

UNELLEZ
Vicerrectorado de Infraestructura
y Procesos Industriales
Programa Ciencias del Agro y del Mar
San Carlos – Venezuela



**RESPUESTA TECNOLÓGICA DE LA MICROENCAPSULACIÓN POR
COACERVACIÓN COMPLEJA DEL ZUMO DE FRESA (*FRAGARIA X
ANANASSA*) EMPLEANDO GELATINA Y GOMA ARÁBIGA**

Br. Ricardo Moreno C.I. V- 29.803.049

Tutor: MSc. Ing. José Alejandro Ramos

SAN CARLOS, FEBRERO DE 2025.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA
Y PROCESOS INDUSTRIALES
PROGRAMA CIENCIAS DEL AGRO Y MAR
SAN CARLOS - VENEZUELA**

San Carlos, 22 de enero del 2025

Ciudadanos:

Profesor: Cesar Calzadilla

Presidente y demás miembros de la Comisión Asesora del Programa de Ciencias del Agro y del Mar UNELLEZ San Carlos.

Presente.-

APROBACION DEL TUTOR

Yo Prof. José Alejandro Ramos, cédula de identidad N° C.I. 10.623.612, hago constar que he leído el Trabajo de Grado, titulado **"RESPUESTA TECNOLÓGICA DE LA MICROENCAPSULACIÓN POR COACERVACIÓN COMPLEJA DEL ZUMO DE FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA*) EMPLEANDO GELATINA Y GOMA ARÁBIGA"** presentado por el bachiller Ricardo Moreno , titular de la Cédula de Identidad N° C.I. 29.803.049, para optar al título de Ingeniero (a) Agroindustrial, del Programa Ciencias del Agro y del Mar, y el mismo cumple con los requisitos para su presentación y evaluación.

En la ciudad de San Carlos, a los 22 días del mes de enero del año 2025.

Prof. José Alejandro Ramos

C.I. N° 10.623.612



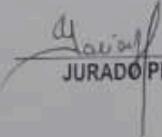
**ACTA DE VEREDICTO FINAL DEL JURADO EXAMINADOR DEL
TRABAJO DE GRADO (ART. 29 DE LA NORMATIVA)**

Hoy 26 de febrero del dos mil veinticinco, siendo las 10:30 am, reunidos en el Programa Ciencias del Agro y del Mar de la UNELLEZ VIPI; los profesores (a) Prof. José Ramos C.I.: 10.623.612, Prof. Yorman Pérez C.I. 17.594.259 y Prof. Williams Zambrano C.I. 16.774.211, Tutor (a) y Jurados designados por la Comisión Asesora del Programa Ciencias del Agro y del Mar en Resolución CAPCAM N°. 028/2025, Fecha: 07/02/2025; Acta N°. 445 EXTRAORDINARIA; PUNTO N°. 07, para evaluar la presentación oral y pública de la versión final del Trabajo de Grado titulado: "RESPUESTA TECNOLÓGICA DE LA MICROENCAPSULACIÓN POR COACERVACIÓN COMPLEJA DEL ZUMO DE FRESA (*Fragaria X Ananassa*) EMPLEANDO GELATINA Y GOMA ARÁBIGA"; requisito final para optar al Título de Ingeniero Agroindustrial realizado por el bachiller Ricardo Moreno C.I.29.803.049

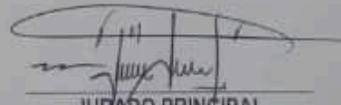
Durante la presentación, el Jurado Examinador verificó el cumplimiento de los Artículos 26 y 27 (literal b) de la Norma Transitoria del Trabajo de Grado para las Carreras de Ingeniería y Medicina Veterinaria del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de La UNELLEZ. Culminado el acto a las 11:15 am, se deliberó para totalizar la Calificación Parcial (60%) (Documento y la Presentación), obteniéndose el siguiente resultado:

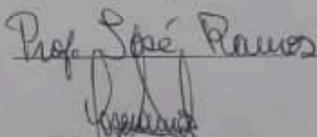
EXPOSITOR	NOTA OBTENIDA (1 - 5)
Br. Ricardo Moreno C.I.29.803.049	4.94

Por el Jurado:


JURADO PRINCIPAL




JURADO PRINCIPAL
C.I.: 16.774.211


TUTOR-COORDINADOR

UNELLEZ
Vicerrectorado de Infraestructura
y Procesos Industriales
Programa Ciencias del Agro y del Mar
San Carlos – Venezuela



**RESPUESTA TECNOLÓGICA DE LA MICROENCAPSULACIÓN POR
COACERVACIÓN COMPLEJA DEL ZUMO DE FRESA (*FRAGARIA X
ANANASSA*) EMPLEANDO GELATINA Y GOMA ARÁBIGA**

Br. Ricardo Moreno C.I. V- 29.803.049

El trabajo de grado titulado “**RESPUESTA TECNOLÓGICA DE LA MICROENCAPSULACIÓN POR COACERVACIÓN COMPLEJA DEL ZUMO DE FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA*) EMPLEANDO GELATINA Y GOMA ARÁBIGA L.)**”, Presentado por el Br. RICARDO MORENO, titular de la C.I: 29.803.049, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial, fue aprobado en fecha 26/02/2025 por el siguiente jurado:

Prof. William Zambrano

Prof. Yorman Pérez

Prof. José Ramos

DEDICATORIA

Primero que nada, agradecer a mi Madre Flor María Latouche, por ser mi guía y ayudarme a salir adelante dándome fortaleza y fe además de su infinito amor. Le dedico este trabajo el cual es el último para lograr la meta de ser Ingeniero Agroindustrial, una meta que es fruto de su gran esfuerzo por depositar tanta fe, amor y confianza en mí, estoy orgulloso y agradezco al destino por la Excelente Madre que tengo, que siempre estuvo ahí, brindándome su sabiduría para poder afrontar los desafíos y lograr la meta.

Ricardo Moreno

AGRADECIMIENTO

A mi Madre, la cual me brindó un apoyo incondicional y reforzó la idea de seguir adelante sin importar que, también por celebrar y apoyar cada uno de mis logros en el camino que he venido trazando a lo largo de mi formación académica como ingeniero agroindustrial.

Agradezco primero que nada a mi querida UNELLEZ, la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, por permitirme ser uno de sus estudiantes, dándome la oportunidad de crecer académicamente y formarme con una educación de calidad para ser un Ingeniero Agroindustrial con valores éticos y morales.

A mi tutor y querido profesor José Alejandro Ramos, el cual me ha brindado su apoyo y conocimiento académico para el desarrollo de mi formación, agradezco por su orientación y aprendizajes que he obtenido, el cual me ha ayudado y ha contribuido a ser un mejor profesional.

A profesores como Gabriel Cravo, Lleylsmar Crespo, Ricardo García, Patricia Rojas, Anabela Arvelo, Jordy Gámez, y Tania Sandoval por siempre estar a la disposición para cualquier respuesta sobre cualquier duda o ayuda sobre algún tema en específico y por motivarnos siempre a seguir sin importar cuán difícil sea el obstáculo o problema que se nos presente ya sea en pizarra y papel o en la vida.

A mis compañeros de clase con los cuales compartí muchos momentos felices y con los cuales estuve durante este trayecto de mi vida, en especial a mis amigos Dorian Murga, Darianny Acosta, Amaury García, Ángelo Yusta, Robert Bermúdez, con los cuales formé buenas relaciones y trabajé como equipo de trabajo durante todo este camino, y me ayudaron a seguir adelante siendo un pilar fundamental en mi desarrollo como Ingeniero Agroindustrial.

A todos gracias...

Ricardo Moreno

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	4
I.1.1. EL PROBLEMA	4
I.1.1.1. Planteamiento del problema	4
I.1.2. Formulación de objetivos	6
I.1.2.1. Objetivo general	6
I.1.2.2. Objetivos específicos	7
I.1.3. Evaluación del problema	7
I.1.3.1. Importancia	7
I.1.3.2. Interés	9
I.1.3.3. Justificación	9
I.1.4. Alcances y limitaciones	12
I.1.4.1. Alcances	12
I.1.4.2. Limitaciones de la investigación	12
I.1.5. Ubicación geográfica	13
I.1.6. Institución, Investigador (es), Asesor metodológico y Tutor Académico	13
CAPITULO II	14
II.1. MARCO TEORICO	14
II.1.1. Antecedentes de la investigación	14
II.1.2. BASES TEORICAS	17
II.1.2.1. La fresa	17
II.1.2.1.2. Clasificación taxonómica de la fresa	17
II.1.2.1.3. Composición química de la fresa	18
II.1.2.1.4. Producción de fresa en Venezuela	20

II.1.2.2. Zumo de fruta	21
II.1.2.2.1. Propiedades nutricionales de los zumos de frutas	22
II.1.2.2.2. Zumo de fresa	23
II.1.2.2.2.1. Contenido nutricional del zumo (jugo) natural de la fresa	24
II.1.2.3. Microencapsulación	25
II.1.2.3.1. Beneficios y ventajas de la microencapsulación	27
II.1.2.3.2. Encapsulación	28
II.1.2.3.3. Principales técnicas de encapsulación	29
II.1.2.3.4. Coacervación compleja	30
II.1.2.3.5. Sustancias encapsulantes	33
II.1.2.3.5.1. Gelatina	34
II.1.2.3.5.2. Goma arábica	34
II.1.2.4. Definición de términos básicos	35
II.1.2.5. Formulación del sistema de hipótesis	37
II.1.2.5.1. Hipótesis de la investigación	37
II.1.2.5.2. Hipótesis operacional	37
II.1.2.5.3. Hipótesis estadística	38
II.1.2.6. Formulación del sistema de variables	38
II.1.2.6.1. Variables independientes de la matriz de diseño	38
II.1.2.6.2. Variables dependientes	38
II.1.2.6.3. Variables fijas	39
II.1.2.7. Operacionalización de las variables	39
CAPITULO III	40
III.1. MARCO METODOLOGICO	40
III.1.1. Tipo de investigación	40
III.1.2. Población y muestra	40
III.1.2.1. Población	40
III.1.2.2. Muestra	41
III.1.3. Diseño de la investigación	41
III.1.3.1. Diseño de muestreo de los tratamientos	42
III.1.3.2. Materiales y métodos	42
III.1.3.2.1. Materiales	42
III.1.3.2.1.1. Equipos e instrumentos	43

III.1.3.2.2. Métodos	44
CAPITULO IV	51
IV.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
IV.1.1. Resultados de la caracterización física y química del zumo de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>).	51
IV.1.2. Resultados de la optimización del proceso de formulación de la mezcla de gelatina y goma arábica para la microencapsulación del zumo de fresa.	52
IV.1.3. Resultados del arreglo estadístico del proceso de optimización de microencapsulación del zumo de fresa.	53
IV.1.3.1. Discusión de la respuesta pH	55
IV.1.3.1.1. Análisis de la varianza para la respuesta pH	57
IV.1.3.2. Discusión de la respuesta acidez titulable total (ATT)	58
IV.1.3.2.1. Análisis de la varianza para la respuesta ATT	58
IV.1.3.3. Discusión de la respuesta sólidos solubles (S.S.)	59
IV.1.3.3.1. Análisis de la varianza para la respuesta S.S.	59
IV.1.3.4. Discusión de la respuesta POR	60
IV.1.3.4.1. Análisis de la varianza para la respuesta POR	60
IV.1.3.5. Discusión de la optimización multirespuesta de las respuestas: pH, ATT, S.S. y POR con los factores experimentales.	61
IV.1.3.6. Gráficas de superficie de respuesta.	65
IV.1.3.7. Resultados de las características fisicoquímicas del zumo de fresa encapsulado con gelatina y goma arábica, así como la determinación del contenido de vitamina C por espectrofotometría y comprobación por microscopía óptica.	66
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la fresa	17
Tabla 2. Composición química de la fresa	18
Tabla 3. Superficie, producción y rendimiento de fresa, según entidad federal	20
Tabla 4. Composición nutricional del zumo de fresa	24
Tabla 5. Técnicas de encapsulación	28
Tabla 6. Principales materiales de encapsulación	32

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Operacionalización de las variables	39
Cuadro 2. Matriz “D” de diseño hipercubo latino para 2 factores experimentales de entrada (12 tratamientos distintos)	42
Cuadro 3. Caracterización fisicoquímica del zumo de fresa, en su estado natural.	51
Cuadro 4. Rangos y niveles de los factores experimentales.	53
Cuadro 5. Resultados obtenidos para las variables repuestas.	55
Cuadro 6. Análisis de la varianza para la respuesta pH.	58
Cuadro 7. Análisis de la varianza para la respuesta ATT.	
Cuadro 8. Análisis de la varianza para la respuesta S.S.....	
Cuadro 9. Análisis de la varianza para la respuesta POR.	
Cuadro 10. Caracterización fisicoquímica del zumo de fresa encapsulado.	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Microcápsula	27
Figura 2. Técnica de coacervación compleja.	31
Figura 3. Formación de microcápsulas.	32
Figura 4. Proceso de microencapsulación del zumo de fresa	47
Figura 5. Encuesta hedónica	50
Figura 6. Microcápsulas de zumo de fresa.	53
Figura 7. Gráfica de los valores predichos por el modelo ajustado contra los valores medidos experimentalmente para la respuesta pH.	56
Figura 8. Predicción de los perfiles mínimos cuadrados.	62
Figura 9. Perfiles de respuestas múltiples y de deseabilidad.	64
Figura 10. Gráfica de superficie de respuesta pH.	65
Figura 11. Gráfica de superficie de respuesta ATT.	66
Figura 12. Microcapsulas de zumo de fresa con objetivo 20x.	67
Figura 13. Microcapsulas de zumo de fresa con objetivo 40x.	68

UNELLEZ
Vicerrectorado de Infraestructura
Y Procesos Industriales
Programa Ciencias del Agro y del Mar
San Carlos – Venezuela



RESUMEN

**RESPUESTA TECNOLÓGICA DE LA MICROENCAPSULACIÓN POR
COACERVACIÓN COMPLEJA DEL ZUMO DE FRESA (*FRAGARIA X
ANANASSA*) EMPLEANDO GELATINA Y GOMA ARÁBIGA**

Br. Ricardo Moreno C.I. V- 29.803.049

Tutor: MSc. Ing. José Alejandro Ramos

La microencapsulación ayuda a prolongar la vida útil de algunos compuestos o nutrientes de los alimentos, es usada para conservar componentes bioactivos, que pueden llegar a ser funcionales para nuestro cuerpo. El zumo de fresa sin pasteurizar tiene un alto valor nutricional, es rico en vitaminas y minerales, así como de gran actividad antioxidante en los compuestos fenólicos. Es por ello, que el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la respuesta tecnológica de la microencapsulación por coacervación compleja del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*) empleando gelatina y goma arábiga como sustancias encapsulantes. Se construyó un diseño factorial 3** para dos factores experimentales X_1 : Gelatina y X_2 : goma arábiga) y se estudiaron 4 respuestas: pH, ATT, S.S. y POR. Se corrieron los valores de las unidades experimentales con sus respuestas en el software JMP v.8 para determinar el proceso de obtención del producto, el cual arrojó como óptimo el tratamiento n° 1 por presentar valores ideales para $X_1 = 2\%$ y $X_2 = 1,1\%$, así como en el perfil de mínimos cuadrados indicando que el máximo valor de pH = 4,2; acidez titulable = 0,61%; sólidos solubles = 6,64 °Brix y potencial redox = 75,17 mV. Además, al generar los perfiles dinámicos de simulación de las respuestas múltiples o valores co-optimizados, se obtuvo una deseabilidad de 0,99 % de correlación de los datos y el modelo seleccionado. Por otro lado, se pudo comprobar la eficiencia del proceso de microencapsulación a través del uso de microscopía óptica.

