitamina E de 93,12%.

DESCRIPTORES: CALORIMETRÍA, EFICIENCIA DE MICROENCAPSULACIÓN, ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA, GOMA ARÁBIGA, MALTODEXTRINA

ABSTRACT

At a global level, processed foods have continued to grow in the face of demand and, on the other hand, nutrition has decreased because, despite the vitamin addition to these products, poor handling causes the vitamins to be lost, for this reason, Methods are sought to improve the stability of nutrients, one of the techniques for this is microencapsulation, which is a viable option for minerals, flavors, aromas and vitamins. The purpose of this research was to prepare a microencapsulate of vitamin E (D-alpha Tocopherol), C (ascorbic acid) and B2 (riboflavin) by spray drying. Maltodextrin and gum arabic are used for the wall materials, the pure vitamins used. . were commercial, where maltodextrin-gum arabic ratios were studied (25%-75%, 50%-50%, 75%-25%) respectively for the polymer matrix, the vitamin E load was also evaluated 10% and 20%. , vitamin C 1.5 g -3 g and vitamin B2 0.16 g and 0.32 g. The effectiveness of microencapsulation was analyzed qualitatively by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and quantitatively by determining the amount of microencapsulated vitamin E. The melting peak was compared to semiquantitatively determine the microencapsulation efficiency as well as the crystallinity of ascorbic acid by differential scanning calorimetry (DSC), comparing the microencapsulation with vitamin C where it was demonstrated that there is an 89.95% microencapsulation efficiency. . The results showed that a microencapsulate was formed in all treatments, however, the best treatment was number 6, which contained 10% vitamin E and 22.5%-67.5% maltodextrin and gum arabic respectively, which coincides with the statistical optimization analysis obtaining a vitamin E microencapsulation efficiency of 93.12%.

KEYWORDS: CALORIMETRY, MICROENCAPSULATION EFFICIENCY, INFRARED SPECTROSCOPY, GUM ARABIC, MALTODEXTRIN

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

A nivel mundial los alimentos procesados han seguido expandiéndose debido al reducido tiempo para elaborar la comida diaria, esto ha hecho que también exista un aumento de desnutrición ya que los productos alimenticios pasan por métodos de calentamiento, enfriamiento, esterilización, transporte y almacenamiento, lo cual disminuye la calidad nutricional de los productos principalmente de vitaminas ya que son muy sensibles ante la luz, calor y oxígeno. Por esta razón la finalidad de este proyecto de desarrollo es elaborar un microencapsulado de vitamina E (D-alfa Tocoferol), C (ácido ascórbico) y B₂ (riboflavina) mediante secado por aspersión.

La técnica de microencapsulación permite que los nutrientes sean protegidos por una barrera denominada pared, la cual está constituida por diversos polímeros que impiden la interacción del nutriente con el medio externo, para ello se puede emplear diversos métodos sin embargo el método más utilizado por su sencillez, costo y rapidez es el secado por aspersión. En el presente trabajo se utilizó maltodextrina y goma arábica cuyas características permiten un buen acoplamiento y formación de los microencapsulados.

Para el análisis de los microencapsulados obtenidos se utilizó el FTIR, el cual permitió verificar cualitativamente la microencapsulación ya que permite comparar los espectros para identificar los grupos orgánicos presentes en las moléculas superficiales, para la medición de la efectividad de la microencapsulación se midió la cantidad de vitamina E sin microencapsular, también se utilizó el DSC para verificar la eficiencia de microencapsulación comparando el tratamiento de microencapsulación más eficiente y la vitamina más termolábil: la vitamina C.

Las principales limitaciones en el presente proyecto fueron: la falta de investigaciones respecto a vitaminas liposolubles e hidrosolubles en una matriz polimérica, la complejidad de generar una emulsión estable encontrando las cantidades exactas de vitaminas y material de pared.

1.2. Justificación

Según Lepsky (2022) la avitaminosis está incrementando a nivel mundial lo cual genera diversas enfermedades en todo el organismo, el causal principal es la dieta baja en alimentos frescos con vitaminas, se prefiere alimentos procesados debido al ritmo de vida actual donde hay poco tiempo para la preparación de alimentos en el hogar.

La nutrición es la clave para mejorar la salud en la población, por lo que el desarrollo de tecnologías en este ámbito es de interés creciente a nivel mundial. Las vitaminas tanto hidrosolubles como liposolubles son imprescindibles para el correcto funcionamiento del organismo. Específicamente las vitaminas: D-alfa tocoferol (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C) y riboflavina (vitamina B₂) tienen una amplia variedad de funciones en el metabolismo. Según el Universo (2020), en el Ecuador durante la emergencia sanitaria hubo una mayor demanda de vitamina C y complejo B donde de un requerimiento mensual de 60 000 pasaron a 180 000 unidades.

No obstante, estas vitaminas se degradan fácilmente ante factores como el calor, la oxidación, la humedad, lo cual disminuye su estabilidad en productos y suplementos alimenticios además hay un creciente consumo de comida procesada con lo cual las personas no ingieren la cantidad necesaria de estos micronutrientes, la falta de vitamina C produce escorbuto, la deficiencia de la vitamina E provoca distrofia muscular y el bajo consumo de complejo B deviene en degeneración neurológica (Nix, 2022).

Al elaborar productos funcionales que contienen vitaminas a nivel farmacéutico o alimenticio es común la degradación vitamínica debido al procesamiento, al manejo, al transporte, al consumo y al almacenamiento, lo cual es un problema representativo. La funcionalidad de las vitaminas va disminuyendo con la exposición a factores ambientales desfavorables y esto afecta no solo como pérdida económica para la industria sino más importante aún en la nutrición lo que deviene en problemas en la salud de la población (Garzón et al., 2023).

Desde el punto de vista socioeconómico los consumidores se ven afectados al consumir estos productos, ya que, no reciben la dosis adecuada y esto deviene en enfermedades. También se ve afectada la industria ya que hay pérdidas económicas cuando las vitaminas pierden su funcionalidad y deben remover del mercado y desechar estos productos (Montiel, 2019).

Estas pérdidas en el producto desechado no solo son económicas sino también es un gasto innecesario de energía y agua, además, al no poder reutilizarlos se convierten en contaminantes biológicos para el medio ambiente en el proceso de degradación (Tonini et al., 2018).

Por estas razones se ha propuesto la presente investigación cuya finalidad es obtener un microencapsulado de vitaminas: D-alfa tocoferol (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C) y riboflavina (vitamina B₂) mediante secado por aspersión que permita mejorar su estabilidad y también su biodisponibilidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Obtener un microencapsulado de las vitaminas D-alfa tocoferol, ácido ascórbico y riboflavina mediante secado por aspersión.

1.3.2. Específicos

Identificar los parámetros de temperatura de entrada y de salida del secador por aspersión para la obtención de microencapsulados de vitaminas mediante la revisión del estado del arte.

Establecer las cantidades de las vitaminas a microencapsular en relación a suplementos comerciales y al porcentaje de valor diario recomendado.

Determinar la mejor combinación de los materiales de pared en base a la eficiencia de la microencapsulación.

Analizar la estabilidad térmica comparando el punto de fusión de la vitamina C con el microencapsulado mediante calorimetría diferencial de barrido.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Es conocido que en los alimentos procesados se añaden nutrientes y sustancias nutraceuticas con la finalidad de mermar la desnutrición (Olive et al., 2022). Según Dhakal y He (2020), la preocupación por la fortificación vitamínica en la industria alimentaria es reciente, sin embargo, se han realizado varias investigaciones para tratar de mantener las vitaminas estables frente a las condiciones ambientales.

De Abreu et al. (2022) en su investigación señalan que la microencapsulación es una técnica destacada a nivel de la industria alimentaria y farmacéutica ya que mejora la biodisponibilidad de nutrientes en el organismo y alarga la vida útil de los productos mediante la mejora de la estabilidad. Esta técnica también permite además enmascarar sabores desagradables de medicamentos (Khatmode y Sonawane, 2022).

A nivel de industria alimentaria la microencapsulación es muy utilizada para la protección de saborizantes naturales y artificiales, vitaminas y probióticos en bebidas. También se microencapsula aceites, sustancias preservantes como antioxidantes, antimicóticos, incluso enzimas en variedad de productos alimenticios (Fangchao et al., 2023).

Según Baishakhi y Tridib, (2022) la microencapsulación permite tener una barrera protectora y es un vehículo para los nutrientes ya que impide que los jugos gástricos dañen o inactiven la funcionalidad de estas sustancias antes de ser absorbidas en el intestino. Además, esta técnica impide el ingreso de oxígeno lo cual evita la rancidez y la oxidación de sustancias bioactivas (Tae, 2022). También impiden que se evaporen sustancias volátiles, en medicamentos permiten disminuir su toxicidad y aumentar la biodisponibilidad.

Para realizar el proceso de microencapsulación existen diferentes vías como lo muestra la Tabla 1, sin embargo, según el estudio de Rios y Gil (2021) el secado por aspersión es la vía más utilizada a nivel industrial debido a su facilidad de manejo, a su bajo costo en comparación con otras técnicas de secado, al ahorro de tiempo de procesamiento y al control de las condiciones de operación. Esta técnica consiste en: preparar una matriz con el o los compuestos a microencapsular y la sustancia encapsulante, alimentarla a través del atomizador del secador por aspersión, a la cámara de secado, a la que simultáneamente está entrando aire caliente que elimina la humedad de la muestra formando cápsulas de forma esférica que pueden contener nutrientes y compuestos bioactivos.