Palabras clave: Microencapsulación, coacervación compleja, zumos, sustancias encapsulantes, proceso de encapsulación.

UNELLEZ
Vicerrectorado de Infraestructura
Y Procesos Industriales
Programa Ciencias del Agro y del Mar
San Carlos – Venezuela



SUMMARY

**TECHNOLOGICAL RESPONSE OF MICROENCAPSULATION BY
COMPLEX COACERVATION OF STRAWBERRY JUICE (FRAGARIA X
ANANASSA) USING GELATIN AND GUM ARABIA**

Br. Ricardo Moreno C.I. V- 29.803.049

Tutor: MSc. Ing. José Alejandro Ramos

Microencapsulation helps prolong the useful life of some compounds or nutrients in foods; it is used to preserve bioactive components, which can be functional for our body. Unpasteurized strawberry juice has a high nutritional value, is rich in vitamins and minerals, as well as great antioxidant activity in phenolic compounds. For this reason, the main objective of this research was to evaluate the technological response of microencapsulation by complex coacervation of strawberry juice (*Fragaria x ananassa*) using gelatin and gum arabic as encapsulating substances. A 3** factorial design was constructed for two experimental factors (Gelatin and gum arabic) and 4 responses were studied: pH, ATT, S.S. and O.R.P.. The values of the experimental units were run with their responses in the JMP v.8 software to determine the optimal process for obtaining the product, which showed treatment No. 1 as optimal because it presented ideal values for $X_1 = 2\%$ and $X_2 = 1.1\%$, as well as in the least squares profile indicating that the maximum pH value = 4.2; titratable acidity = 0.61%; Soluble solids = 6.64 °Brix and redox potential = 75.17 mV. Furthermore, by generalizing the dynamic simulation profiles of multiple responses or co-optimized values, a desirability of 0.99% was obtained for the correlation of the data and the selected model. On the other hand, the efficiency of the microencapsulation process could be verified through the use of optical microscopy.

Keywords: Microencapsulation, complex coacervation, juices, encapsulating substances, encapsulation process.

INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas son importantes componentes de una dieta saludable. Es por ello, que como recomendación de salud pública, la Organización Mundial de la Salud señala un consumo diario de al menos 400 g netos entre frutas y hortalizas variadas que pueden distribuirse en 5 raciones al día (80 g/ración), y recomienda incluirla en políticas y directrices dietéticas nacionales para la población e individuos (Tapia *et al.*, 2023).

En este sentido, ASOZUMOS (2016) señalan que el consumo moderado de zumos de frutas, dentro de una dieta saludable y equilibrada, es adecuado para obtener un aporte inmediato de energía y un funcionamiento cerebral óptimo. Además, estos alimentos podrían ayudar al organismo a prevenir distintas enfermedades cardiovasculares, cáncer u otros procesos neurodegenerativos.

Por otra parte, la Fundación Española de Nutrición (FEN) (2018), los zumos de frutas, además de vitaminas y minerales, contienen compuestos bioactivos, con propiedades antioxidantes como β -caroteno (pro- vitamina A), vitaminas C y E y una gran variedad de compuestos fenólicos, que los convierten en una buena opción para alcanzar la ingesta de fruta recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el programa español de la ‘Estrategia NAOS’.

Dentro de este contexto, la fresa destaca por sus cualidades nutritivas (Aguilar *et al.*, 2019; Hernández *et al.*, 2022) y organolépticas: su característico sabor, e intenso color, su tamaño y forma, y su pulpa firme (López- Valencia *et al.*, 2018). Otra cualidad que la distingue es que posee mayor actividad antioxidante que frutas como la toronja, naranja, uva roja, kiwi, manzana, tomate, pera y melón (Wang *et al.*, 1996; Carvajal de Pabón *et al.*, 2012).

Asimismo, la fresa es uno de los frutos altamente apreciados en el mundo y también en nuestro país por su sabor y por su riqueza en vitaminas y minerales; además es un producto que tiene una amplia posibilidad de utilización industrial en la obtención de diferentes productos como jugos, zumos, néctares, mermeladas, purés, concentrados, helados (Borja-Rengifo, 2010).

Por otro lado, la industria alimentaria al tratar de satisfacer las exigencias de los consumidores ha impulsado el desarrollo y diseño de nuevas tecnologías, procesos y metodologías que permitan obtener productos con características semejantes a los alimentos frescos y con una vida útil equiparable a productos procesados.

En ese sentido, una de esas tecnologías alternas que ofrecen productos en su estado más natural y que aumentan su vida de anaquel es la encapsulación, que es un proceso tecnológico que permite contener una sustancia o agente activo en el interior de otra que constituye el recubrimiento, ya que mejora la incorporación de moléculas bioactivas o nutraceuticos (antioxidantes, minerales, vitaminas, fitosteroles, luteínas, ácidos grasos, licopeno, entre otros), así como de células vivas (probióticos) (Castañón *et al.*, 2020; Sandoval-Peraza, 2016).

En consecuencia, en esta investigación se planteó como objetivo general: Evaluar la respuesta tecnológica de la microencapsulación por coacervación compleja del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*) empleando gelatina y goma arábiga como sustancias encapsulantes, a fin de conservar sus componentes nutricionales.

CAPITULO I

I.1.1. EL PROBLEMA

I.1.1.1. Planteamiento del problema

La Asamblea General de Naciones Unidas (ONU) (2021), citados por García y Acosta (2024), propone concienciar sobre los beneficios nutricionales y para la salud de las frutas y verduras y su contribución a una dieta y un estilo de vida equilibrado y saludable. Por consiguiente, el consumo de frutas y hortalizas en la dieta diaria tiene un efecto beneficioso para la salud, pues es una excelente fuente de vitaminas, minerales y fibra, además de poseer un bajo contenido calórico. Sin embargo, su consumo es bajo relacionado con las recomendaciones de los especialistas de la salud.

Cabe considerar, que las frutas son productos altamente perecederos. Comúnmente, hasta un 23 por ciento de las frutas y las hortalizas más perecederas se pierden debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos, pérdida de agua, daño mecánico durante la cosecha, envasado y transporte, o a las inadecuadas condiciones de traslado (Borja, 2010).

Por otro lado, Hernández *et al.* (2022) señalan que Venezuela, tiene un gran potencial para la producción y promoción del consumo de múltiples frutas y hortalizas, sin embargo, la complejidad de la coyuntura social, política y económica actual dificulta estas oportunidades. En este contexto, Tapia, Hernández, Mata, Reggio, García y Moubayyed (2023) mencionan que son pocos los estudios que evalúan el consumo de frutas y hortalizas en la dieta de la población venezolana y de los factores que lo determinan. Según la última Encuesta Nacional de Consumo de Alimentos (ENCA) publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) (2015), la ingesta de frutas fue de 85,5 g/persona/día, mientras que la de hortalizas fue de 82,1 g/persona/día.

La fresa es un fruto muy perecedero debido a la alta velocidad con que transcurren los procesos metabólicos vitales como lo demuestra su alta tasa respiratoria (50 - 100 ml CO₂/Kg·h a 20°C). La vida comercial útil para este fruto se establece en 5 - 7 días. Asimismo, el rápido deterioro comercial de la fresa viene determinado tanto por el consumo de sus propias reservas nutritivas como por la pérdida de agua por transpiración (Borja, *ob cit.*). Otro aspecto a tener en cuenta en referencia a sus características físicas es que este fruto posee una pulpa relativamente blanda, cubierta con una fina y delicada cubierta, muy susceptible a la rotura. Estas características hacen que la fresa se magulle por efecto de presiones de intensidad relativamente baja.

Como consecuencia de ello, por ser altamente perecedera, la fresa presenta una gran facilidad para sufrir lesiones durante la cosecha y posterior manipulación postcosecha. Dichas lesiones se convierten en puntos de ataque preferenciales de diferentes microorganismos patógenos entre los que destaca fundamentalmente el hongo *Botrytis cinérea*, que es el causante del moho gris y la pudrición blanda (Feliziani y Romanazzi, 2016, citados por López Díaz *et al.*, 2021).

Asimismo, la degradación de nutrientes en la pulpa de fresa debido a la pasteurización es un tema relevante en la industria alimentaria, dado que este proceso térmico, aunque eficaz para eliminar microorganismos patógenos, puede afectar negativamente el contenido nutricional de la fruta.

En este sentido, Salgado y Spencer (2022), mencionaron que entre los efectos causados por la pasteurización a altas temperaturas (por ejemplo, 85°C) de la pulpa de fresa, se encuentran la pérdida de compuestos fenólicos (que son antioxidantes importantes) afectando la capacidad antioxidante de las fresas, así mismo, puede llevar a una degradación general de nutrientes como la vitamina C y cambios en el perfil sensorial de las fresas, afectando su aceptación por parte del consumidor.

Por tal razón, actualmente existen muchas tecnologías que se pueden utilizar para aumentar la vida de anaquel de las fresas y sus derivados que pueden ofrecer sobre todo productos inocuos al reducir significativamente la cuenta total microbiana, sobre todo los considerados patógenos y de putrefacción de los alimentos.

Es por ello, que en la presente investigación se estudió la respuesta tecnológica de la microencapsulación por coacervación compleja del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*) empleando gelatina y goma arábiga como sustancias encapsulantes, tecnología que puede ser adaptada por los productores que cultivan fresas de tal manera que puedan ofrecer al país productos inocuos y de mejor vida útil, para ser expendidos inclusive en supermercados en envases apropiados para su conservación y venta.

En este contexto, la coacervación compleja es el proceso de separación de fases que tiene lugar de forma espontánea cuando en un medio acuoso (en este caso el zumo de fresa) se mezclan dos o más coloides (la gelatina y goma arábiga) que presentan carga opuesta (policación y polianión), como consecuencia de la atracción electrostática que sufren (Coronel y Pérez, 2016).

Por lo tanto, las interrogantes que la investigación se plantea es ¿Podrán conservarse las características funcionales del zumo de fresa por microencapsulación aplicando la técnica de coacervación compleja? Si es así, ¿cómo será la calidad del producto final en cuanto a sus características físicas, químicas y microbiológicas que determinan su estabilidad en el tiempo? En cuanto a sus atributos sensoriales ¿tendrá el producto final encapsulado con gelatina y goma arábiga aceptación global?

I.1.2. Formulación de objetivos

I.1.2.1. Objetivo general

Evaluar la respuesta tecnológica de la microencapsulación por coacervación compleja del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*) empleando gelatina y goma arábica como sustancias encapsulantes, a fin de conservar sus componentes nutricionales.

I.1.2.2. Objetivos específicos

- 1.- Caracterizar mediante análisis parcial, las propiedades físicas y químicas del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*).
- 2.- Optimizar el proceso de formulación de la mezcla de gelatina y goma arábica para la microencapsulación del zumo de fresa.
3. Generar un arreglo estadístico de tratamientos experimental utilizando superficie de respuesta a través de los software Statistic V.7 y Jmp V.8 que permita muestrear, modelar y simular el proceso de optimización de microencapsulación del zumo de fresa.
- 4.- Determinar las características físicas y químicas del zumo de fresa encapsulado con gelatina y goma arábica, así como la determinación del contenido de vitamina C por espectrofotometría y comprobación por microscopía óptica.

I.1.3. Evaluación del problema

El problema de la siguiente investigación se evalúa bajo los siguientes tres criterios: importancia, interés y justificación.

I.1.3.1. Importancia

La pasteurización como método de conservación para prolongar la vida útil de jugos, zumos, pulpa, néctares de frutas, entre otros, reduce la actividad enzimática y se elimina el riesgo por daño de origen microbiológico, afectando de cierta forma la calidad del producto debido a la pérdida considerable de componentes sensibles y termolábiles responsables de las características organolépticas de los productos, así como la parte nutricional de los alimentos. Tal es el caso de las vitaminas especialmente la vitamina C o ácido ascórbico, que se ve afectada drásticamente ante la exposición a altas temperaturas (Pupiales-Nazaty, 2021; citado por Tomalá-Cox, 2022).

Es por ello, que los tratamientos térmicos a los que se someten los jugos o zumos de fruta (concentración y pasteurización) operan entre los 75-90°C. Si bien su finalidad es retirar parte del agua y promover la esterilidad comercial, las temperaturas y los tiempos de procesamiento pueden degradar a las sustancias nutritivas. En otras palabras, durante la transformación industrial algunos de los atributos que determinan la calidad de los jugos y de los concentrados, son objeto de una marcada modificación a consecuencia del daño térmico y la oxidación química que degrada a los componentes más sensibles (Cassano *et al.* 2003) como las vitaminas, que en presencia de oxígeno se pierden y con el calor reducen su actividad (Matta *et al.* 2004; citado por Ávila y Bullón, 2013).

Es por ello, que la técnica de microencapsulación cobra importancia en la industria de los alimentos, ya que es un método que protege a las sustancias bioactivas de la temperatura extrema, pH y humedad, mantiene su estabilidad y viabilidad, así como controla su liberación hasta llegar a su objetivo (Hernández-Torres *et al.*, 2016).

Asimismo, a través de la técnica de encapsulación por coacervación compleja, un componente bioactivo de una matriz alimentaria, puede atraparse dentro de una partícula formada por complejación electrostática de un biopolímero cargado

positivamente como la gelatina y otro cargado negativamente como la goma arábica (Sandoval-Peraza *et al.*, 2016).

Por lo tanto, con la finalidad de conservar el contenido de vitamina C y otros componentes bioactivos en el zumo de fresa, se estudia los agentes encapsulantes que constituyen una barrera entre el componente en la partícula y el medio ambiente, la cual lo protege del tratamiento térmico de pasteurización, oxígeno, agua, luz, y contacto con otros ingredientes, además de controlar la difusión y conservar algunas propiedades bioquímicas y sensoriales a través del tiempo para consumo y almacenaje.

I.1.3.2. Interés

El interés de la investigación radica en lo novedoso que es la aplicación de la técnica de microencapsulación por coacervación compleja en el zumo de fresa con gelatina y goma arábica como componentes encapsulantes mejorando y conservando sus características funcionales y nutricionales.

Además, del uso de Software Estadísticos de Diseño Experimental que permitan optimizar el proceso mediante los análisis estadísticos-matemáticos-gráficos de datos y resultados obtenidos.

I.1.3.3. Justificación

Esta investigación se encuentra enmarcada en El Plan General de Investigación de la UNELLEZ 2020-2025, en el área Ciencias del Agro y Ambientales. Esta área comprende las investigaciones referidas al estudio de los sistemas de producción agrícola y sus vinculaciones con los componentes socioeconómicos, donde se especializa en líneas de investigación de orden agrológico, que contempla lo relacionado a aspectos asociados a la comercialización de rubros.

En este sentido, en Venezuela la fresa (*Fragaria x ananassa*) ejerce una atracción ecuménica, en otras palabras, el sabor, el grado de acidez y la penetrante fragancia de su baya rojo-brillante estimulan el paladar de la mayoría de las personas; esto se comprueba, porque su demanda aumenta continuamente no sólo como fruta fresca, sino también como materia prima para la elaboración de mermeladas, jaleas, helados, refrescos, tortas, entre otros.

Cabe mencionar, que las frutas y hortalizas son importantes componentes de una dieta saludable. Como recomendación de salud pública, la Organización Mundial de la Salud señala un consumo diario de al menos 400 g netos entre frutas y hortalizas variadas que pueden distribuirse en 5 raciones al día (80 g/ración), y recomienda incluirla en políticas y directrices dietéticas nacionales para la población e individuo (Tapia *et al.*, 2023).

Por otra parte, la microencapsulación es un proceso para atrapar agentes activos dentro de un material portador y es una herramienta útil para mejorar la liberación de moléculas bioactivas y células vivas en alimentos, ya que puede proporcionar barreras entre los materiales bioactivos sensibles y el medio ambiente, así como permitir la diferenciación de sabor y aroma, enmascarar malos sabores u olores, evitar la evaporación y degradación de compuestos volátiles que proporcionan aroma, prevenir reacciones con otros componentes en productos alimentarios como el oxígeno o el agua, estabilizar ingredientes alimentarios en productos finales y durante el procesado o aumentar su biodisponibilidad (Castañón, Soto y Uresti, 2020).

Asimismo, la coacervación compleja es la segunda técnica de encapsulación más utilizada para aplicaciones alimentarias, no solo porque proporciona una alta eficiencia de encapsulación, sino también por la liberación controlada activada que se puede basar en la temperatura, mecanismos mecánicos o biológicos y proporciona la versatilidad necesaria para apoyar el desarrollo de una amplia gama de productos alimenticios (Michel Barba, 2018).

Por lo antes mencionado, la siguiente investigación evaluará la respuesta tecnológica de la microencapsulación por coacervación compleja del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*) empleando gelatina y goma arábica, mediante la optimización de los procesos de encapsulado bajo diseño experimental, así como la aplicación de análisis físicos, químicos y sensoriales; de igual forma, busca crear un gran impacto en el mercado de la materia prima (fresa), al presentar esta técnica como alternativa de conservación, generando una variabilidad en la ingesta de éste vegetal tan producido en el país, lo que ocasionará un incremento económico para la nación mientras a su vez permita satisfacer la demanda de los consumidores.

Aspecto social: Influye de manera significativa en la satisfacción de necesidades generadas en el consumidor, y permite establecer una nueva forma de conservar las propiedades nutricionales de las frutas.

Aspecto económico: Puede generar una mayor comercialización de la fresa y sus derivados, así como a ser usado en la mezcla con otros productos alimenticios donde ameriten componentes bioactivos como las sustancias aromatizantes, colorantes y saborizantes. Lo que es sinónimo de un crecimiento económico que permitirá evidenciar un mayor flujo de empleos.

Aspecto científico: La investigación por ser de carácter innovador aporta nuevos métodos y técnicas de conservación de frutas, pulpas de frutas, zumos y jugos, encapsulados con la aplicación de fundamentos tecnológicos la cual aportara en el área de estudios conocimientos de forma general.

Aspecto educativo: Permitirá expandir los métodos utilizados para la creación de zumos y pulpas de frutas encapsuladas, ya sea de manera artesanal o industrializada, así como también permite reforzar el conocimiento base referente al aprovechamiento de los vegetales.

Aspecto cultural: Promueve la elaboración de productos a base de vegetales, de la misma manera que incentiva a la producción agrícola de vegetales con la finalidad de crecer el mercado, ya sea a grandes o pequeña escala, es decir, desde los hogares familiares o campos agrícolas.

I.1.4. Alcances y limitaciones

I.1.4.1. Alcances

Se obtendrá un zumo de fresa encapsulado con gelatina y goma arábiga, atrapando componentes bioactivos del sabor y aroma, así como la conservación de su valor nutricional, la cual puede ser incorporado a otros productos alimenticios como pulpas, jugos, néctares (posterior a la pasteurización), helados, productos de panadería, entre otros.

Por otro lado, se busca expandir y reforzar los conocimientos agroindustriales adquiridos por medio de la aplicación de procesos de microencapsulación, así como la aplicación de técnicas de encapsulación que permitan desarrollar productos innovadores, sirviendo de alternativa de productos alimenticios con propiedades funcionales, a la vez de generar una variabilidad a la hora de ingerir algún vegetal; Además, permitirá obtener conocimientos tanto teóricos como prácticos en el desarrollo de procesos de modelación y optimización vía simulación, de la variabilidad de las respuestas de calidad del producto o proceso.

I.1.4.2. Limitaciones de la investigación

Entre las limitaciones se encuentran equipos desactualizados para la determinación de la vitamina C por espectrofotometría, además de la poca disponibilidad de reactivos para medir las propiedades organolépticas del producto obtenido y pocas referencias bibliográficas nacionales.

I.1.5. Ubicación geográfica

Esta investigación se ejecutó en el Laboratorio de Ingeniería y Tecnología de Alimentos, del vicerrectorado de infraestructura y procesos industriales (LITA – VIPI), San Carlos, Estado Cojedes-Venezuela.

I.1.6. Institución, Investigador (es), Asesor metodológico y Tutor Académico

Institución: Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” UNELLEZ – VIPI Núcleo San Carlos-Estado Cojedes.

Investigadores: Br. Ricardo Moreno

Tutor Académico: MSc. en Ing. José Alejandro Ramos

Asesor Metodológico: Dr. Jesús Farfán

CAPITULO II

II.1. MARCO TEORICO

II.1.1. Antecedentes de la investigación

Los antecedentes constituyen un aspecto primordial dentro de cualquier investigación, pues los mismos sirven de ayuda para detectar situaciones análogas a lo que se está planteando en el trabajo de investigación. Al respecto, Arias (2013 p.41), afirma que los antecedentes de la investigación se refieren a los “estudios previos relacionados con el problema planteado, es decir, investigaciones realizadas anteriormente y que guardan vinculación con el objetivo de estudio”.

En este sentido, Mosquera-Vivas, Ayala-Aponte y Serna-Cock (2024), estudiaron la importancia de la encapsulación de probióticos mediante gelificación iónica y coacervación compleja como técnicas prometedoras para uso alimentario, determinaron que la gelificación iónica y la coacervación compleja, ambos métodos presentan grandes bondades para la protección de microorganismos probióticos y amplias ventajas para la aplicación en diferentes matrices alimentarias como técnicas emergentes de encapsulación. Comprobaron que en la coacervación compleja dependen de muchos factores, incluido el pH, la proporción de biopolímeros y su concentración, así como su fuerza iónica y composición molecular, además de la densidad de carga.

Por otro lado, Tomalá-Cox (2022), evaluó el efecto de la microencapsulación de jugo de carambola (*Averrhoa carambola* L.) y flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en la estabilidad de la vitamina C, demostrando que la microencapsulación por extrusión simulada es una técnica que permite proteger al jugo del medio al que está expuesto, evitando así la degradación de la vitamina C. Los polímeros empleados fueron alginato y gelatina sin sabor, logrando estandarizar los sólidos solubles del jugo de carambola y flor de Jamaica y el pH se mantuvo dentro del rango establecido, además mediante la prueba t de Student para pruebas independientes se determinó

que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos de microencapsulado (T3 y T4), siendo el tratamiento 4 (concentración de encapsulante de 6 %) el de mayor rendimiento de microcápsulas con una media de 96,67 %. Concluyeron, que las microcápsulas obtenidas a una concentración del 6 % (p/v), muestran un mayor rendimiento y estabilidad de la vitamina C al ser sometida a tratamiento térmico.

En el mismo contexto, Cardona *et al* (2021) evaluaron los aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión, comprobando que esta técnica de secado se ha aplicado a la formación de microcápsulas que albergan compuestos funcionales con el objetivo de suplementar un alimento mediante la adición de uno o varios ingredientes esenciales que pueden proporcionar beneficios para la salud humana. Realizaron una investigación documental y bibliográfica sobre el proceso de microencapsulación de secado por aspersión: el principio y las condiciones de operación, los materiales pared utilizados, su influencia sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las microcápsulas obtenidas, los problemas de calidad en las microcápsulas, los aspectos de liberación de los compuestos bioactivos y los estudios relacionados con la microencapsulación de vitaminas, minerales, sustancias oleosas, antioxidantes y microorganismos probióticos.

Dentro de este orden de ideas, Coronel, Pérez y León (2019), evaluaron la influencia de diferentes agentes encapsulantes en la retención de vitamina C en el zumo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) atomizado. Tuvieron como variables independientes las dosis y tipo de encapsulante Goma Arábica (GA) y Carragenina (C). Los resultados se trataron mediante el diseño estadístico Design Expert 7, los cuales dieron un total de 8 tratamientos. Éstos los realizaron mediante una evaluación fisicoquímica de la muestra atomizada previamente hidratada. Llegaron a la conclusión, luego de la evaluación estadística, que de todos estos tratamientos aplicados se obtuvo mejores resultados con 25% C y 75% GA a una temperatura de

secado establecida de 165°C, obteniendo humedad inicial de 80.20%, humedad final de 2.45%, °Brix de 11 y logrando una retención de 5.38 mg/100g de Vitamina C, que represento un 85,9% de retención.

En el mismo orden de ideas, Avendaño y Acevedo (2015), evaluaron el proceso de extracción de compuestos de color propios de la fresa (*Fragaria vesca*) y la eficiencia en la preservación de estos, mediante la técnica de microencapsulación por secado por aspersion (*spray drying*), de tal manera que se ofrezca una alternativa de aumento del aprovechamiento, de la aplicabilidad y del tiempo de vida útil de tales compuestos de origen natural que pueden aportar el color y su potencial actividad antioxidante como aditivos de diversos productos destinados al consumo humano. Los extractos de fresa, se seleccionaron para convertirlos en sólidos mediante el proceso de microencapsulación.

Para tal fin, los extractos se concentraron separadamente en un rotavapor a 30 °C y se prepararon tres litros de emulsión con cada uno de los extractos concentrados (fase dispersa) y una solución de maltodextrina (fase continua), usada como encapsulante en una relación de extracto/ solución de maltodextrina de 2/5 v/v. El proceso de encapsulación lo realizaron en un equipo de secado por aspersion Spray dryer Niro Mobile Minor 2682, operado bajo diferentes condiciones de temperatura de entrada de 70°C a 110°C y temperatura de salida de 50°C a 90°C, con flujos de alimentación al atomizador de 10 mL/min a 15 mL/min, para obtener sólidos pulverulentos. Concluyeron que los microencapsulados de fresa que caracterizaron mediante microscopía de barrido electrónico, mostraron en general una forma esférica, con tamaños menores de 25 µm, superficie lisa y bajos contenidos de humedad: 10 %.

II.1.2. BASES TEORICAS

II.1.2.1. La fresa

El fruto de la fresa (*Fragaria x ananassa*) contiene una cantidad importante de antioxidantes y micronutrientes, siendo una fuente rica en vitamina C y ácido fólico. En comparación con otras frutas posee un alto contenido de agua, menor cantidad de carbohidratos de bajo peso molecular y una mayor relación glucosa/fructosa (Kessel, 2018).

La fresa destaca por sus cualidades nutritivas (Aguilar *et al.*, 2019; Hernández *et al.*, 2022) y organolépticas: su característico sabor, e intenso color, su tamaño y forma, y su pulpa firme (López- Valencia *et al.*, 2018). Otra cualidad que la distingue es que posee mayor actividad antioxidante que frutas como la toronja, naranja, uva roja, kiwi, manzana, tomate, pera y melón (Wang *et al.*, 1996; Carvajal de Pabón *et al.*, 2012).

Es una planta perenne, de porte herbáceo con tallos que portan una roseta de hojas en una estructura conocida como corona de la cual también brotan inflorescencias y estolones. Estos últimos producen yemas en sus extremos y son generadores de plántulas nuevas que emiten raíces adventicias. Su fruto es un poliaquenio con aquenios en el receptáculo que se vuelve carnoso y succulento en la madurez (eterio) (Bonet, 2011), es decir, un receptáculo carnoso de intenso color rojo y aroma, que contiene aquenios los cuales son los verdaderos frutos (Martínez *et al.*, 2023).

II.1.2.1.2. Clasificación taxonómica de la fresa

En la tabla 1, se observa la clasificación taxonómica de la fresa (*Fragaria x ananassa*) planteada por Kirschbaum (2023).

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la fresa.