A continuación en la Tabla 1 se muestran diversas técnicas utilizadas en la microencapsulación de compuestos bioactivos.

Tabla 1
Técnicas de microencapsulación

Procesos químicos	Procesos físicos
Coacervación	Secado por aspersión
Polimerización interfacial	Secado en frío
Inclusión molecular	Extrusión
Co-cristalización	Evaporación de disolvente
—————	Electrohilado
—————	Recubrimiento en lecho fluidizado

Nota. Adaptado de Recent Advances in Water-Soluble Vitamins Delivery Systems Prepared by Mechanical Processes por Castro, et al., 2022, Food and Nutraceuticals Applications. CC.

En la microencapsulación mediante secado por aspersión, los parámetros más importantes que se deben controlar son: la temperatura, concentración de materiales de pared y de sustancia a microencapsular, adicional a estos, también es importante el control del flujo de aire de secado y de líquido de atomización en el secador por aspersión (Sanchez et al., 2023). Por otro lado, la emulsión y homogenización definirán el éxito en una microencapsulación ya que dependiendo del principio activo tendrá que ser aceite en agua, agua en aceite o mixta donde las aglomeraciones tendrán un diámetro de hasta 100 µm (Sousa, 2022).

Según Garzón et al. (2023) el tamaño y tipo de microencapsulación dependen principalmente de los componentes de los materiales de pared y la homogenización, ya que, si no se logra una forma esférica y regular, la estructura no es estable ya que hay diferencia entre las fuerzas intermoleculares y esto permite la ruptura de la emulsión y por lo tanto una microencapsulación ineficaz.

En diversas investigaciones se han microencapsulado sustancias entre vitaminas y compuestos bioactivos: como en el estudio de Carlan et al. (2022), donde se microencapsuló vitamina B₂ con diversas matrices y se obtuvo una eficiencia de 99%. Por otro lado, en la investigación de Barra et al. (2019) se encapsuló

vitamina C mediante alginato y goma arábica, así mismo Yan et al. (2020) realizó el microencapsulado de vitamina C mediante una matriz de gel de caseína.

Mujica (2020) realizó una investigación sobre la microencapsulación de vitamina A y E con tres materiales distintos: maltodextrina, Capsul y caseinato de sodio para formar la matriz mencionando que la eficiencia de microencapsulación fue del 100%. Budinčić et al. (2021) realizó la microencapsulación de vitamina E con quitosano y éter lauril con una eficiencia del 96%, Ribeiro et al. (2021) también microencapsularon vitamina E obteniendo una eficiencia entre 70-99%. En el estudio de Amaraporn et al. (2022) la efectividad de microencapsulación de vitamina E con policaprolactona y Tween 20 fue de 98,28%.

Según el estudio de López et al. (2023) la microencapsulación de vitaminas D₃ y B₁₂, mediante maltodextrina, caseinato e inulina, incrementaron la bioabsorción cuatro veces más en comparación con la proteína sin cobertura.

Sin embargo, se ha encontrado investigación alguna, ni patente donde se utilicen las tres vitaminas y los materiales de pared que se usarán en la presente investigación por lo que se destaca la importancia de este proyecto.

b) FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

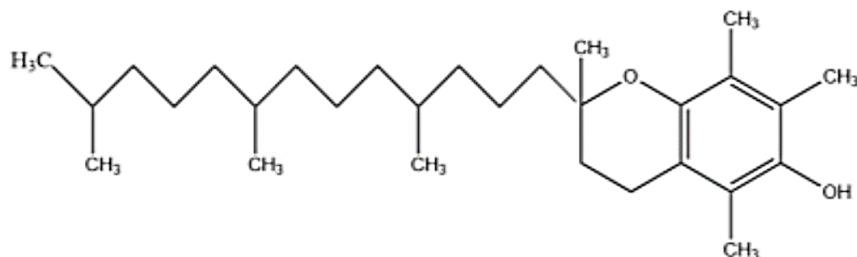
Vitaminas

Las vitaminas son biomoléculas orgánicas las cuales ayudan a diferentes funciones del organismo, son indispensables en la dieta y se encuentran principalmente en frutas y verduras frescas. Sin embargo, la mayoría de ellas son inestables a las diferentes condiciones ambientales y la biodisponibilidad es baja (García 2022).

Vitamina E o α -tocoferol es el más abundante y con mayor poder funcional de todos los isómeros de vitamina E, se caracteriza por su actividad antioxidante ayuda a mantener las grasas insaturadas de las membranas celulares. Su deficiencia desencadena problemas neurológicos y ataxia (Ibrahim et al., 2021). Se encuentra principalmente en semillas como almendras, maní, también en aceites vegetales como en el maíz, aguacate, etc. Su absorción en el organismo es similar a una grasa ya que es liposoluble, sin embargo, el organismo logra absorber 20% hasta el mejor de los casos 80% (Martins et al., 2022).

En la figura 1 se muestra la estructura de la vitamina E.

Figura 1
Estructura α -tocoferol

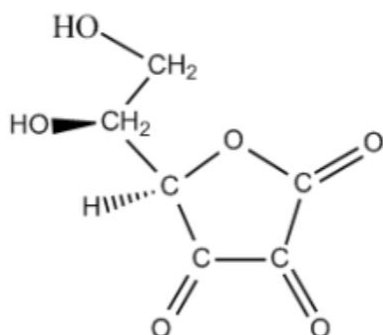


Nota. De Sánchez (2023)

Vitamina C o ácido ascórbico, esta vitamina hidrosoluble actúa sobre el incremento de leucocitos en la sangre por ello se le atribuye un mejoramiento en el sistema inmune según Valladares & Rodríguez, (2023). Relación entre covid-19, vitamina C y sistema inmune.

En la figura 2 se muestra la estructura de la vitamina C

Figura 2.
Fórmula del ácido ascórbico



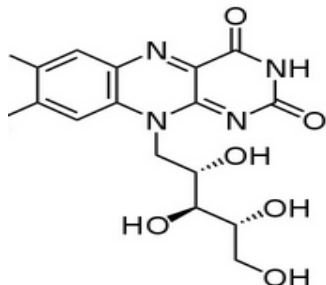
Nota. De Martin (2018).

Vitamina B₂ llamada riboflavina, es una vitamina hidrosoluble, ayuda en el metabolismo de macronutrientes, además está ligada a la formación de enzimas catalasas en nuestro organismo, se encuentra en mayor cantidad en leche, carnes y huevo, su déficit puede causar problemas en el hígado, anemia, problemas en la piel y provoca migrañas. La ingesta diaria recomendada es de 1,5 mg (Soto, 2021).

En la figura 3 se muestran la estructura y grupos funcionales de la vitamina B₂

Figura 3

Fórmula de la vitamina B₂



Nota. De Locatelli (2023).

Eficiencia de microencapsulación

Según Rios y Gil (2021) una de las formas de caracterizar a un microencapsulado es mediante la eficiencia de la microencapsulación, ésta es un porcentaje que representa la cantidad de compuesto bioactivo que ha logrado ser microencapsulado en relación con la cantidad inicial para ello se mide el compuesto bioactivo superficial es decir el que no se ha logrado microencapsular. Las formas para obtener esta característica son diversas ya que dependen del ingrediente activo y de los materiales microencapsulantes, principalmente se utiliza la fórmula:

$$EM \% = \frac{PAT - PAS}{PAT} \quad (1)$$

Donde:

EM: es la eficiencia de microencapsulación

PAT: es el compuesto bioactivo total

PAS: es el compuesto bioactivo superficial

FTIR

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier se utiliza para analizar si efectivamente las vitaminas se microencapsularon para lo cual se examina una muestra de material microencapsulante, una muestra de las vitaminas y una muestra del microencapsulado ya que esta técnica permite analizar la composición química y las interacciones entre las moléculas.

Su principio de funcionamiento se basa en que, al hacer pasar radiación infrarroja sobre una muestra, los componentes que están en ella absorben la luz a diferentes longitudes de onda y esto hace que existan una vibración en diferentes moléculas las cuales se van midiendo y se muestran en un espectro, cada molécula tiene su

interacción específica por lo que esta técnica permite distinguir exactamente cuáles son las moléculas presentes.

En el caso de un material microencapsulado, el espectroscopio permite identificar solo los grupos químicos de la superficie, lo cual ayuda a determinar si el material bioactivo se logra microencapsular o no. (Schestkova, et al.,2020).

DSC

Calorimetría diferencial de barrido o DSC es una técnica que mide las transiciones de energía que puede absorber o liberar una sustancia mientras se va calentando en un rango de temperatura determinado. Ciertas muestras son lábiles frente al calor por lo que en el espectro se observarán curvas pronunciadas, otras sustancias resisten al calor por lo tanto esa estabilidad se representa en una línea constante en el espectro. El DSC permite evaluar estados de la materia de una muestra ya que se observan los cambios de energía, y temperaturas de transición vítrea (Salazar, 2022).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental, analítica y prospectiva, también es un estudio de intervención, ya que, se realizaron pruebas a nivel de laboratorio para la elaboración y análisis del microencapsulado donde se controlaron las variables independientes: la concentración de material microencapsulante y de vitamina E, por otro lado la investigación es cuantitativa en mayor parte debido a que se utilizaron valores numéricos en los parámetros de elaboración y cualitativa debido a que se compararon los espectros del FTIR para conocer si las vitaminas se microencapsularon. El enfoque de la investigación es principalmente cuantitativo ya que la variable dependiente es la eficiencia de la microencapsulación.