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Rosales
Familia:	Rosaceae
Subfamilia:	Rosoideae
Género:	Fragaria
Especie:	Fragaria x ananassa
Tribu:	Potentilleae
Nombre científico:	Fragaria x ananassa
Nombre común:	Fresa

Fuente: Kirschbaum (2023).

La fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fue obtenida mediante hibridación de *Fragaria virginiana* Dúchense, nativa de la costa este de Norteamérica, y de la fresa chilena *Fragaria chiloensis* Dúchense, nativa de Chile y presente en territorios de Norteamérica (Darrow, 1966) hasta la Patagonia (Chamorro, 2021). Las cuales se llevaron a Europa en el siglo XVIII. Sus frutos presentan un alto contenido de fitoquímicos benéficos con una evidente importancia en la salud humana (Giampieri *et al.*, 2012; citados por Martínez, ob cit.).

II.1.2.1.3. Composición química de la fresa

Las fresas son frutas que aportan pocas calorías y cuyo componente más abundante después del agua son los hidratos de carbono (fructosa, glucosa y sacarosa). Destaca su aporte de fibra y el alto contenido en ácido cítrico y vitamina C. La ingesta diaria recomendada para esa vitamina (100–150 mg/día) puede ser satisfecha con un promedio de 100 g de fresas por día (Kafkas *et al.* 2007; citados por Lugo y Cáceres, 2015). Contienen también ácido málico y ácido oxálico, potasio y, en menor proporción, vitamina E y vitamina B5 (niacina). Los pigmentos vegetales

que le confieren a estas frutas su color característico son los flavonoides (antocianos) como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de la fresa.

Nutrientes	Valor en 100 g
Agua (g)	91,570
Energía (kcal)	30,000
Proteína (g)	0,610
Grasa total (g)	0,370
Carbohidratos (g)	7,020
Fibra dietética (g)	2,300
Ceniza (g)	0,430
Minerales (mg)	
Calcio	14,000
Hierro	0,380
Magnesio	10,000
Fósforo	19,000
Potasio	166,000
Sodio	1,000
Zinc	0,130
Cobre	0,049
Manganeso	0,290
Selenio	0,700
Vitaminas	
Vitamina C (mg)	56,700
Tiamina	0,020
Riboflavina	0,066
Niacina	0,230
Ácido Pantoténico (mg)	0,340
Vitamina B 6 (mg)	0,059
Ácido Fólico (mg)	17,700

Fuente: Departamento de Agricultura de Carolina del Norte y Servicios al Consumidor (2022).

Tal como se aprecia en la Tabla 2, la fresa es un alimento de gran importancia nutricional, tiene un excelente sabor y es ligera, ya que más del 85% de su

composición es agua. De hecho, su aporte calórico es muy escaso: sólo 30 calorías por 100 gramos. En 100 gramos de fresas encontramos aproximadamente 0,610 gramos de proteínas, 7,020 gramos de hidratos de carbono y sólo 0,370 gramos de grasa. Su principal valor es el alto contenido en vitamina C: 100 gramos cubren la cantidad diaria recomendada (Burgos *et al.*, 2019).

También contienen vitamina A, vitamina E (0,23 miligramos por 100 gr.) y menores cantidades de otras vitaminas como las B1, B2, B3 y B6. Entre sus minerales, las fresas aportan fundamentalmente potasio y magnesio, aunque también hierro, fósforo, yodo y calcio. Tienen 2,3 gramos de fibra por 100 gramos de producto, lo que supone un aporte moderado.

II.1.2.1.4. Producción de fresa en Venezuela

La fresa se cultiva principalmente en Venezuela en la región de los Andes (Estados Táchira, Mérida y Trujillo) y en la región central de la Cordillera de la Costa (Aragua, Miranda y Vargas), siendo los mayores productores los estados Táchira y Aragua (ver tabla 3) según las estadísticas obtenidas del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MAT, 2009), citado por Parraga (2011) señalando que en los últimos 10 años la producción de fresas ha ido en aumento.

Tabla 3. Superficie, producción y rendimiento de fresa, según entidad federal.

Entidad federal	Superficie cosechada (Ha)	Producción (T)	Rendimiento (kg/Ha)
Aragua	204	5.415	26.545
Mérida	18	634	35.200
Miranda	57	285	5.000
Táchira	181	5.924	32.727
Trujillo	111	539	4.856
Vargas	52	903	17.365
Total	623	13.699	21989,26

Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MAT, 2009).

Los cultivares de fresa son afectados por las condiciones climáticas, en particular la latitud, que es uno de los principales factores de adaptación del cultivo (Krüger *et al.*, 2012; citados por Pérez de Camacaro *et al.* (2017). Sin embargo, Venezuela para el año 2022, específicamente en el estado Trujillo (Parroquias Cabimbú, Tuñame y La Quebrada) alcanzó la producción de fresas más alta de los últimos 15 años, equivalente al 83% de las que se produjeron en el país (Viloria, 2023).

II.1.2.2. Zumo de fruta

Por zumo (jugo) de fruta se entiende el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados (Codex Alimentarius, 2022).

Asimismo, la Norma venezolana COVENIN 1030:1995 lo define como el producto líquido fermentable, pero no fermentado, obtenido por procedimientos mecánicos y/o enzimáticos, a partir de las frutas y/o vegetales maduros, sanos y limpios, con color, aroma y sabor típicos de la fruta y/o vegetal del que procede.

Los zumos (jugos) se preparan mediante procedimientos adecuados que mantienen las características físicas, químicas, organolépticas y nutricionales esenciales de los zumos (jugos) de la fruta de que proceden. Podrán ser turbios o claros y podrán contener componentes restablecidos de sustancias aromáticas y aromatizantes volátiles, elementos todos ellos que deberán obtenerse por procedimientos físicos adecuados y que deberán proceder del mismo tipo de fruta. Podrán añadirse pulpa y células obtenidas por procedimientos físicos adecuados del mismo tipo de fruta.

II.1.2.2.1. Propiedades nutricionales de los zumos de frutas

El valor calórico de los zumos envasados oscila entre 40 y 60 kcal por 100 g, a excepción del zumo de limón que aporta alrededor de 8 kcal y del zumo de hortalizas (tomate y zanahoria) cuyo valor calórico también se encuentra por debajo de la media (FEN, 2019). En cuanto a los macronutrientes, el zumo destaca por su contenido en hidratos de carbono simples, con bajo contenido en proteínas y grasas. Es por ello, que nutricionalmente el zumo de fruta destaca también por su aporte en agua, vitaminas hidrosolubles y minerales.

Agua: El agua es el componente principal de los zumos de fruta y representa alrededor del 85% del peso total. Por ello, los zumos suponen una buena herramienta para mantenerse hidratado.

Energía: En su composición, los zumos de fruta al tener gran cantidad de agua, su energía es baja, siendo el melocotón y la uva los zumos que aportan más calorías (65 y 66 kcal por 100 gramos, respectivamente).

Proteínas y grasas: El contenido de proteína y grasas de los zumos de fruta es muy bajo. La concentración proteica oscila entre el 0,1 g y 1,1 g y el de grasa menos de 0,2 g por 100g.

Hidratos de carbono: Los hidratos de carbono son el nutriente que, después del agua, predomina en la composición de los zumos, y se encuentran en forma de azúcares simples. Siendo el zumo de tomate, zanahoria y limón los zumos con menor cantidad de azúcares. Los azúcares más comunes en los zumos son los monosacáridos; fructosa y glucosa, además de una combinación de ambos, la sacarosa. La cantidad de azúcares depende exclusivamente del tipo de fruta utilizado para la elaboración del zumo.

Fibra: El contenido de fibra de los zumos es más bajo si lo comparamos con la fruta entera, a excepción de los zumos de frutos rojos (especialmente el de grosella, 4,2 g por 100 g de producto). Este contenido varía significativamente dependiendo del método de extracción y del contenido final de pulpa. Pero de forma general el

contenido es menor que el de la fruta fresca (100 g/ml de zumo de naranja contienen 0,1 g de fibra vs 100 g fruta fresca naranja que aportan aproximadamente 2 g).

Vitaminas: En cuanto a estos micronutrientes, los zumos de frutas destacan por su contenido en vitamina C, ácido fólico y vitamina A: Eq. de retinol y carotenos.

Minerales: Los minerales más significativos de los zumos de frutas son el potasio y el magnesio.

Los zumos de fruta constituyen hoy en día una importante fuente de nutrientes, ya que los avances tecnológicos conseguidos en sus procesos de elaboración permiten conservar gran parte de los nutrientes de la fruta fresca de origen en proporciones significativas.

II.1.2.2.2. Zumo de fresa

El zumo de fresa es una bebida obtenida a partir de la extracción del líquido de las fresas, este zumo es conocido por su sabor refrescante y su característico color rojo vibrante (Burgos *et al.*, 2019). Entre sus beneficios nutricionales se encuentran:

- ✓ Rico en vitamina C: Ayuda a fortalecer el sistema inmunológico y promueve la producción de colágeno. Posee más cantidad de vitamina C que muchos cítricos. Su producción presenta un importante valor industrial, ya que se utiliza para elaborar productos como batidos, néctares, helados, mermeladas, yogures o gelatinas.
- ✓ Antioxidantes: Contiene polifenoles que ayudan a combatir el estrés oxidativo.
- ✓ Fibra: Aunque el proceso de licuado puede reducir el contenido de fibra, algunas recetas incluyen pulpa para mantener este beneficio, favoreciendo la digestión.

- ✓ Es refrescante, tónica, mineralizante y al contener fósforo también

ayuda a fortalecer el sistema nervioso.

II.1.2.2.2.1. Contenido nutricional del zumo (jugo) natural de la fresa

El zumo se caracteriza por poseer una variada gama de compuestos nutricionales que les confieren un atractivo especial a los consumidores. Está compuesto de agua en un 70 a 95%, pero su mayor atractivo desde el punto de vista nutricional es su aporte a la dieta de principalmente vitaminas, minerales, enzimas y carbohidratos como la fibra (Sejas, ob cit.).

La composición de la pulpa en los zumos de frutas también varía mucho entre el amplio número de frutas producidas en el país, en particular la pulpa de cada especie posee compuestos que la hacen diferente en sus características de composición, organolépticas y rendimiento, en la tabla 4 se muestra la composición nutricional del zumo de fresa según Sejas (ob cit.).

Tabla 4. Composición nutricional del zumo de fresa.

Composición Nutricional	
Nutrientes	Porción 250 ml
Proteínas (g)	0,8
Grasas (g)	0,5
Carbohidratos (g)	6,9
Fibra (g)	1,54
Calcio (mg)	28
Fósforo (mg)	27
Hierro (mg)	0,8
Vit. A (mcg)	30
Tiamina (g)	0,03
Riboflavina (mg)	0,07
Niacina (mg)	0,03
Ác. ascórbico reducido (mg)	60

*Valor de Referencia del Nutriente, calculado con base
a una dieta de 2000 Kcal

Fuente: Sejas (2014).

II.1.2.3. Microencapsulación

La microencapsulación consiste en un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas en forma líquida o gaseosa (enzimas, sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas en una matriz homogénea o heterogénea o sistema pared con el objetivo de impedir su pérdida, para protegerlas de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento, impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno o controlar su liberación hasta llegar a su objetivo, en muchos casos el tracto gastrointestinal (Hernández-Torres *et al.*, 2016).

Asimismo, Ribeiro *et al* (2020) señalan que la microencapsulación es una técnica empleada para proteger compuestos activos y nutraceuticos y consiste en recubrir de manera uniforme los ingredientes funcionales (vitaminas, enzimas, fenoles, moléculas y células) con una película polimérica para obtener cápsulas de tamaño micrométrico. Por consiguiente, el proceso de encapsulación se puede llevar a cabo en gases, gotas líquidas o pequeñas partículas sólidas (Ozkan *et al.*, 2019). De esta manera, la película actúa como barrera para proteger el compuesto activo del entorno circundante, controlar su liberación, evitar la interacción con otros ingredientes y mejorar la estabilidad de los compuestos (Ribeiro *et al.*, ob cit).

Las técnicas de microencapsulación son ampliamente utilizadas en alimentos, cosméticos, textiles, agricultura, artes gráficas, impresión, industrias tecnológicas y farmacéuticas (Muhoza *et al.*, 2020). En la industria de alimentos, las microcápsulas pueden añadirse a la matriz alimentaria, y la elección de la técnica de microencapsulación y los polímeros para cubrir los compuestos bioactivos o

probióticos son los que impulsan su liberación durante la digestión (Marluci *et al.*, 2022; citados por Mosquera-Vivas, Ayala-Aponte y Serna-Cock, 2024).

El producto resultante del proceso de microencapsulación se denomina "microcápsulas", dichas cápsulas son de tamaño micrométrico ($> 1 \mu\text{m}$), y tienen una forma esférica o regular. Las microcápsulas se pueden dividir en dos partes, el núcleo y la cubierta. El núcleo (la parte intrínseca) contiene el ingrediente activo, mientras que la cubierta protege el núcleo permanentemente o temporalmente de la atmósfera externa, una microcápsula se muestra en la figura 1 (Ghosh, 2006; citado por Toctaquiza, 2018).

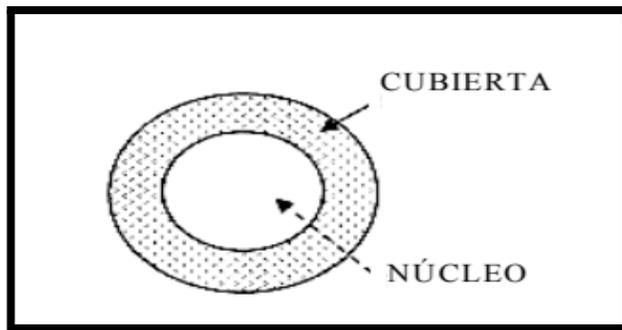


Figura 1. Microcápsula.

Fuente: Ghosh (2006).

II.1.2.3.1. Beneficios y ventajas de la microencapsulación

De acuerdo a Das (2011), la tecnología de microencapsulación es de interés para una amplia gama de industrias, incluidas la farmacéutica, alimentaria, agrícola, biotecnológica, cosmética y de otro tipo con diversas ventajas y beneficios significativos que incluyen:

- ✓ Protección efectiva del ingrediente activo encapsulado contra la degradación.

- ✓ Protección de materiales inestables y sensibles de sus ambientes antes de su uso
- ✓ Mejoramiento de la vida útil evitando reacciones de degradación (oxidación, deshidratación).
- ✓ Liberación controlada, sostenida o programada.
- ✓ Manejo seguro y cómodo de materiales tóxicos.
- ✓ Inmovilización de enzima y microorganismos.
- ✓ Abordaje de fármacos controlado y dirigido.
- ✓ La posibilidad de controlar la velocidad de liberación del ingrediente activo.
- ✓ Los pacientes podrán consumir dosis bajas para el efecto terapéutico de la atrofia muscular espinal.
- ✓ Se podrá reducir el riesgo de efectos secundarios.
- ✓ Enmascaramiento de olor o sabor para tabletas, polvos y suspensiones masticables para medicamentos infantiles.
- ✓ Prolongar la forma de dosificación de acción.
- ✓ Modificar los caracteres físicos de un material que se requiere en cierta formulación.
- ✓ Manipulación controlada y dirigida de medicamentos.
- ✓ Los líquidos pueden manejarse como sólidos.

- ✓ Manejo seguro y conveniente de sustancias tóxicas.

II.1.2.3.2. Encapsulación

La encapsulación es un proceso tecnológico que permite contener una sustancia o agente activo en el interior de otra que constituye el recubrimiento.

La encapsulación mejora la incorporación de moléculas bioactivas o nutraceuticos (antioxidantes, minerales, vitaminas, fitosteroles, luteínas, ácidos grasos, licope-no, entre otros), así como de células vivas (probióticos) (Sandoval-Peraza *et al.*, 2016).

En el mismo orden de idea, Garnica y Alcántar (2024) la definen como una técnica de recubrimiento de diversos materiales, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, creando un ambiente aislado del exterior; haciendo una función de aislante, con la capacidad de liberar su contenido de forma controlada bajo condiciones determinadas.

Estas especificaciones han llevado a describir la microencapsulación como: la técnica de obtención de una barrera que retarda las reacciones químicas con el medio que lo rodea promoviendo un aumento en la vida útil del producto, la liberación gradual del compuesto encapsulado e incluso facilitando su manipulación al convertir un material líquido o gaseoso a una forma sólida llamada microcápsula.

II.1.2.3.3. Principales técnicas de encapsulación

Dado que los compuestos que se encapsulan se encuentran a menudo en forma líquida,

la mayoría de las tecnologías se basan en procesos de secado, en el proceso de encapsulación se emplean diversas técnicas como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Técnicas de encapsulación.

Químicos		Físicos	
Químicos	Físico-Químico	Físico-Mecánico	
<ul style="list-style-type: none"> ● Polimerización 1) Emulsión <i>in vitro</i> 2) Suspensión 3) Dispersión 	<ul style="list-style-type: none"> ● Coacervación ● Evaporación de solventes ● Extracción de solventes ● Capa por capa de adsorción ● Precipitación compleja ● Gelificación iónica ● Precipitación de fluido supercrítico 	<ul style="list-style-type: none"> ● Secado por pulverización y congelación ● Encapsulación electrostática ● Recubrimiento de bandeja ● Encapsulamiento al vacío ● Extrusión ● Suspensión de aire ● Centrífuga multicanal 	

Fuente: Das (2011).

Estas técnicas de encapsulación han sido muy utilizadas para la protección de una gran variedad de ingredientes en la industria de los alimentos, ya que son consideradas como una alternativa importante a la solución de problemas que pueden surgir ya sea por inestabilidad física o química del ingrediente activo, o por incompatibilidad entre el ingrediente activo y la matriz del alimento.

Por consiguiente, la selección del método de encapsulación estará en función del tamaño medio de la partícula requerida, de las propiedades físicas del agente encapsulante, de la sustancia a encapsular, de las aplicaciones del material encapsulado propuesto, del mecanismo de liberación deseado y del costo (Hernández-Torres *et al.*, ob cit.).

II.1.2.3.4. Coacervación compleja

La tecnología de coacervación compleja fue desarrollada por National Cash Register Company en los años 50 y fue la base del papel de copia sin carbón, el primer producto comercial con encapsulados (Manojlović *et al.*, 2010). Esta técnica se clasifica como un proceso de encapsulación químico y es considerado el original y el verdadero proceso de encapsulación puesto que el material de revestimiento rodea completamente el núcleo con una capa continua que se basa en la formación de complejos de dos biopolímeros con cargas opuestas al formar una emulsión con uno de los polímeros y posteriormente el segundo biopolímero es introducido para inducir la formación de complejos (Risch, 1995; citado por Mosquera-Vivas, Ayala-Aponte y Serna-Cock, 2024).

En el mismo contexto, Gharanjig *et al* (2020) describen que una vez que el compuesto bioactivo está rodeado por estos biopolímeros (materiales de cubierta) en determinadas condiciones de pH en donde uno de los polímeros está cargado negativamente y el otro está cargado positivamente, da como resultado sistemas con alta eficiencia de encapsulación, propiedades de liberación controlada y protección mejorada de los materiales encapsulados.

Aunado a lo mencionado anteriormente, la técnica de coacervación compleja también puede ser definida como separación de fases líquido-líquido promovida por interacciones electrostáticas, enlaces de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas e interacciones de polarización inducidas entre dos polímeros de cargas opuestas en solución acuosa (Carpentier *et al.*, 2021; Vargas *et al.*, 2021; Timilsena *et al.*, 2019; Jana y Jana, 2017).

La coacervación compleja es una técnica especialmente indicada para la encapsulación de compuestos termolábiles, debido a la ausencia de tratamiento térmico (Gómez *et al.*, 2016). Es por ello, que este sistema ofrece varias

propiedades favorables que incluye la resistencia al calor, lo cual ha atraído la atención de muchos investigadores (Carpentier *et al.*, 2021; Su *et al.*, 2021). En la figura 2 se representan los pasos generales para el proceso de coacervación compleja.

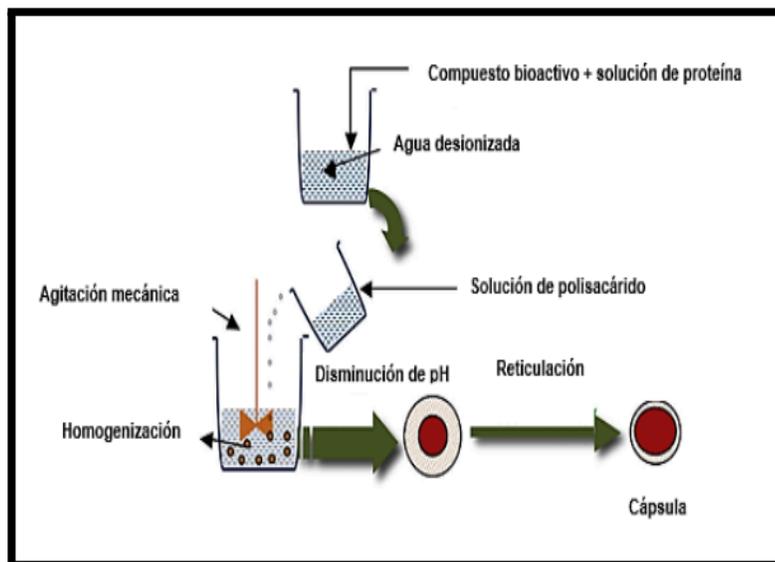


Figura 2. Técnica de coacervación compleja.

Fuente: Jain *et al.* (2016).

En los procedimientos de microencapsulación por coacervación compleja se utilizan generalmente combinaciones de una proteína y un polisacárido, en concreto gelatina y goma arábiga (goma acacia) respectivamente (Hellman, 2000, citado en Caéz, 2012; Gu *et al.*, 2010, citado por Valenzuela De León, 2020; Das, 2011).

Según Muhoza *et al.* (2020), en comparación con las técnicas convencionales de encapsulación, el proceso de coacervación compleja alcanza altas cargas útiles, una capa más gruesa, alta estabilidad térmica y liberación controlada de compuestos bioactivos. En la figura 3 se muestra la formación de la pared alrededor del compuesto bioactivo dando lugar a la cápsula generada por la técnica de coacervación compleja.

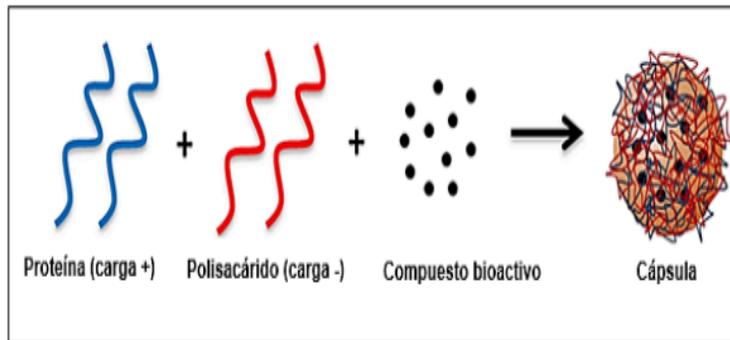


Figura 3. Formación de microcápsulas.

Fuente: Hu *et al.* (2015).

Las interacciones generadas en la coacervación compleja dependen de muchos factores, incluido el pH, la proporción de biopolímeros y su concentración, fuerza iónica, composición molecular y cambios conformacionales en estructuras secundarias y terciarias, además de la densidad de carga (Vargas *et al.*, 2021), por lo que el estudio en las interacciones moleculares entre dos polímeros de carga opuesta y su comportamiento termodinámico es fundamental para entender la organización estructural y las fuerzas involucradas en la coacervación compleja (Comunian *et al.*, 2020).

II.1.2.3.5. Sustancias encapsulantes

Las sustancias encapsulantes o material microencapsulante o de pared, son aquellas que consisten en la capa que recubre al o los compuestos de interés con el objetivo de ofrecer protección contra factores ambientales que aceleren su degradación (Mohammed *et al.*, 2020). Es por ello, que son el factor determinante en la obtención de microcápsulas, por lo que se debe elegir el material apropiado para el recubrimiento.

Los materiales de encapsulación tienen que ser sustancias para aplicación alimentaria, los denominados como generalmente reconocidos como seguros (*Generally, Recognized as Safe*, GRAS), ser compatibles con las propiedades del producto, ser biodegradables y capaces de formar una barrera entre la fase interna y su alrededor (Shishir *et al.*, 2018; Stachowiak y Szulc, 2021).

En la tabla 6 se muestran sustancias se emplean para recubrir o encapsular sólidos, líquidos o gases, de diferentes tipos y propiedades según Nedovic *et al.* (2011).

Tabla 6. Principales materiales de encapsulación.

Material para encapsular	Cobertura específica
Gomas	Acacia, agar, alginato de sodio, carragenina
Carbohidratos	Almidón, maltodextrinas, quitosano dextranos, sacarosa, jarabes de maíz
Celulosas	Etilcelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa, nitrocelulosa, carboximetil-celulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos, aceites, grasas, ácido esteárico, trisetearina
Proteínas	Gluten, caseína, albúmina, gelatina
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

Fuente: Nedovic *et al.* (2011).

II.1.2.3.5.1. Gelatina

Es una proteína que se encuentra compuesta por aminoácidos, derivado del colágeno y constituye una gran parte de tejido conectivo, este alimento natural posee un excelente poder de gelificación. Se obtiene a partir de materias primas que contengan colágeno (Crunch, 2007; citado por Toctaquiza, 2018).

La gelatina contiene entre un 84 -90% de proteína, 1-2% de sales minerales y agua, la gelatina no contiene conservantes y ningún aditivo, por lo que se encuentra libre de colesterol y de compuestos que contengan ácido úrico. Presenta buenas propiedades de emulsificación, formación de películas, solubilidad de agua y biodegradabilidad.

En la microencapsulación se emplea la gelatina como agente encapsulante de compuestos bioactivos como: vitaminas, lípidos, aminoácidos, minerales, entre otros, con la finalidad de protegerlos de factores como el calor, humedad, oxidación y volatilidad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad que ayudan a la protección de los materiales alimenticios empleados de las condiciones de procesamiento y empaado, mejorando el sabor, aroma, estabilidad y apariencia de los productos finales (Bravo *et al.*, 2017).

II.1.2.3.5.2. Goma arábiga

Es un polisacárido de origen natural que se extrae de la resina de árboles subsaharianos (*Acacia senegal* y *Acacia seyal*) como parte del proceso de cicatrización de éstos conocido como gummosis. Químicamente se trata de un polisacárido con cantidades variables de D-galactosa, L-arabinosa, L-ramnosa y algunos ácidos derivados como el ácido D-glucorónico o el 4- O-metil-D-ácido glucorónico.

Dentro de las principales aplicaciones que tiene la goma arábiga se encuentran: Películas protectoras para sabores, colores y vitaminas, en donde los sabores secados por aspersión o encapsulados que actualmente se prefieren al uso de los almidones modificados. También puede formar geles de un voluminoso contenido de sólidos de este tipo, así como se puede usar a concentraciones, mucho menor con otras gomas, como espesantes (Toctaquiza, ob cit.).

Cabe considerar, por otra parte, que el uso de la goma arábica conduce a mejores propiedades físicas, entre ellas: rendimiento, densidad aparente, solubilidad y morfología del encapsulado; además, se ha demostrado que la goma arábica funciona mejor en combinación con otros materiales de pared como la gelatina (Cardona *et al.*, 2021).

II.1.2.4. Definición de términos básicos

Frutas: Las frutas se consideran partes comestibles de las plantas (por ejemplo, estructuras portadoras de semillas, flores, hojas, tallos, brotes y raíces), ya sean cultivadas o cosechadas en forma silvestre, en estado crudo o en forma mínimamente elaborada (FAO, 2021).

Componentes bioactivos:

Un compuesto bioactivo es toda sustancia que tiene una actividad biológica en el organismo, dicha actividad puede desencadenar efectos positivos o negativos dependiendo del tipo de compuesto, dosis o biodisponibilidad de este (INDUALIMENTOS, 2019).

Vitamina C:

La vitamina C o ácido ascórbico es una vitamina hidrosoluble derivada del metabolismo de la glucosa. Actúa como agente reductor y es necesaria para la síntesis de las fibras de colágeno a través del proceso de hidroxilación de la prolina y de la lisina (Coronel y Pérez, 2016).

Zumo de fruta:

Es aquel que se obtiene de la fruta mediante procesos mecánicos, fermentable pero sin fermentar, que tiene las características de color y sabor típicos de la fruta de la que procede (COVENIN, 1030:1995).