3.2. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

Hipótesis:

Si se microencapsulan las tres vitaminas juntas en una misma matriz se podrá disponer de un sistema en el cual coexisten las tres vitaminas y puede funcionar como un ingrediente activo para múltiples suplementos.

Idea a defender:

No existe en el mercado un producto donde haya una matriz en la cual coexistan las vitaminas E, C y B₂ juntas por lo que se elaborará este producto a nivel de laboratorio.

3.3. Recolección de información:

Preparación del microencapsulado:

Se pesó la materia prima seca y en polvo: maltodextrina, goma arábica, vitamina B₂, vitamina C siguiendo las formulaciones de la tabla 2 y 3, en un vaso de precipitación de 250 mL se agregó agua destilada previamente medida en una probeta de 100 mL.

Seguidamente, en la Tabla 2 se muestran los porcentajes de vitamina E y de material de pared de los 6 tratamientos.

Tabla 2

Formulaciones en porcentaje

vitamina E (%)	Material de pared	
	Maltodextrina (%)	Goma arábica (%)
20	60	20
	40	40
	20	60
10	67,5	22,5
	45	45
	22,5	67,5

A continuación, en la Tabla 3 se muestra la masa de los materiales de pared y de las 3 vitaminas de los 6 tratamientos.

Tabla 3

Gramaje de materiales de pared y vitaminas

Tratamiento	vitamina E (g)	Maltodextrina (g)	Goma arábica (g)	Agua (g)	Vitamina C (g)	Vitamina B ₂ (g)
1	4	12	4	55	3	0,32
2	4	8	8	55	3	0,32
3	4	4	12	55	3	0,32
4	2	13,5	4,5	56	1,5	0,16
5	2	9	9	56	1,5	0,16
6	2	4,5	13,5	56	1,5	0,16

Preparación de la emulsión

Se colocó el vaso con el agua en el vástago del homogeneizador encendido mientras se añadió el material pesado previamente, se añadió 1 mL de emulsionante Tween 80, posteriormente se añadió la vitamina E poco a poco, se dejó en agitación durante 15 minutos para que se homogenice la emulsión.

Microencapsulación

La muestra se microencapsuló en el secador por aspersión cuyas condiciones fueron: 150 °C de temperatura de entrada y 90 °C de temperatura de salida. Se siguió el mismo procedimiento para los 6 tratamientos.

Una vez microencapsulada la muestra se guardó en bolsas trilaminadas polietileno, aluminio y polipropileno que garantizan que no penetre la humedad ambiental hacia el interior de la bolsa.

Rendimiento:

Para la recolección de información en la toma de muestras se utilizó la balanza analítica para pesar las vitaminas y material de pared, donde su sensibilidad fue de 0,00001 g y tiene una alta confiabilidad ya que es un instrumento calibrado y nivelado. Se tomó apuntes de la medida una vez se estabilizó. Las vitaminas se pesaron en bolsas de aluminio para evitar su oxidación.

Para el cálculo del rendimiento se pesó la mezcla antes de microencapsular y el microencapsulado. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{masa microencapsulado}}{\text{sólidos totales}} * 100 \quad (2)$$

Eficiencia de microencapsulación

Se realizó una extracción de la vitamina E no microencapsulada mediante la mezcla con un disolvente orgánico apolar: hexano, se hizo pasar la mezcla a través de papel filtro de 1 mm, a continuación, se secó a 60 °C y se pesó, mediante la fórmula de Rios y Gil (2021) se estableció la eficiencia de los microencapsulados.

$$EM \% = \frac{PAT-PAS}{PAT} * 100 \quad (3)$$

Donde:

EM: es la eficiencia de microencapsulación

PAT: es la masa en gramos de vitamina E total

PAS: es la masa en gramos de vitamina E no microencapsulada

FTIR y DSC

Estos instrumentos son automatizados y de alta precisión por lo que hay un alto nivel de confiabilidad y validez al utilizarlos, para la toma de muestras, se homogenizó el microencapsulado y se tomó una muestra representativa: tamaño de cápsula para DSC 3 – 5 mg y 1 mg para el FTIR.

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier se utilizó para analizar si efectivamente las vitaminas se microencapsularon para lo cual se examinó la muestra de material microencapsulante, una muestra de las vitaminas y una muestra del microencapsulado ya que esta técnica permite analizar la composición química y las interacciones entre las moléculas. Aplicación: 1) se configuró el equipo, para ello se comprobó la calibración mediante un barrido de fondo. 2) se colocó la muestra en el dispositivo de reflexión total atenuado 3) se inició con la corrida en un intervalo de número de onda de 600 cm⁻¹ a 4000 cm⁻¹, 5) los resultados del espectro fueron extraídos de la computadora del FTIR.

La calorimetría diferencial de barrido permitió comparar los termogramas del microencapsulado con el de la vitamina C, esta vitamina C se seleccionó por tener un punto de fusión alrededor de 190 °C. Se comparó la vitamina C sin microencapsular y el microencapsulado ya que este método sirvió para determinar transiciones de temperatura como cambios de estado. Aplicación: se siguieron los siguientes pasos: 1) se preparó la muestra, el microencapsulado previamente guardado en un material de aluminio y plástico de forma hermética, se colocó en una cápsula previamente pesada. 2) se selló la cápsula mecánicamente, con una pinza se colocó en el portamuestras y se inició el análisis 3) Los resultados fueron extraídos del gráfico arrojado al finalizar la corrida. Se analizó la cristalinidad y la eficiencia de microencapsulación mediante las siguientes fórmulas:

Fórmula de cristalinidad

$$\text{Cristalinidad \%} = \frac{l_f \text{ microencapsulado}}{l_f \text{ vitamina pura}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

Cristalinidad %: es el porcentaje de cristalinidad del microencapsulado

l_f : es el calor latente de fusión

Cálculo de eficiencia de microencapsulación a partir de la cristalinidad

$$EM = 100 - \text{Cristalinidad \%} \quad (5)$$

3.4. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

El diseño estadístico ampliado fue un diseño de mezcla donde las variables fueron: la concentración de vitamina E, las cantidades de material de pared: maltodextrina y goma arábica según la tabla 2 y 3.

Diseño Experimental: En este diseño de mezclas se manipularon las variables independientes las cuales son: porcentajes de vitamina E, porcentajes de materiales de pared: maltodextrina y goma arábica para el análisis de su efecto en la microencapsulación.

Análisis Estadístico: Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico Minitab donde se aplicaron pruebas estadísticas para analizar diferencias significativas de cada mezcla y así establecer el mejor tratamiento.

Resultados: los resultados fueron presentados mediante gráficos estadísticos donde se observan las variables optimizadas junto con su interpretación y análisis.

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura del secado por aspersión

Para llevar a cabo la microencapsulación se investigaron las temperaturas de entrada y salida del secado por aspersión en la microencapsulación de vitaminas como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Condiciones de temperatura de entrada y salida del secador por aspersión

Vitamina	Tempera de entrada E y salida S (°C)	Material encapsulante
B ₁	E: 120 S: 50-67	Goma arábica, maltodextrina
B ₉	E: 120 S: 58	Goma arábica
C	E: 140 S: 86	Goma arábica
C	E: 194,2 S: 87,7	Maltodextrina y cáscara de grosella
E	E:150 S: 80	Maltodextrina y goma arábica
E	E:160 S: 100	Quitosano

Nota. Adaptado de Recent Advances in Water-Soluble Vitamins Delivery Systems Prepared by Mechanical Processes por Castro et al., 2022, Food and Nutraceuticals Applications. CC. Y Ribeiro et al., (2021). Improvement of vitamin E microencapsulation and release using different biopolymers as encapsulating agents.

Como se muestra en la tabla 4, la temperatura de entrada va desde 120 a 194,2 °C y las de salida desde 50 a 100 °C, en estos estudios las eficiencias van desde 60 a 100%, lo cual indica que a pesar de las temperaturas elevadas las vitaminas no se degradan ya que se forma rápidamente la microcápsula.

Según Ribeiro et al. 2021, la temperatura óptima para el secado de aspersión en la formación del microencapsulado con los materiales de pared: maltodextrina y goma arábica son 150 °C la temperatura de entrada y 80 °C la temperatura de salida. Establecer estas condiciones es imprescindible ya que, según Castro et al., 2022 esto influye en la morfología de la microesfera y en la eficiencia de la microencapsulación, un exceso provocaría la degradación de la vitamina.

Después de la investigación bibliográfica de la tabla 4 y de un estudio previo en el laboratorio se escogió la temperatura de 150 °C y 80 °C para el proceso de microencapsulación.

Proporción de las vitaminas

Se realizó una investigación de marcas comerciales de suplementos y complementos lo que permitió elaborar la tabla 5.

Tabla 5

Proporciones de vitamina C, E y B₂ en suplementos y complementos comerciales y valor diario recomendado.