Microencapsulación:

La microencapsulación es una técnica empleada para proteger compuestos activos y nutracéuticos y consiste en recubrir de manera uniforme los ingredientes funcionales (vitaminas, enzimas, fenoles, moléculas y células) con una película polimérica para obtener cápsulas de tamaño micrométrico (Cardona, Patiño y Ormaza, 2021).

Pasteurización:

Consiste básicamente en someter a los alimentos, principalmente en estado líquido, a diferentes temperaturas y tiempo, de tal manera que se elimina la carga microbiana patógena que pueda contener un producto (Tirado, Yacub, Cajal, Murillo y Leal, 2017).

Alimentos funcionales:

Son aquellos que además de aportar los nutrientes básicos, otorgan beneficios adicionales en una o más funciones del organismo humano (Fuentes, Acevedo y Gelvez, 2015).

Proteínas:

Las proteínas son macromoléculas formadas por carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrogeno, y en menor cantidad pueden contener: fosforo, azufre y otros elementos como magnesio, cobre y hierro. Además, Son cadenas de unidades de aminoácidos que se encuentran unidos por medio de enlaces peptídicos entre los grupos carboxilo y el grupo amino (Luque-Guillen, s/f).

Gomas:

Son moléculas de alto peso molecular con características o hidrofílicas o hidrofóbicas que, usualmente, tienen propiedades coloidales, con capacidad de producir geles al combinarse con el solvente apropiado (Martínez-Castillo, 2018).

Vida útil:

La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, y sufrirá un cambio en su perfil microbiológico (Carrillo y Reyes, 2013).

II.1.2.5. Formulación del sistema de hipótesis

II.1.2.5.1. Hipótesis de la investigación

Las combinaciones de los factores en estudio (concentración de gelatina y concentración de goma arábica), responderán a la tecnología de microencapsulación que se aplicará, y se formarán microcápsulas de componentes bioactivos del zumo de fresa con características fisicoquímicas medibles.

II.1.2.5.2. Hipótesis operacional

Las características del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*) encapsuladas con gelatina y goma arábica por coacervación compleja, serán comparables a las de los obtenidos en otros zumos de frutas encapsulados.

II.1.2.5.3. Hipótesis estadística

La variabilidad de las respuestas de los zumos de fresa encapsulados con gelatina y goma arábica por coacervación compleja, permitirán modelar y visualizar gráficamente la variabilidad del proceso, en función de las variables independientes, permitiendo optimizar el proceso.

II.1.2.6. Formulación del sistema de variables

II.1.2.6.1. Variables independientes de la matriz de diseño

Las variables independientes son todos aquellos factores que modifican, modulan o controlan el proceso y transforman las variables respuestas de la matriz de diseño. Para efecto de esta investigación, se seleccionaron solo dos variables independientes, las cuales son:

X_1 = Concentración de gelatina (%)

X_2 = Concentración de goma arábica (%)

II.1.2.6.2. Variables dependientes

Las variables dependientes son las respuestas que se dan a medir en cada tratamiento aplicado de acuerdo a lo que se estipuló en la matriz “D” de diseño, cuando se varían las dosis de las variables independientes. Para efecto de esta investigación, se medirán como variables dependientes:

Y_1 = pH

Y_2 = Acidez titulable total (%)

Y_3 = Sólidos solubles (°Brix)

Y_4 = Concentración de vitamina C (%)

Y_5 = Potencial de óxido reducción (mV)

II.1.2.6.3. Variables o condiciones fijas

Son aquellas variables o factores que mantienen valores fijos para todos los tratamientos de la matriz de diseño. Para efecto de esta investigación se tendrán las siguientes: cantidad de zumo de fresa (ml), temperatura de pasteurización (°C), temperatura de secado de las microcápsulas (°C) y tiempo de secado de las microcápsulas (°C).

II.1.2.7. Operacionalización de las variables

En el Cuadro 1, se muestran los indicadores, tipo de variable, escala de las variables y rangos utilizados en la operacionalización, que en este tipo de investigación cuantitativa ayuda a comprobar empíricamente las variables de las hipótesis.

Cuadro 1. Operacionalización de las variables.

Variables	Tipo de variables	Tipo de escala	Indicadores	Rango
Gelatina	Independiente	Continua	%	1-5
Goma arábica	Independiente	Continua	%	1-5
pH	Dependiente	Continua		0-14
Acidez titulable	Dependiente	Continua	%	0,70-0,80
Sólidos solubles	Dependiente	Continua	°Brix	12-14
Ácido ascórbico	Dependiente	Continua	mg	50-60
POR	Dependiente	Continua	mV	100-200
Zumo de fresa	Fija	Continua	ml	150 máx.
T° de Pasteurización	Fija	Continua	°C	70-72
T° de Secado	Fija	Continua	°C	60-65
Tiempo de secado	Fija	Continua	°C	35-45

Fuente: Elaboración propia (2024).

CAPITULO III

III.1. MARCO METODOLOGICO

III.1.1. Tipo de investigación

La investigación desarrollada es de tipo exploratoria y experimental; realizada bajo condiciones controladas; en el Laboratorio de Ingeniería y Tecnología de Alimentos de la UNELLEZ San Carlos, Venezuela. Los resultados que se generaran son válidos para el proceso específico de la “Respuesta tecnológica de la microencapsulación por coacervación compleja del zumo de fresa (*Fragaria x*

ananassa) empleando gelatina y goma arábica”. Para la realización de la misma se construirá un diseño experimental que se ajusta a cada una de las respuestas para las condiciones controlada y estadísticamente diseñadas.

Cabe mencionar que, según Arias (2013) citado por García y Acosta (2024), la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos.

Por otra parte, la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o a un grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o condiciones (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente) (Arias, *ob cit.*).

III.1.2. Población y muestra

III.1.2.1. Población

Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.174) definen la población como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”. Por otra parte, Arias (*ob cit.*) se refiere a la población como “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación”. Para efecto de esta investigación, la población estuvo formada por:

- ✓ La fresa: la cual se encontró en estado de madurez plena, fue adquirida de locales comerciales ubicados en la avenida Bolívar, de la Ciudad de San Carlos, Edo. Cojedes.

III.1.2.2. Muestra

La muestra utilizada en la experimentación estuvo representada por las unidades experimentales que indicó la matriz de tratamientos del diseño estadístico establecido, le correspondieron 9 tratamientos distintos sin repetición, de 150 ml de zumo, con restricción.

Al respecto, Tamayo y Tamayo (2006, p.176), define la muestra como el “conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población, universo o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada. No obstante, Palella y Martins (2008, p.93) la define como “una parte o el subconjunto de la población dentro de la cual deben poseer características reproducen de la manera más exacta posible”.

III.1.3. Diseño de la investigación

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), el diseño de investigación es el “modelo que adopta el investigador para precisar un control de las variables del estudio” (p.53), es decir, se refiere a las estrategias, procedimientos y pasos que se debe tener para abordar la investigación, lo que encierra un conjunto de procedimientos racionales y sistemáticos llevados a cumplir con la solución del problema general.

III.1.3.1. Diseño de muestreo de los tratamientos

Para las muestras de cada tratamiento se diseñó estadísticamente una Matriz “D”, utilizando el software estadístico STATISTICA, con la plataforma **Industrial Statistics & six sigma**, el modulo **Experimental Design (DOE)**; y la opción **3** (K-p) and Box-Behnken design**; de allí se selecciona la opción **Factorial designs**, 2/1/9, significando que se construyó un diseño factorial de respuesta para dos (2) factores experimentales, en un bloque para un total de 9 muestras o tratamientos

distintos, con puntos centrales sin repetición; al aceptar esta secuencia, el programa genera automáticamente una matriz de dos columnas o (dos factores) con valores codificados (-1,0,+1), llamada matriz “D” de diseño de tratamientos, que se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Matriz “D” de diseño con variables codificadas.

CORRID A	X₁	X₂
1	0,00000	0,00000
4	1,00000	1,00000
7	-1,00000	1,00000
2	0,00000	-1,00000
5	-1,00000	0,00000
8	1,00000	0,00000
3	1,00000	-1,00000
6	-1,00000	-1,00000
9	0,00000	1,00000

Fuente: JMP v.8

III.1.3.2. Materiales y métodos

III.1.3.2.1. Materiales

Fresa

La fresa en estado de madurez plena utilizada para esta investigación fue adquirida de locales comerciales ubicados en la avenida Bolívar, de la ciudad de San Carlos, estado Cojedes. Además, al momento de adquirirlas, se verificó que cada una de las fresas no mostraran signos de daños o deterioro. Luego se trasladaron al Laboratorio de Ingeniería y Tecnología de los Alimentos (LITA) de la UNELLEZ-VIPI, San Carlos, Edo. Cojedes Venezuela, para su procesamiento.

Gelatina

La gelatina sin sabor utilizada para la investigación fue adquirida de locales comerciales ubicados en la avenida Ricaurte de la ciudad de San Carlos, estado. Cojedes y posteriormente llevadas al LITA de la UNELLEZ para el debido proceso.

Goma arábica

Fue obtenida mediante su compra, en una tienda naturista de la ciudad de Valencia, estado. Carabobo y llevada al LITA de la UNELLEZ para la realización de la investigación.

III.1.3.2.1.1. Equipos e instrumentos

- Ácido cítrico
- Fenolftaleína 1%
- Estufa
- Medidor de pH
- Balanza analítica
- Plancha de calentamiento
- Refractómetro
- Termómetro
- Cilindro graduado 100 ml
- Bureta Graduadas de 50 ml

- Beaker de 50, 100 y 250 ml
- Tirro
- Marcador
- Desecador de vidrio
- Soluciones buffer para calibración de pH 4 y 7
- Pipeta volumétrica de 10 ml
- Secador de bandeja
- Tamiz
- Cuchillo de acero inoxidable
- Agua destilada
- Recipientes de plástico
- Bolsas ziploc
- Colador plástico
- Vaso de precipitado
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N
- Licuadora
- Agitador de vidrio

- Espectrofotómetro
- Hipoclorito de sodio
- Extractor de zumo

III.1.3.2.2. Métodos

a) Metodología para la determinación de las propiedades físicas y químicas

Para llevar a cabo esta etapa de la investigación, se presenta una metodología que se basa en los análisis físicos y químicos para conocer las composiciones de las unidades experimentales que presentó mejor comportamiento durante el ensayo, a la materia prima a utilizar para los tratamientos de la matriz de diseño y a la unidad experimental que presentó mejores características durante el proceso.

A la materia prima y a todas las unidades experimentales se les midió las variables que fueron objeto de estudio para el encapsulado del zumo de fresa (pH, acidez titulable total, sólidos solubles, densidad, vitamina C y potencial de óxido reducción), utilizando los métodos de análisis fisicoquímicos que se describen a continuación:

Determinación de potencial de hidrogeno (pH): El pH es una medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución. Dicha determinación se aplica haciendo uso de la Norma Venezolana COVENIN N° 1315 – 1990.

Acidez titulable total (ATT): La acidez libre (acidez titulable) representa a los ácidos orgánicos presentes que se encuentran libres y se mide neutralizando los jugos o extractos de frutas con una base fuerte, el pH aumenta durante la neutralización y la acidez titulable se calcula a partir de la cantidad de base necesaria para alcanzar el pH del punto final de la prueba.

Se determina usando la Norma Venezolana COVENIN N° 1769 – 1981. Los resultados se calcularon mediante la expresión siguiente:

$$\% Ac = \frac{V*N*Pmeq}{G} * 100$$

Dónde:

% Ac: Contenido de ácido cítrico (g / 100 g)

V: Volumen del NaOH consumido en la titulación

Pmeq: Peso equivalente del ácido predominante (g/100 g)

G: Peso de la muestra considerada en la dilución

Sólidos solubles totales (SST): Se medirá por el método COVENIN N° 924 – 83, mediante el uso de un refractómetro. Los resultados se expresaron en °Brix.

Determinación de vitamina C: El contenido de vitamina C se determinará por espectrofotometría mediante el siguiente procedimiento:

- 1.- Triturar 25 g de la muestra con 175 ml de ácido oxálico al 0,4% en una licuadora.
- 2.- Filtrar el homogenizado dos veces con papel filtro Wathman N° 42.
- 3.- Transferir 1 ml de la muestra filtrada más 9 ml de agua destilada al tubo de ensayo III (muestra blanco).
- 4.- Transferir 1 ml de la muestra filtrada más 9 ml de 2,6 diclorofenol al 0,0012% al tubo de ensayo IV. El tubo I estaba constituido de 10 mL de agua destilada y el tubo II de 1 mL de ácido oxálico al 0,4% más 9 mL de 2,6 diclorofenol al 0,0012%.
- 5.- Mantener la temperatura a 22°C.
- 6.- Realizar las lecturas a 520 nm en el espectrofotómetro UV visible
- 7.- Cuantificar la vitamina C con la ecuación de la curva estándar $Y = a + bx$.

b) Metodología del proceso de microencapsulación por coacervación compleja del zumo de fresa

Para el proceso de microencapsulación del zumo de fresa, se adaptó la metodología empleada por Coronel y Pérez (2016), la cual se muestra en la figura 6.

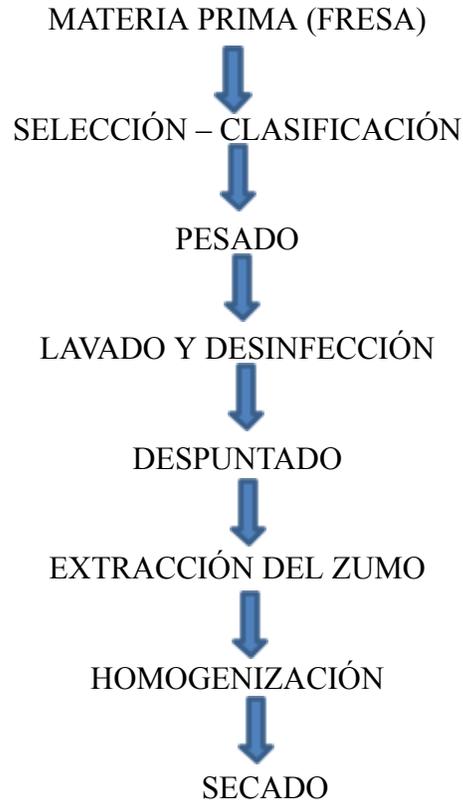


Figura 4. Proceso de microencapsulación del zumo de fresa.

Fuente: Coronel y Pérez (2016).

A continuación se describen de forma general las etapas del proceso de microencapsulación del zumo de fresa:

Materia prima: El fruto con el cual se trabajara como materia prima es la fresa (*Fragaria x ananassa*). Antes de realizar el proceso de extracción del zumo, es conveniente realizar un conjunto de operaciones que garantice estos objetivos.

Selección de la materia prima: Es la etapa en la que se separan los frutos dañados para lograr una muestra homogénea como: color y textura.

Pesado: Luego de seleccionar los frutos de fresa, se pesa el fruto y se trabaja con una determinada cantidad para realizar todos los análisis correspondientes.

Lavado y desinfección: Para la eliminación de agentes contaminantes en la superficie del fruto con agua potable, posteriormente se sumerge a la fruta en una solución de 5 litros de agua y 5 ml de hipoclorito de sodio (50ppm/10 min).

Despuntado: Se realiza manualmente con un cuchillo de acero inoxidable, se corta la parte superior o pedúnculo donde estaba unida a la planta y la punta de la parte inferior.

Extracción del zumo: Se realiza la extracción con un exprimidor de mano, con la finalidad de extraer el jugo en su totalidad y luego separar los sólidos a través de un colador, llegando a obtener de 150 a 170 ml de muestra.

Homogenización de la muestra: Después de obtener el zumo de la fresa, se separan 150 ml y se homogenizó adicionando las sustancias encapsulantes (gelatina y la goma arábiga) con las cuales se trabajó. Esto se lleva a cabo en una licuadora; y se agregan los encapsulantes poco a poco, para así obtener una mezcla completa y homogénea y no se observen grumos, ya que esto dificultaría el proceso de secado.

Secado: El zumo encapsulado se procedió a secar en una corriente de aire caliente a 60°C aproximadamente por 35 minutos, hasta ver que ya se haya consumido toda la muestra homogenizada.

c) Metodología del arreglo estadístico de tratamientos experimental del proceso de optimización de microencapsulación del zumo de fresa.

La investigación experimental y exploratoria realizada se efectuó bajo un diseño factorial completo 3** (2-0), un punto central sin repetición para dos factores experimentales para un total de 9 tratamientos o corridas, bajo

condiciones de superficie de respuesta y co-optimización, como se muestran en el Cuadro 2.

El número de tratamientos (T) que aportó el diseño seleccionado corresponde a la cantidad de tratamientos en un diseño factorial completo, usando para su determinación el núcleo 2^k y aplicando la siguiente expresión:

$$T = 2^k + 2 * k + P_c$$

Dónde:

K = cantidad de factores en estudio

P_c = cantidad de puntos centrales

Entonces:

$$T = 2^2 + 2 * 2 + 1$$

T = 9 tratamientos.

Previo a la ejecución de los tratamientos diseñados, se efectuaron una serie de pruebas pilotos con el objeto de familiarizarse con la metodología de obtención del encapsulamiento del zumo de fresa, así como el uso de los instrumentos y equipos. Además, con estas pruebas preliminares se pudo estimar los valores que se utilizaron de gelatina y goma arábica, necesarios para la determinación de los rangos y niveles de los factores en la elaboración de la matriz de diseño, los cuales se pueden apreciar en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Rangos y niveles de los factores experimentales.

Factor	-1	0	1
X ₁ Gelatina	1,5	2	3
X ₂ Goma arábica	0,8	1	1,5

A continuación se muestra en el Cuadro 4, los valores naturales que se utilizaron en el experimento para la elaboración de los tratamientos de gelatina y goma arábica.

Cuadro 4. Matriz de diseño con valores naturales en el experimento final de la gelatina y goma arábica.

Tratamiento	FACTORES EXPERIMENTALES	
	Gelatina (X_1)	Goma Arábica (X_2)
1	2	1
2	1,5	1,5
3	1,5	1,5
4	2	0,8
5	1,5	1
6	3	1
7	3	0,8
8	1,5	0,8
9	2	1,5

Para el proceso experimental del producto zumo de fresa encapsulado por coacervación compleja con gelatina y goma arábica como sustancias encapsulantes, que cumplieron con las restricciones de calidad en la optimización de los tratamientos diseñados, se recolectaron datos numéricos (respuestas) en escala continua, con los cuales se ajustó un modelo informático para simulación, de múltiples respuestas, en función de los factores experimentales; un modelo lineal múltiple cuadrático con interacciones de 1er orden (MLMCI1erO), según recomendaciones de Bradley y Rachel (2009) y Kuhn, (2014); la optimización vía simulación del producto, se realizará con el simulador del software SAS JMP 8.

CAPITULO IV

IV.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1.1. Resultados de la caracterización física y química del zumo de fresa (*Fragaria x ananassa*).

En el cuadro 3 se muestran los resultados de la caracterización parcial de las propiedades físicas y químicas realizada al zumo de fresa antes de preparar los tratamientos o unidades experimentales microencapsulados con gelatina y goma arábica generados por la matriz de diseño, dicho zumo de fresa arrojó los siguientes valores: pH (3,70), acidez titulable total (0,5154 %), sólidos solubles (4 °Brix), potencial de óxido reducción (60 mV), vitamina C (49 mg/100ml) y densidad relativa (1,038 g/cm³).

Cuadro 3. Caracterización parcial de las propiedades físicas y química del zumo de fresa, en su estado natural.

Materia prima	pH	ATT (%)	S.S. (°Brix)	POR (mV)	Densidad relativa (g/cm³)	Vit. C (mg/100ml)
Zumo de fresa	3,70	0,5154	4	60	1,038	49

El zumo de fresa recién extraído y analizado en el Laboratorio de Ingeniería y Tecnología de los Alimentos de la UNELLEZ-VIPI, fue sometido a un conjunto de análisis físicos y químicos, donde se obtuvo que la calidad primaria cumplió con los requisitos mínimos establecidos en la norma del CODEX ALIMENTARIUS (2022) para zumos (jugos) y néctares de frutas CXS 247-2022.

Con relación al pH del zumo de fresa en su estado natural de 3,70 este se encuentra por encima al del obtenido por Alcántara (3,39) (2009) y Cuevas (3,59) (2012). Sin embargo, el pH representa la concentración de iones hidrogeno e indirectamente la acidez de la fruta, por eso es importante desde el punto de vista del sabor medir la acidez de la fruta por titulación y no mediante el pH de la fruta, porque los jugos tienen una considerable capacidad reguladora por lo que el pH no representaría la acidez de la fruta.

En este sentido, el porcentaje de acidez titulable se calculó en términos del ácido que predominó en la fruta, por lo general es ácido cítrico, arrojando un valor de 0,52% en el zumo de fresa, el cual presenta una acidez titulable menor al obtenido por Alcántara (1,04%) (2009) y Cuevas (0,87%) (2012), considerando que pudo ser afectado al momento de realizar el análisis, así como a la madurez de la fruta. Cabe considerar, que La Guía Práctica de Exportación de Fresas a los Estados Unidos (2015) establece como estándar de calidad para un sabor aceptable en dicha fruta, un máximo de 0,8% de acidez total titulable, por lo cual la acidez del zumo obtenido se encuentra cercano a ese parámetro de calidad.

En cuanto al contenido de sólidos solubles (4 °Brix), dicho valor se encuentra por debajo al reportado por Cuevas (2012) de 6,23 °Brix, así como al nivel mínimo de °Brix para zumos y jugos establecidos por el CODEX ALIMENTARIUS (2022) de 7,5 °Brix, de tal manera que la relación sólidos solubles/acidez puede afectar el sabor del zumo de fresa.

En el caso del contenido de vitamina C, el valor está por debajo de los reportados por Campos (2021) y Alcántara (2009) de 60 y 57,96 mg/100 ml respectivamente, esto es debido posiblemente a que hubo pérdidas de la vitamina durante el traslado de las fresas al laboratorio, o también puede ser debido al método empleado en la determinación.

IV.1.2. Resultados de la optimización del proceso de formulación de la mezcla de gelatina y goma arábica para la microencapsulación del zumo de fresa.

Se optimizó el proceso de formulación de la mezcla de gelatina y goma arábica para la microencapsulación del zumo de fresa, aplicando las metodologías empleadas por Coronel y Pérez (2016) y Toctaquiza (2018) como técnica de microencapsulados por coacervación compleja, la cual se adaptó para dicho proceso.

Se prepararon dos soluciones en agua destilada entre 45-50°C, primero una solución de 250 ml de gelatina (1% p/v) y segundo una solución de 250 ml de goma arábica (1% p/v), con agitación en un mezclador magnético continuo durante 3 a 5 min hasta quedar uniformes. Al momento de ser agregadas al compuesto bioactivo (zumo de fresa) durante la homogenización, se realizó el control de la temperatura y ajuste del pH entre 3 y 4,5. Luego, se comprobó la eficiencia de la técnica de microencapsulación por coacervación compleja a través de microscopía óptica, en

tintura de azul de metileno, como se observan las microcápsulas del zumo de fresa en la figura 6.

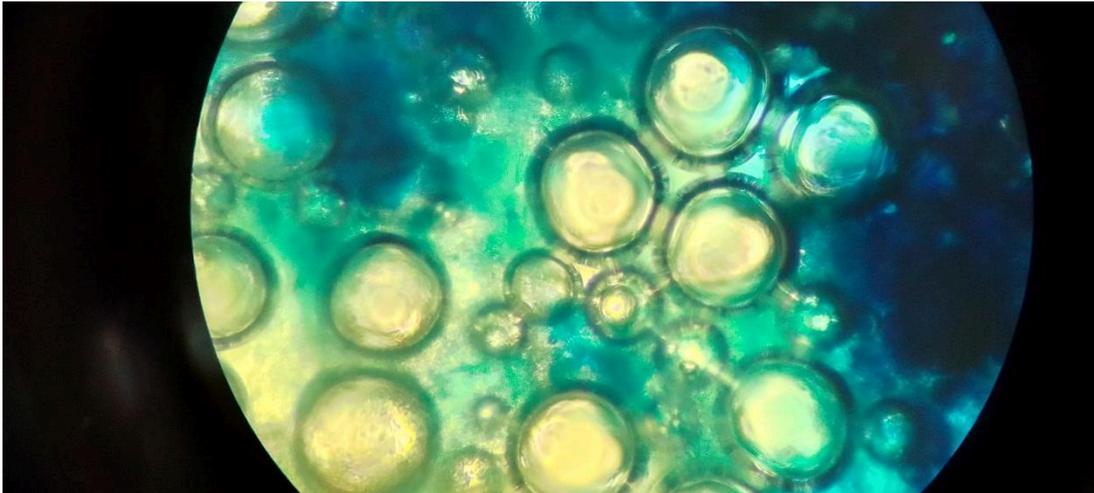


Figura 6. Microcápsulas de zumo de fresa.

IV.1.3. Resultados del arreglo estadístico del proceso de optimización de microencapsulación del zumo de fresa.

En el cuadro 4, se muestran los resultados de la presente investigación, donde se pueden apreciar los valores naturales de los factores en estudio y las repuestas medidas (pH, acidez titulable total, sólidos solubles y potencial de óxido reducción) por cada tratamiento correspondiente.

Cuadro 4. Resultados de los factores experimentales y las variables repuestas.

Trat.	FACTORES EXPERIMENTALES		FACTORES RESPUESTAS			
	Gelatina (X ₁)	Goma arábica (X ₂)	pH (Y ₁)	ATT (Y ₂) (%)	S.S. (Y ₃) (°Brix)	POR (Y ₄) (mV)
1	2	1	4,2	0,62	7	75
2	1,5	1,5	4,5	0,59	6	69

3	1,5	1,5	4,6	0,61	5	71
4	2	0,8	4,1	0,63	6	73
5	1,5	1	4,2	0,60	6	69
6	3	1	4,3	0,67	8	79
7	3	0,8	4,4	0,66	7	68
8	1,5	0,8	4,0	0,63	7	73
9	2	1,5	4,1	0,60	7	77

Fuente: Elaboración propia (2025).

IV.1.3.1. Discusión de la respuesta pH

Una vez corrido el programa, se observa en primer lugar la gráfica de los valores medidos experimentalmente contra los valores predichos por el modelo (Figura 7).

Figura 7. Gráfica de los valores predichos por el modelo ajustado contra los valores medidos experimentalmente para la respuesta pH.

Como se observa en la figura 7, los datos se encuentran dispersos alrededor de la recta, que aunque no están sobre ella, puede tomarse a prioridad como índice de bondad de ajuste, dando estos indicios que la variabilidad de la respuesta pH, es explicada por los factores experimentales seleccionados, con el modelo selecto y bajo las condiciones experimentales ensayadas. La misma tendencia se encontró para las respuestas ATT, S.S. y POR, gráficos mostrados en los anexos 1, 2 y 3.

Este mismo gráfico nos indica que no existe evidencia que indique violación en el supuesto de homogeneidad de la varianza, puesto que los valores se están muy cerca de la recta sin correlación aparente.

Para determinar si hubo efecto significativo de tratamiento, significancia de la regresión, significancia de cada factor experimental y de cada componente del modelo en las respuestas pH, ATT, S.S. y POR, se construyó el análisis de la varianza (ANAVAR), Cuadros 6, 7, 8 y 9 respectivamente. El análisis de la varianza se realizó con la ayuda de los programas estadísticos STATISTICA v.70 y JMP v. 8.0.

IV.1.3.1.1. Análisis de la varianza para la respuesta pH

Como puede observarse en el Cuadro 6, el análisis de la varianza para la respuesta pH, los tratamientos no fueron significativos ($p > 0,05$), indicando que no hubo efecto de los tratamientos en el pH del zumo de fresa microencapsulado, así como la regresión o modelo que tuvo un efecto poco significativo sobre la respuesta pH ($p < 0,001$), sin embargo la interacción X_1X_2 mostró un efecto significativo sobre la respuesta pH ($p < 0,001$). La falta de ajuste no fue significativa ($p > 0,05$), indicando que el modelo de regresión generado ajusta los datos moderadamente, con un R^2 de 96%. Lo cual indica que el 96% de las variaciones de los factores independientes son explicadas por las variaciones de las respuestas en el modelo obtenido.