Tipo	Marca	Vitamina	Cantidad por porción (mg)	%valor diario
Suplemento	Vitafos	C	23	40
Suplemento	Vitacap G		60	100
Complemento	mulgatol		20	34
Suplemento	Ginsavit prime		60	100
Suplemento	Pharmaton vitality		60	100
Suplemento	Nutricalcin		20	33,33
Suplemento	Ensure		29	48
Suplemento	Vitafos	E	3,7	20
Suplemento	Vitacap G		45	225
Complemento	mulgatol		3,02	15
Suplemento	Ginsavit prime		—	—
Suplemento	Pharmaton vitality		10	50
Suplemento	Nutricalcin		1	5
Suplemento	Ensure		4,2	20
Suplemento	Vitafos	B ₂	0,342	20
Suplemento	Vitacap G		2	125
Complemento	mulgatol		0,4	24
Suplemento	Ginsavit prime		2	125
Suplemento	Pharmaton vitality		1,6	100
Suplemento	Nutricalcin		2	125
Suplemento	Ensure		0,43	30

Como se puede observar en la tabla 5 las proporciones de las vitaminas varían según la marca del suplemento sin embargo la mayoría oscila entre 40 al 100% de valor diario recomendado. En base a esta investigación se escogió inicialmente una proporción del valor diario recomendado del 100 % en todas las vitaminas, sin embargo, al elaborar el microencapsulado, la cantidad de vitamina C era igual a la cantidad de material de

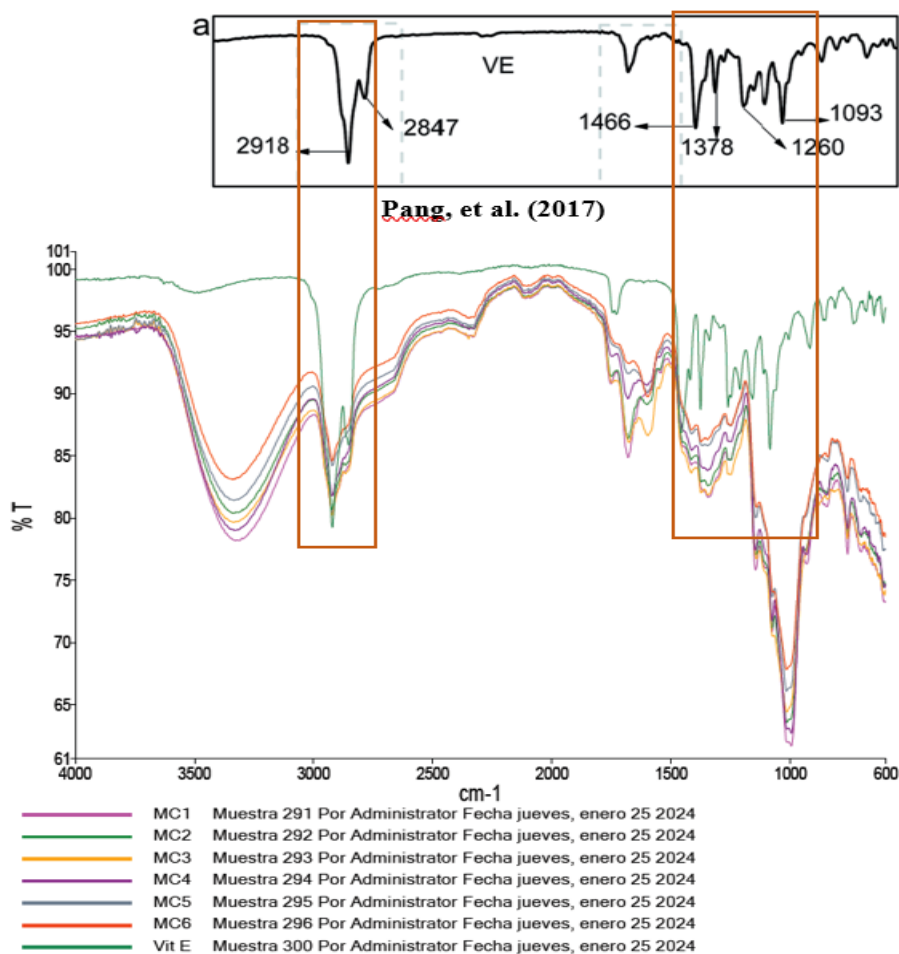
pared, por lo cual no se logró encapsular en su totalidad, observando que el material se pegó a las paredes del recipiente del secador por aspersión. Por ello la proporción escogida fue: 25 % de vitamina C, 100 % de vitamina E y 100 % de vitamina B₂.

Espectros FTIR

En la figura 4 se muestra el análisis espectrofotométrico por transformada de Fourier de todos los tratamientos y de la vitamina E.

Figura 4.

Espectro superior de vitamina E de bibliografía, espectro inferior de microencapsulados comparados con la vitamina E comercial



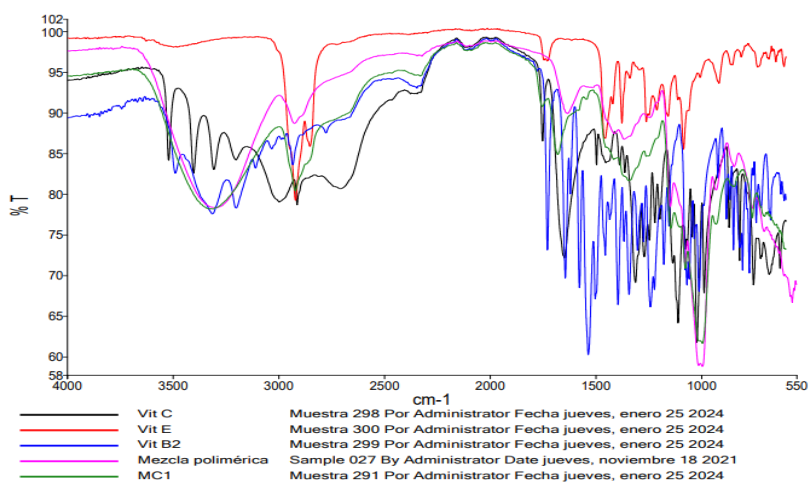
Nota. *VE: vitamina E, MC: microencapsulado con su respectivo tratamiento *VE: vitamina E, MC: microencapsulado con su respectivo tratamiento.

Al realizar el análisis de la eficiencia de la microencapsulación se escogió medir la cantidad de vitamina E debido a que es una vitamina liposoluble, por lo que la matriz polimérica hidrosoluble no la atrae y es más compleja de microencapsular. Por esta razón se comprobó la identidad de esta vitamina para realizar el resto de los análisis, se comparó el espectro de la vitamina E comercial utilizada en la investigación con la vitamina E de un estudio realizado por Pang et al. (2017), donde claramente se observa una correspondencia de bandas en los mismos números de onda, por ejemplo, las más visibles a (2918, 2847, 1466, 1378 y 1260) cm^{-1} , lo cual indica que la vitamina E comercial es pura.

Por otro lado, al comparar los espectros de los microencapsulados con los de vitamina E, se puede observar que hay una gran diferencia por lo que existe un enmascaramiento de las bandas de la vitamina y esto hace que los espectros de los microencapsulados se vean distintos por lo tanto se puede deducir de forma general que la vitamina E ha sido microencapsulada.

En la Figura 5 se muestra la comparación de espectros de la vitamina E, vitamina C y vitamina B₂ con el microencapsulado perteneciente al tratamiento 1.

Figura 5.
Tratamiento 1



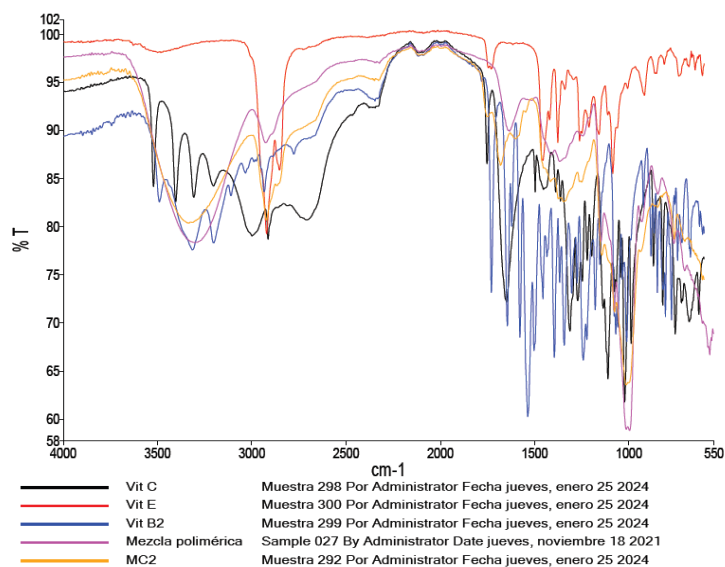
La vitamina C presenta una curva intensa en 3525 cm^{-1} Según Martin (2018), esta curva pertenece a la vibración del grupo alcohol -OH además en el número de onda: 3019 cm^{-1} se muestra el pico de las vibraciones del enlace C-H. Las curvas más intensas se presentan entre 1077 a 1754 cm^{-1} las cuales pertenecen a los dobles enlaces entre carbonos C=C.

El microencapsulado 1 muestra una similitud con el espectro de la mezcla polimérica sin embargo también se muestra una diferencia entre los (2700 y 2900) cm^{-1} donde hay una banda que también puede pertenecer a la vitamina E y a la vitamina C, lo cual indica que una mínima parte de los compuestos bioactivos no han sido microencapsulados.

Por otro lado, la Figura 6 corresponde a la comparación de espectros de la vitamina E, vitamina C y vitamina B₂ con el microencapsulado perteneciente al tratamiento 2.

Figura 6

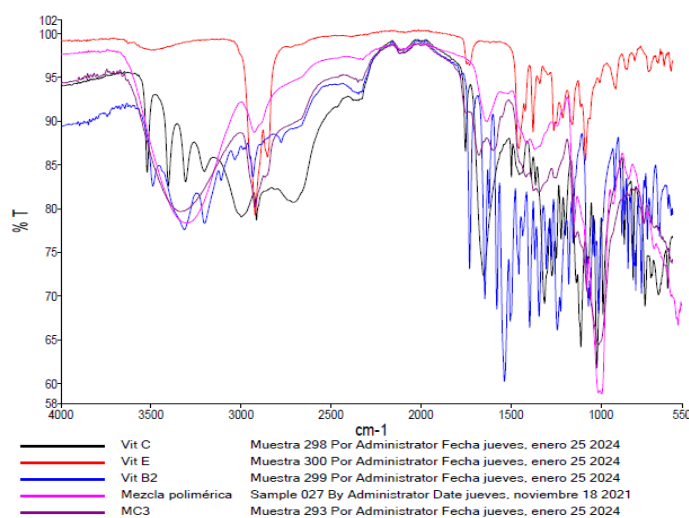
Tratamiento 2



En el tratamiento 2 se observa que hay una diferencia entre las vitaminas puras y el microencapsulado, exceptuando la banda en 2918 cm⁻¹ que corresponde a la vitamina E y C, Sin embargo, el microencapsulado 2 presenta una similitud con la matriz polimérica por lo que se puede deducir que si se ha logrado microencapsular la mayor parte de las vitaminas. Los resultados en la Figura 7 corresponden a la comparación de espectros de la vitamina E, vitamina C y vitamina B₂ con el microencapsulado perteneciente al tratamiento 3.

Figura 7

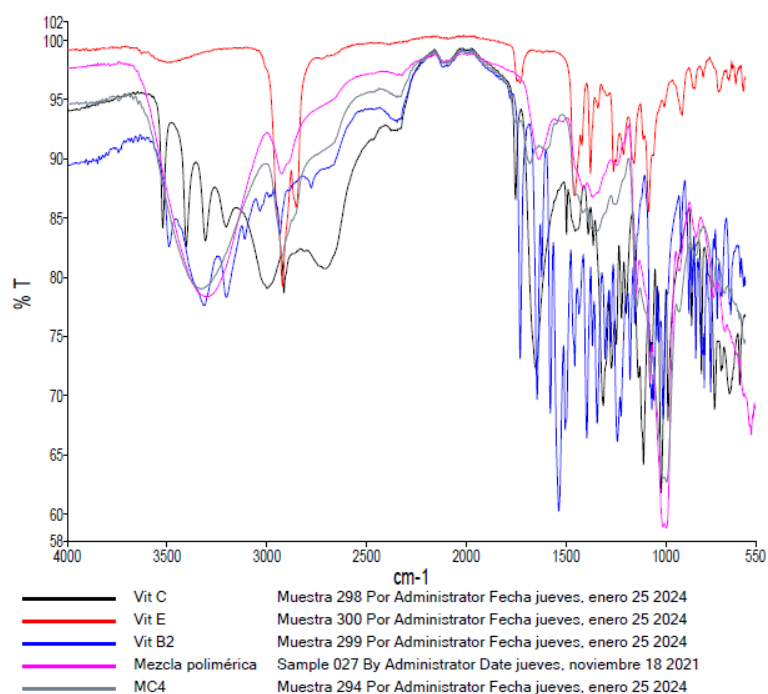
Tratamiento 3



Al igual que en el tratamiento 1 y 2 se observa una banda a 2918 cm^{-1} concerniente a la vitamina E y C, esto se debe a que la carga de la vitamina fue del 20% en los tres tratamientos, sin embargo, el resto de bandas han sido enmascarados en la microencapsulación.

A continuación la Figura 8 corresponde a la comparación de espectros de la vitamina E, vitamina C y vitamina B₂ con el microencapsulado perteneciente al tratamiento 4.

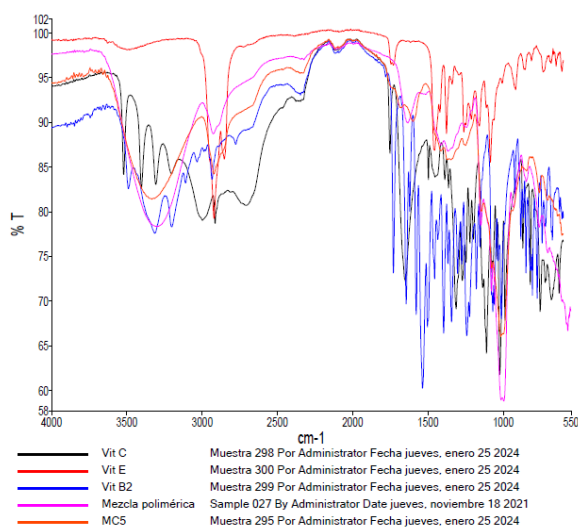
Figura 8
Tratamiento 4



A diferencia de los tratamientos anteriores se observa una disminución en la banda correspondiente a 2918 cm^{-1} del microencapsulado con el tratamiento 4, en comparación con la banda de la vitamina C y E. Además, el resto de bandas de las tres vitaminas han sido enmascaradas por el proceso de microencapsulación.

A continuación la Figura 9 corresponde a la comparación de espectros de la vitamina E, vitamina C y vitamina B₂ con el microencapsulado perteneciente al tratamiento 5.

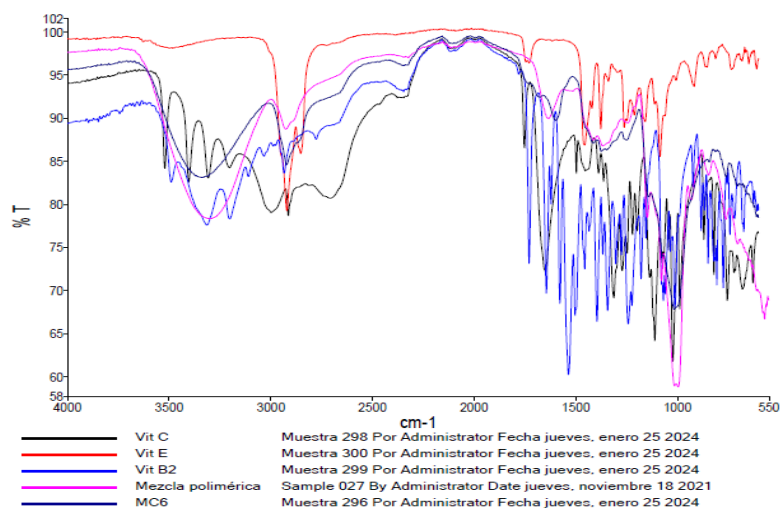
Figura 9
Tratamiento 5



En el espectro se observa una leve diferencia entre el microencapsulado del tratamiento 5 con la mezcla polimérica en el intervalo de 1800 y 2500 cm^{-1} , donde el microencapsulado se asemeja a la vitamina B2. No obstante en las curvas más pronunciadas de las tres vitaminas en los intervalos de 550 a 1700 cm^{-1} y de 2700 a 3700 cm^{-1} no hay similitud con el microencapsulado, lo que supone que la mayor parte de estas vitaminas se encuentran microencapsuladas.

La Figura 10 corresponde a la comparación de espectros de la vitamina E, vitamina C y vitamina B₂ con el microencapsulado perteneciente al tratamiento 6.

Figura 10
Tratamiento 6

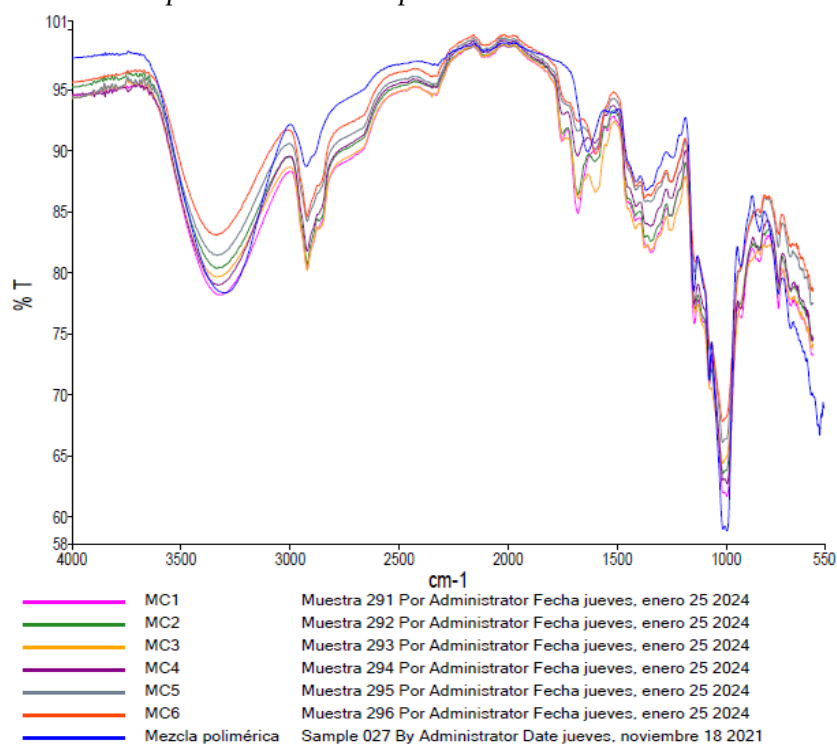


En el tratamiento 6 el microencapsulado muestra una curva más similar a la mezcla polimérica que en el resto de los tratamientos, lo cual se observa en la banda de 2918 cm^{-1} . Por lo que en este tratamiento han sido enmascarados todas las bandas de la vitamina C, B₂ y E.

Seguidamente, la Figura 11 corresponde a la comparación de espectros de la mezcla polimérica y de los microencapsulados pertenecientes a los 6 tratamientos.

Figura 11

Microencapsulados vs mezcla polimérica



Según Silva Manjarres (2023), cuando la matriz polimérica y los microencapsulados tienen las mismas curvas FTIR se demuestra la microencapsulación de forma efectiva. En el espectro de la figura 11 se observa una gran similitud entre los microencapsulados y el material polimérico, esto se debe a que en todos los tratamientos se ha logrado la formación de microcápsulas ya que el material de pared consta de dos tipos de polímeros: la maltodextrina y la goma arábica. Según Rios y Gil (2021), los carbohidratos permiten formar la emulsión y además permiten a cierta temperatura formar una película, mientras que las gomas permiten formar una red y además emulsionar la mezcla. Específicamente la maltodextrina en conjunto con la goma arábica permite la formación de una capa estable e impermeable (Pedroza, 2002).

Por otro lado, el microencapsulado con la curva más cercana a la mezcla polimérica es el MC6, lo cual se puede contrastar en el intervalo de $1800\text{ a }1250\text{ cm}^{-1}$ donde el resto de

microencapsulados difieren en mayor medida. Luego le sigue el tratamiento MC5 que se encuentra ligeramente más abajo del MC6 en el intervalo de 3000 a 3500 cm^{-1} , posteriormente el MC4 en este mismo intervalo que le sigue al MC5 y los microencapsulados que se encuentran más alejados de la curva del material polimérico son los de los tratamientos 1, 2 y 3. Esto se debe a la concentración de vitaminas ya que la carga de vitaminas fue el doble que en los tratamientos 4, 5 y 6. Según la patente de Song et al. (2014) la cantidad de vitamina liposoluble debe ser entre 5 y 15% en la emulsión para formar microencapsulados sin desperdicio de materia prima. En el caso de los tratamientos 4, 5 y 6 se cumple con este intervalo, siendo del 10% la carga de la vitamina E, por el contrario, en el resto de los tratamientos la carga fue del 20%.

En resumen, en este método cualitativo se visualiza que el mejor tratamiento ha sido el número 6.

Termoestabilidad en base a los puntos de fusión del microencapsulado y de la vitamina C

Se analizó la termoestabilidad del ácido ascórbico puro y en el microencapsulado, debido a que es la vitamina más sensible al calor en comparación con la vitamina E y B2. Según la investigación de Dhakal y He (2020), la microencapsulación ayuda a la estabilidad de esta vitamina trescientas veces más en comparación con la vitamina pura bajo condiciones de pasteurización, es decir, entre 63 y 72 °C. Esto se debe a la barrera de protección formada por la pared polimérica. Como se observa en el termograma de la figura 12 hay una gran curva que representa la fusión de la vitamina C, mientras que en el microencapsulado la curva es mínima y no hay un gran cambio, lo cual indica una mayor estabilidad del microencapsulado.

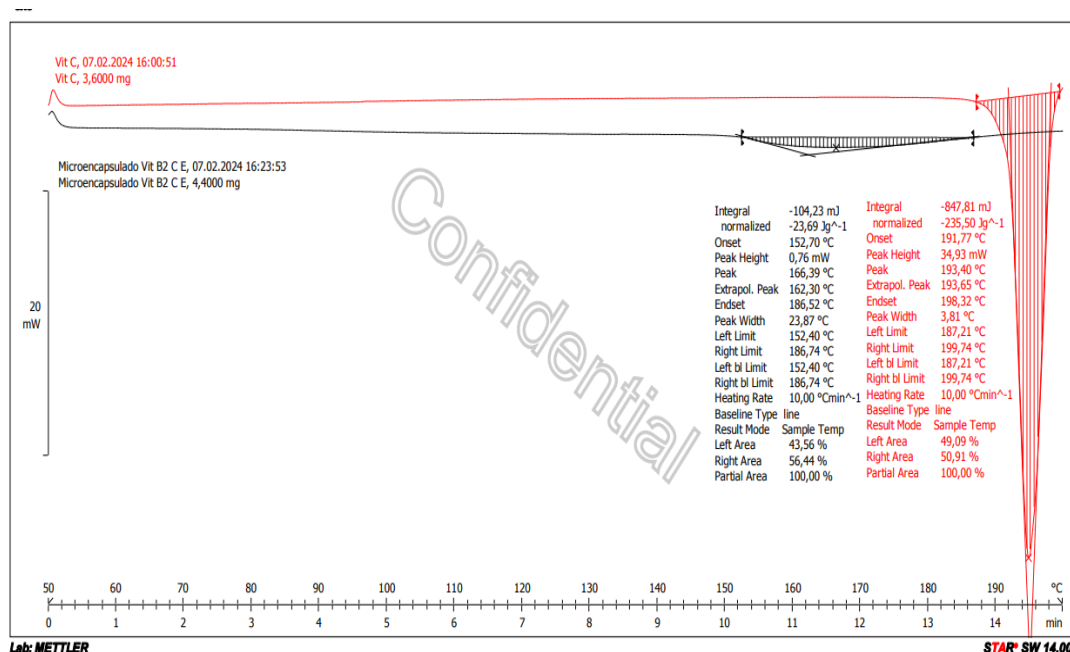
Evaluación de la eficiencia de microencapsulación por calorimetría diferencial de barrido

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los espectros FTIR se seleccionó el tratamiento 6 para el análisis en el DSC ya que tiene un mejor enmascaramiento de las vitaminas.

A continuación, se muestra la figura 12 correspondiente a la comparación de la curva de calorimetría diferencial de barrido de la vitamina C y del microencapsulado con el tratamiento 6.

Figura 12

Comparación de los termogramas de la vitamina C y del microencapsulado



*Curva roja corresponde a la vitamina C, curva negra corresponde al microencapsulado

DSC

Se analizó la efectividad de la microencapsulación mediante los termogramas del ácido ascórbico puro y en el microencapsulado, se escogió la vitamina C debido a que es un sólido cristalino que presenta una temperatura de fusión cercana a 190. Lo cual corresponde a la figura 12, donde mediante DSC se observa que en la vitamina C hay una gran curva desde los 190 °C aproximadamente. Este valor coincide con la ficha técnica donde se menciona que la temperatura de fusión de la vitamina C está entre 190 a 192 °C, mientras que en el microencapsulado solo se muestra una ligera depresión a los 166 °C.

En base a la integración de la curva se obtuvo el porcentaje de cristalinidad de vitamina C la cual fue de 10,05% y la eficiencia de la microencapsulación fue de 89,95 % para el tratamiento 6. La eficiencia es alta considerando diversas investigaciones de microencapsulación de vitamina C, donde se obtuvieron eficiencias de: 44,5; 45,05; 69,7; 90 y 93 % (Cohelo et al., 2022).

Determinación de rendimiento en el proceso de microencapsulación

En este espacio se muestra la tabla 6, la cual representa el rendimiento en cada tratamiento.

Tabla 6

Rendimiento de los microencapsulados

Tratamientos	% Rendimiento
1	28,84
2	33,02
3	50,01
4	24,41
5	25,32
6	64,59

Los más bajos rendimientos se obtuvieron en los tratamientos 1, 2, 4 y 5, esto se debe a que los materiales de pared y las vitaminas se pegaron a las paredes del equipo, previamente se realizó una prueba con mayor concentración de vitamina C lo que condujo a que ésta se funda y ocasionará que el material se pegara a las paredes de la cámara de secado. Se observa que el menor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 4, esto se puede deber a que la maltodextrina estaba en mayor porcentaje en comparación con la goma arábica, según el estudio de Ruiz (2023) se utilizaron goma arábica 2% y maltodextrina 20%, lo cual, disminuyó el rendimiento ya que gran parte del microencapsulado se perdió en el proceso. Una explicación es que, al haber una concentración muy baja de la goma arábica, la emulsión formada puede desestabilizarse y esto también puede conllevar a que se peguen las partículas formadas a la pared ya que la goma provoca la actividad superficial.

Por otro lado, Santacruz y Santacruz (2021) mencionan que la maltodextrina se contrae al momento del secado por lo que no se forman esferas perfectas sino dentadas por lo que se debe añadir otro polímero para mejorar la morfología. Al momento de mezclar en proporción adecuada la maltodextrina con goma arábica se forman esferas uniformes. El rendimiento fue mayor en el tratamiento 3 y 6 debido a que la cantidad de polímeros permitió formar mejor la red de la pared de la microcápsula donde la goma arábica fue 75% y la maltodextrina el 25% del total de material de pared.

Evaluación de la eficiencia de microencapsulación tomando como referencia la cantidad de vitamina E superficial

La tabla 7 indica la media de la eficiencia de microencapsulación en cada tratamiento.

Tabla 7
Eficiencia de la microencapsulación

Tratamientos	% Eficiencia de la microencapsulación
1	88,57± 0,240
2	89,45± 0,127
3	89,96± 0,014
4	92,01± 0,042
5	92,58± 0,212
6	93,12± 0,056

Cuando se forma una emulsión hay componentes liposolubles e hidrosolubles, los hidrosolubles forman parte de la capsula polimérica y los liposolubles se alojan en el interior o se quedan fuera de la microcápsula, es por esto que para comparar se utilizó vitamina A a que es un sistema similar al del presente trabajo ya que se utiliza vitamina E. Según la investigación de Rios y Gil (2021), la eficiencia de microencapsulación de la vitamina A con materiales de pared: maltodextrina y goma arábica está en un intervalo entre 88 y 98%, las eficiencias son altas debido a que se ha demostrado que la mezcla de ambos materiales de pared, forman microcápsulas estables. Los resultados demuestran que estos materiales de pared son útiles tanto para materiales hidrofílicos como oleosos.

Optimización de variables

A continuación, se muestra la figura 13 correspondiente a la gráfica de optimización obtenida en el programa Minitab 18.

Figura 13
Optimización de las variables



Como se observa en la figura 13 la maximización de la eficiencia de la microencapsulación a 93,09% se logra con un porcentaje de vitamina E del 10%, un porcentaje de maltodextrina del 22,5% y un porcentaje de goma arábica del 65,5%. Lo cual se comprobó mediante los análisis de FTIR y de DSC.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.

5.1. Conclusiones

Se obtuvieron seis microencapsulados de las vitaminas D-alfa tocoferol, ácido ascórbico y riboflavina con maltodextrina y goma arábica como materiales de pared utilizando la técnica de secado por aspersión, los cuales tuvieron una eficiencia de microencapsulación alta desde 88,57 a 93,12%.

Se establecieron las temperaturas de entrada y salida del equipo de secado de aspersión: Spray Dryer Buchi mediante la investigación y revisión de material bibliográfico donde se escogió una temperatura de entrada de 150 °C y una temperatura de salida de 90 °C, las cuales son las condiciones óptimas para que se forme la microcápsula de la maltodextrina en combinación con la goma arábica.

Se establecieron los porcentajes vitamínicos según el valor diario recomendado y en base a los suplementos comerciales, teniendo una formulación del 25% VDR de vitamina C, 100 % VDR de vitamina E y B₂ para los tratamientos 1, 2 y 3, mientras que para los tratamientos restantes se utilizó la mitad de los porcentajes anteriores. No se utilizó el 100% VDR de la vitamina C por pruebas previas realizadas en el laboratorio.

Mediante análisis FTIR, cálculo de eficiencia y optimización estadística se estableció que, en el diseño de mezcla, la mejor combinación de materiales de pared fue de 22,5% de maltodextrina y de 67,5% de goma arábica y la carga de vitamina E de 10% para alcanzar un máximo de eficiencia de 93,12%.

Se compararon los termogramas del DSC de la vitamina C y el microencapsulado del mejor tratamiento donde se obtuvo los valores de los calores latentes de fusión donde la vitamina C se funde aproximadamente a los 90°C mientras que en el microencapsulado no se observa una gran variación en su estado sólido debido a la pared polimérica protectora, además se obtuvo el porcentaje de cristalinidad del microencapsulado: 10,05 % y a partir de este valor la eficiencia de la microencapsulación que fue de 89,95 %.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda utilizar el microencapsulado obtenido en la elaboración de un producto alimenticio como una bebida, cereales, barras energéticas o suplementos alimenticios en base a esta investigación ya que se demostró una alta eficiencia de microencapsulación y las vitaminas permanecen más estables por su barrera al calor, luz y factores del ambiente.

Se sugiere que con base a ese producto se realice un estudio de vida útil comparando con un producto comercial con vitaminas sin microencapsular y microencapsuladas.

5.3. Bibliografía

- Amaraporn, K., Rotsaman, C., Preuk, T., Khwanchanok, N., Attasak, J. (2022). Continuous Encapsulation of Vitamin E Using Polycaprolactone and Tween 20 in a Micro-Channel. *Applied Science and Engineering Progress*, doi: 10.14416/j.asep.2022.01.001
- Aravena, M. X. L., Suárez, M. C. F., Fuentes, N., Ing, R. C., & de Cereales Funcionales, C. (2023). P108/S2-P44 Microencapsulación de Vitaminas para Mejorar la Bioaccesibilidad en Alimentos Fortificados para el Adulto Mayor. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 73.
- Baishakhi, D., Tridib, K. (2022). D-optimal Mixture Design for Optimized Microencapsulation of Vitamin A Palmitate and Its Characterizations. *Journal of food engineering and technology*, 11(2):62-71. doi: 10.32732/jfet.2022.11.2.62
- Budinčić, J., Petrović, L., Đekić, L., Fraj, J., Bučko, S., Katona, J. & Spasojević, L. (2021). Study of vitamin E microencapsulation and controlled release from chitosan/sodium lauryl ether sulfate microcapsules. *Carbohydrate Polymers*, 251, 116988.
- Carlan, C., Estevinho, B. & Rocha, F. (2022) Innovation and improvement in food fortification: Microencapsulation of vitamin B₂ and B₃ by a spray-drying method and evaluation of the simulated release profiles, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 43:14, 2179-2191, DOI: [10.1080/01932691.2021.1924768](https://doi.org/10.1080/01932691.2021.1924768)
- Castro, C., Estevinho, N., Rocha, F. (2022). Recent Advances in Water-Soluble Vitamins Delivery Systems Prepared by Mechanical Processes (Electrospinning and Spray-Drying Techniques) for Food and Nutraceuticals Applications—A Review. *Foods*, 11(9):1271-1271. doi: 10.3390/foods11091271
- Coelho, S., Estevinho, B., & Rocha, F. (2022). Recent Advances in Water-Soluble Vitamins Delivery Systems Prepared by Mechanical Processes (Electrospinning and Spray-Drying Techniques) for Food and Nutraceuticals Applications—A Review. *Foods*, 11.
- De Abreu, J., de Paula, C., Oliveira, M., Norcino, L., Campelo, P., Botrel & Borges, S. (2022). Microencapsulación por enfriamiento por aspersión en la industria

alimentaria: Oportunidades, desafíos e innovaciones. *Tendencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 120, 274-287.

Dhakal, S. & He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review. *Food Research International*, 137, 109326.

Fangchao, Cui., Dangfeng, Wang., Xiqian, Tan., Xuepeng, Li., Jianrong, Li., Tingting, Li. (2023). Avances en la preparación y aplicación de la microencapsulación para la protección de ingredientes funcionales alimentarios. *Alimentos y funciones*, doi: 10.1039/d3fo01077e.

García, M. (2020). Efecto del procesamiento de láminas deshidratadas de pulpa de aguaymanto (*Physalis peruviana*) en la retención de vitamina C.

García, B., Aiello, P., Moreno, D., García, C., Villaño, D. (2022). Vitamins. *Nutraceutical and Functional Food Components* 183-241.

Garzón, J., Diaz, L. & Bohórquez, E. (2023). Revisión: sobre la aplicación de la microencapsulación en la industria alimentaria. *Alimentos Hoy*, 31(60), 3-36.

Ibrahim, N. F., Hamezah, H. S., Yanagisawa, D., Tsuji, M., Kiuchi, Y., Ono, K., & Tooyama, I. (2021). El efecto de α -tocopherol. De hecho, la mayoría de las personas que se encuentran en el α -y γ -tocotrienoles en amiloide- β agregación y desagregación in Vitro. *Informes de Bioquímica y Biofísica*, 28, 101131

Khatmode, K. B., & Sonawane, I. Microencapsulation: A Promising Technique for Controlling Drug Delivery. *IJFMR-International Journal For Multidisciplinary Research*, 4(6).

Lepsky, E. (2022). Avitaminosis. Modern advances in their study and prevention. *Казанский медицинский журнал*, 29(5-6):483-484. doi: 10.17816/kazmj89611

Locatelli, S. (2023). Hidrogeles a base de caseína fotopolimerizable y su procesamiento por impresión 3D/UV.

Martin, S. (2018). Spektroskopi Fourier Transform Infra Red Metode Reflektansi (Atr-Ftir) Pada Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Vitamin C. 1(2):39-43. doi: 10.25077/TEMAPELA.1.2.39-43.2018

Martins, L. C. G., Nunes, F. V., Peixoto, L. S., Ribeiro, M. P., & Plácido, G. R. (2022). Vitamina E como um fator de proteção contra doenças neurológicas. *Research, Society and Development*, 11(3), e57011326838-e57011326838.

- Montiel M. (2019). Análisis teórico-práctico y estadístico del comportamiento de degradación de vitaminas en fórmulas infantiles durante vida de anaquel. Ed. Porras, M., *Congreso internacional Cuccal: sobre inocuidad, calidad y funcionalidad de alimentos*. 380-387.
- Mujica, J., Gil, O., Barra, P., Ribes, A., Bustos, R., Faccini, M. & Matiacevich, S. (2020). Encapsulation of vitamins A and E as spray-dried additives for the feed industry. *Molecules*, 25(6), 1357.
- Nix, S. (2022). Williams. *Nutrición básica y dietoterapia*. (16ava ed.). Elsevier Health Sciences.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yxp4EAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=nutricion+y+dietoterapia+&ots=qKpQc1F2LR&sig=eAcl4p_eCPmRwC5yOPA01jc9djU#v=onepage&q&f=false
- Olive, Y., Dueik, V., Levente, L. (2022). Microencapsulación de vitaminas, minerales y nutraceuticos para aplicaciones alimentarias. 507-528. doi: 10.1016/b978-0-12-821683-5.00027-3
- Pang, W., Wu, J., Zhang, Q., & Li, G. (2017). Graphene oxide enhanced, radiation cross-linked, vitamin E stabilized oxidation resistant UHMWPE with high hardness and tensile properties. *RSC advances*, 7(87), 55536-55546.
- Pedroza, R. (2002). Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. *Avances en Nutrición Acuicola*.
- Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N. & Rocha, F. (2021). Improvement of vitamin E microencapsulation and release using different biopolymers as encapsulating agents. *Food and Bioproducts Processing*, 130, 23-33.
- Rios, S. & Gil, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), 206-229.
- Ruiz, D. (2023). Efecto de temperatura y agente encapsulante en las características fisicoquímicas de granada atomizada.
- Salazar, D. (2022). Caracterización del proceso de polimeración de la resina DGEBA utilizando análisis Termogravimétrico (TGA) Y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).
- Sánchez, D. (2023). Determinación de Vitamina E (tocoferol) en Mantequillas y Margarina.

- Santacruz, C., & Santacruz, V. (2021). Microencapsulation of acachul (Ardisia Compressa) extract by spray drying using diferente polymeric materials as encapsulating agent. *Engineering and Technology*, 147.
- Schestkova, H., Drusch, S., & Wagemans, A. M. (2020). FTIR analysis of β -lactoglobulin at the oil/water-interface. *Food chemistry*, 302, 125349.
- Silva, C. (2023). Evaluación de la vida útil de microencapsulados de carotenoides provenientes de desechos agroindustriales de tomate de árbol (Solanum betaceum) en la provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Biotecnología).
- Song, J., Liu, Y., Dan, T., Ke, Q. & Li, H. (2014). Microencapsulated Multi-vitamin Premix and Preparation Method Thereof. (Patente de China N°. CN-103478412-A). COFCO BEIJING FEED TECHNOLOGY CO LTD. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049819275/publication/CN103478412A?q=Microencapsulated%20Multi-vitamin%20Premix%20AND%20Preparation%20Method%20Thereof>.
- Soto, S. (2021). Consumo de riboflavina en mexicanos y su relación con la presión arterial. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Sousa, V. I., Parente, J. F., Marques, J. F., Forte, M. A., & Tavares, C. J. (2022). Microencapsulación de aceites esenciales: Una revisión. *Polímeros*, 14(9), 1730.
- Suresh, B., Arkaan, Q. (2022). Microencapsulación: una revisión. *Revista Internacional de Investigación de Modernización en Tecnología y Ciencia de la Ingeniería*, doi: 10.56726/irjmets26546
- Tae-Yeon, Kim. (2022). Selección de materiales para microencapsulación. 215-223. doi: 10.1016/b978-0-12-821683-5.00003-0
- Tonini, D., Albizzati, P. F. & Astrup, T. F. (2018). Impactos ambientales del desperdicio de alimentos: aprendizajes y desafíos de un estudio de caso en el Reino Unido. *Gestión de Residuos*, 76, 744-766.
- Valladares, L., & Rodríguez, T. (2023). Relación entre covid-19, vitamina C y sistema inmune.

5.4. Anexos

Figura 14
Emulsión y Homogenización



Figura 15
Equipo de secado por aspersión

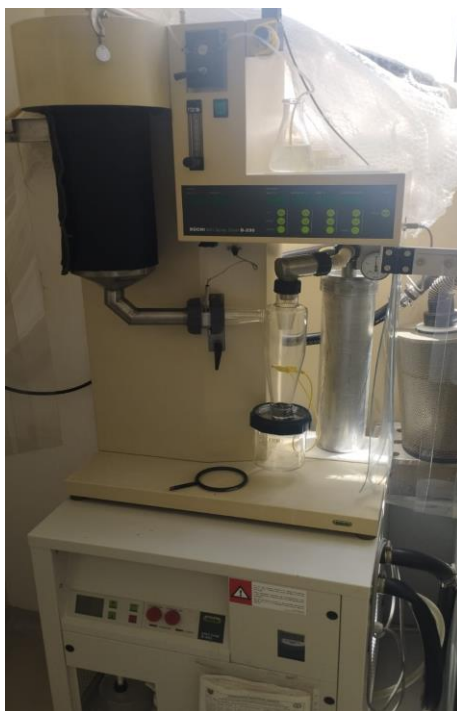


Figura 16
Secado por aspersión del microencapsulado



Figura 17
Recolección de polvo de microencapsulado

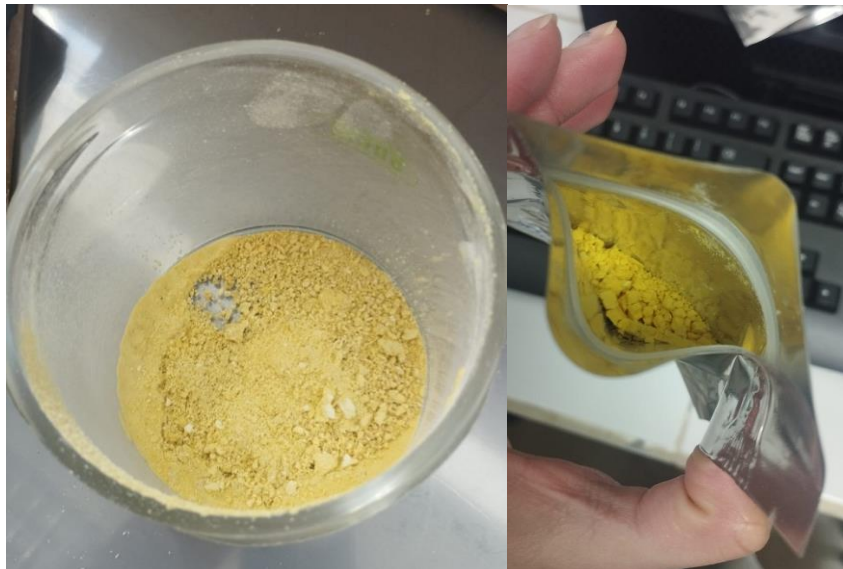


Figura 18
Análisis del microencapsulado en FTIR



Figura 19
Análisis de muestra microencapsulada en DSC



Cálculo de rendimiento (2)

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{masa microencapsulado}}{\text{sólidos totales}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{14,0151 \text{ g}}{21,70 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 64,59 \%$$

Cálculo de eficiencia de microencapsulación (3)

$$\text{EM \%} = \frac{(1,71 \text{ g} - 0,19254 \text{ g}) * 100}{1,71 \text{ g}}$$

$$\text{EM \%} = 88,74\%$$

Donde:

EM: es la eficiencia de microencapsulación

PAT: es el compuesto bioactivo total

PAS: es el compuesto bioactivo superficial

Cálculo del porcentaje de cristalinidad el microencapsulado con el tratamiento 6 (4)

$$\text{Cristalinidad \%} = \frac{l_f \text{ microencapsulado}}{l_f \text{ vitamina pura}} * 100$$

$$\text{Cristalinidad \%} = \frac{23,69 \text{ J/g}}{235,50 \text{ J/g}} * 100$$

$$\text{Cristalinidad \%} = 10,05 \%$$

Cálculo de eficiencia de microencapsulación con base en la vitamina C y la calorimetría diferencial de barrido. (5)

$$\text{EM \%} = 100 - \text{Cristalinidad \%}$$

$$\text{EM \%} = 100 - 10,05 \%$$

$$\text{EM \%} = 89,95 \%$$

CAPÍTULO VI PROPUESTA

6.1. Título

Elaboración de un suplemento en polvo en base a un microencapsulado de vitamina E (D-alfa tocoferol), vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina B₂ (riboflavina).

6.2. Descripción

Esta propuesta nace como continuidad del presente trabajo de titulación, la cual consiste en la elaboración de un suplemento con vitaminas microencapsuladas con base al proceso investigado

Objetivo:

Elaborar un suplemento alimenticio que contenga microencapsulados de vitaminas: E (D-alfa tocoferol), vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina B₂ (riboflavina).

Investigación de mercado:

Se han revisado diversas marcas de suplementos, las cuales contienen las vitaminas en su forma pura, lo cual impide que la calidad y funcionalidad de vitaminas permanezca estable por su sensibilidad a la temperatura, humedad ambiental y al oxígeno del aire.

Desarrollo del producto

El suplemento se elaborará con base a las normativas ecuatorianas INEN, se buscarán ingredientes naturales, minerales, proteínas y fibra para complementar la dieta diaria.

Análisis del producto

Para ello se utilizarán técnicas cualitativas y cuantitativas como FTIR, DSC, espectrofotometría UV-VIS, entre otras.

Presupuesto y cronograma

Al momento de generar el presupuesto se tendrá en cuenta los ingredientes que se utilizarán en el suplemento y también los equipos para la elaboración y caracterización. El cronograma contendrá la etapa de investigación bibliográfica, la experimentación, la verificación y el desarrollo.

6.3. Desarrollo de la propuesta

Planificación:

- Investigación sobre los posibles usos de los microencapsulados
- Análisis de mercado en relación con suplementos comerciales
- Desarrollo del producto
- Caracterización del producto
- Desarrollo y análisis estadístico

Cronograma:

Mes 1 y 2; investigación bibliográfica y análisis de mercado

Mes 3 y 4: elaboración del microencapsulado de vitaminas

Mes 5 y 6: elaboración del suplemento y caracterización

Mes 7 y 8 Desarrollo y análisis estadístico