Cuadro 6. Análisis de la varianza para la respuesta pH.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	p<F
Tratamientos	8	0,3200	0,0400	8	0,0573*
Regresión	5	0,3087	0,0617	12,3 4	0,0315*
X ₁	1	0,0353	0,0353	7,06	0,0678ns
X ₂	1	0,0109	0,0109	2,18	0,2813ns
X ₁ ²	1	0,0053	0,0053	1,06	0,5361ns
X ₂ ²	1	0,0149	0,0149	2,98	0,1997ns
X ₁ X ₂	1	0,1170	0,1170	23,4	0,0126**
Falta de Ajuste (FA)	2	0,0063	0,0032	0,64	0,7275ns
Error Exp.	3	0,0113	0,0038	0,76	0,6650ns
Error Puro	1	0,0050	0,0050		
Total	9	0,3250			

$$R^2 = (SCReg/SCTot) * 100 = 96\%$$

P≤0,05 → *: Significativo. P≤0,01 **: Altamente significativo.

IV.1.3.2. Discusión de la respuesta acidez titulable total (ATT)

IV.1.3.2.1. Análisis de la varianza para la respuesta ATT

En el cuadro 7 se observa el ANAVAR realizado para la respuesta acidez titulable total, allí se muestra que los tratamientos y la regresión no fueron significativos ($p > 0,05$), indicando que no hubo efecto de los tratamientos sobre la variabilidad de la respuesta ATT, estos resultados junto a la baja significancia de la falta de ajuste ($p > 0,05$), indican que el modelo de regresión generado ajusta los datos moderadamente, con un R^2 de 90%. El hecho de obtener altos valores de R^2 significa una alta correlación entre los datos de los factores experimentales seleccionados con el modelo seleccionado.

Cuadro 7. Análisis de la varianza para la respuesta ATT.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	p<F
Tratamientos	8	0,0059	0,0007	3,5	0,1655ns
Regresión	5	0,0054	0,0011	5,5	0,0942ns
X_1	1	0,0006	0,0006	3	0,1982ns
X_2	1	0,0004	0,0004	2	0,3074ns
X_1^2	1	0,0003	0,0003	1,5	0,4043ns
X_2^2	1	0,0000	0,0000	0,25	0,9481ns
X_1X_2	1	0,0000	0,0000	0,25	0,9481ns
Falta de Ajuste (FA)	2	0,0004	0,0002	1	0,5589ns
Error Exp.	3	0,0006	0,0002	1	0,5589ns
Error Puro	1	0,0002	0,0002		
Total	9	0,0061			

$$R^2 = (SC_{Reg}/SC_{Tot}) * 100 = 90\%$$

$P \leq 0,05 \rightarrow *$: Significativo. $P \leq 0,01 **$: Altamente significativo.

IV.1.3.3. Discusión de la respuesta sólidos solubles (S.S.)

IV.1.3.3.1. Análisis de la varianza para la respuesta S.S.

En el cuadro 8 se observa el ANAVAR realizado para la respuesta sólidos solubles del zumo de fresa microencapsulado, allí se muestra que los tratamientos, la regresión o modelo utilizado y la falta de ajuste, que presentaron un efecto poco significativo sobre la respuesta S.S. ($p < 0,001$), así como para la mayoría de los factores experimentales, indicando que no hubo efecto de los °Brix del zumo de fresa; estos resultados junto al alto R^2 de **83%**, mostraron una buena bondad de ajuste del modelo planteado.

El hecho de obtener altos valores de R^2 significa una alta correlación entre los datos de los factores experimentales seleccionados con el modelo seleccionado.

Cuadro 8. Análisis de la varianza para la respuesta S.S.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	p<F
Tratamientos	8	5,7222	0,7153	1,43	0,3903ns
Regresión	5	5,1436	1,0287	2,06	0,2983ns
X_1	1	1,8976	1,8976	3,80	0,1499ns
X_2	1	0,2718	0,2718	0,54	0,7839ns
X^2_1	1	0,1954	0,1954	0,39	0,8724ns
X^2_2	1	0,0008	0,0008	0,001	1,0000ns
X_1X_2	1	1,6547	1,6547	3,31	0,1768ns
Falta de Ajuste (FA)	2	0,5787	0,2894	0,58	0,7610ns
Error Exp.	3	1,0787	0,3596	0,72	0,6852ns
Error Puro	1	0,5000	0,5000	6	

Total	9	6,2222
-------	---	--------

$$R^2 = (SC_{Reg}/SC_{Tot}) * 100 = 83\%$$

$P \leq 0,05 \rightarrow *$: Significativo. $P \leq 0,01 **$: Altamente significativo.

IV.1.3.4. Discusión de la respuesta POR

IV.1.3.4.1. Análisis de la varianza para la respuesta POR

En el Cuadro 9 se observa el anavar realizado para la respuesta POR, allí se muestra que los tratamientos y falta de ajuste no fueron significativos ($p > 0,05$), indicando que no hubo efecto de los tratamientos sobre el control de la variable POR, también se puede ver que la variable Gelatina (X_1) mostro un efecto altamente significativo sobre la respuesta POR ($p < 0,001$). Sin embargo, la regresión o modelo utilizado mostro baja significancia, así como también la variable Goma Arábica (X_2) indicando que los datos se ajustan moderadamente con un R^2 de 82%, lo cual indica que el 82% de las variaciones de los factores independientes son explicadas por las variaciones de las respuestas en el modelo obtenido, mostrando una buena bondad de ajuste del modelo planteado para las condiciones ensayadas.

Cuadro 9. Análisis de la varianza para la respuesta POR.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	p<F
Tratamientos	8	113,999	14,249	7,12	0,0671ns
Regresión	5	95,3792	19,075	9,54	0,0451*
X_1	1	56,2082	56,208	28,1	0,0097**
X_2	1	32,6933	32,693	16,3	0,0212*

X ² ₁	1	0,8477	0,8477	0,42	0,8547ns
X ² ₂	1	0,0633	0,0633	0,03	0,9999ns
X ₁ X ₂	1	44,7792	44,779 2	22,3 9	0,0135*
Falta de Ajuste (FA)	2	18,6208	9,3104	4,66	0,1164ns
Error Exp.	3	20,6208	6,8736	3,44	0,1689ns
Error Puro	1	2,0000			
Total	9	115,999	9		

$$R^2 = (\text{SCReg}/\text{SCTot}) * 100 = 82\%$$

P ≤ 0,05 → *: Significativo. P ≤ 0,01 **: Altamente significativo.

IV.1.3.5. Discusión de la optimización multirespuesta de las respuestas: pH, ATT, S.S. y POR con los factores experimentales.

Las técnicas de co-optimización multifactorial-multirespuesta, se realizaron con el software JMP v.8, utilizando el método gráfico-matemático dinámico de perfiles de respuestas múltiples, y gráficas de deseabilidad co-optimizadas con funciones de control de pérdida de calidad.

En la figura 8, se muestra la relación entre las variables dependientes e independientes, arrojando así, una predicción de mínimos cuadrados apropiado sin optimizar los valores.

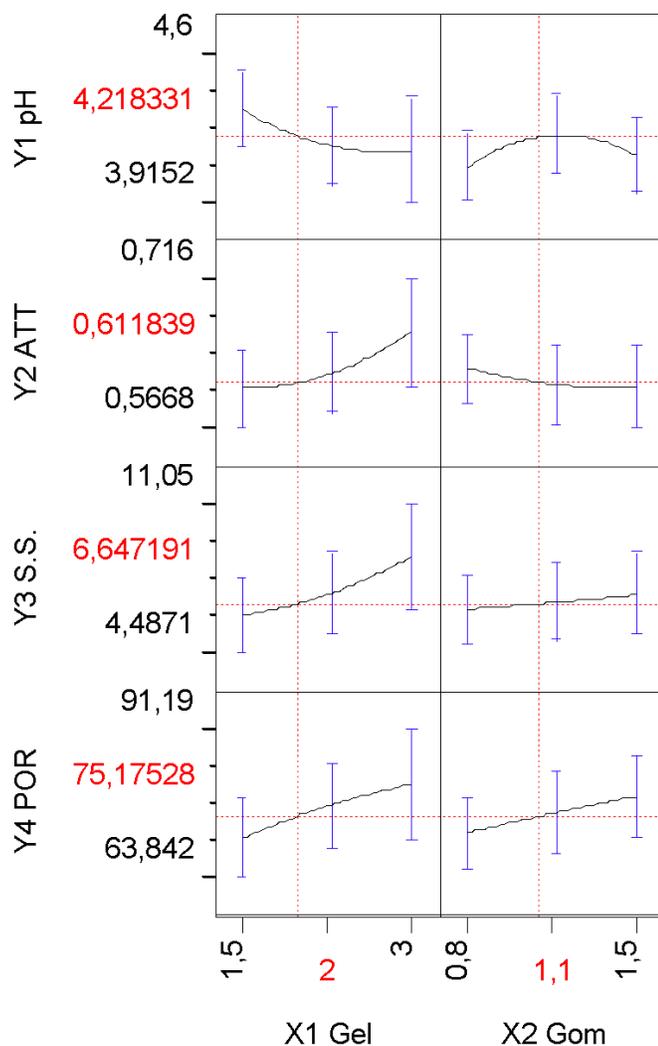


Figura 8. Predicción de los perfiles mínimos cuadrados.

Una vez que el software JMP v.8, ha corrido el modelo se observa el perfil de los mínimos cuadrados para los factores experimentales con sus respuestas, indicando 2% de gelatina sin sabor (X_1) y 1,1% de goma arábica (X_2), con un máximo de 4,2 de pH; 0,61 % de acidez titulable total; 6,64 °Brix para la respuesta S.S. y 75,17 mV de potencial de óxido reducción, valores estos que son parecidos a de los que presentaron el tratamiento n° 1 (pH = 4,2; ATT = 0,62 %; S.S. = 7 °Brix y potencial de óxido reducción = 75 mV).

Una vez obtenida la predicción del perfil de los mínimos cuadrados, se generan los perfiles dinámicos de simulación de las respuestas múltiples o valores co-optimizados ensayados en función de los factores experimentales $X_1 = \text{Gelatina}$ y $X_2 = \text{Goma arábica}$, incorporando las gráficas de deseabilidad como se muestra en la figura 9, los cuales arrojaron unos valores co-optimizados para los factores experimentales: pH = 4,2; 0,61 % de acidez titulable total; 6,64 °Brix para la respuesta S.S. y 75,17 mV de potencial redox, para una deseabilidad de 0,99 % de correlación de los datos y el modelo seleccionado.

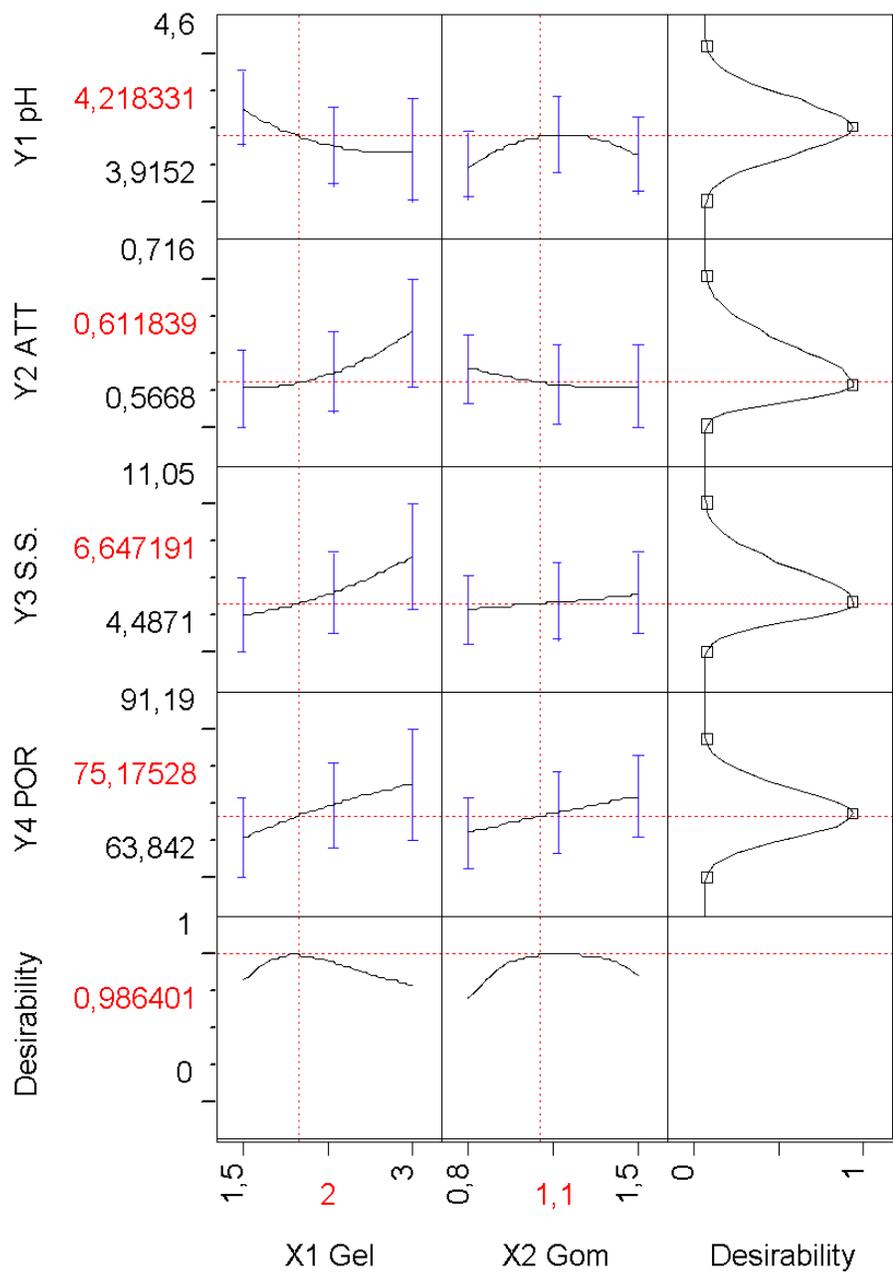


Figura 9. Perfiles de respuestas múltiples y de deseabilidad.

IV.1.3.6. Gráficas de superficie de respuesta.

En la figura 10, se presenta la gráfica de superficie de respuesta para la variable dependiente pH (Y_1). En ella se observa que a niveles medios de gelatina, cuando se aumenta la cantidad de goma arábica, el pH presente en el tratamiento tiende a aumentar.

Figura 10. Gráfica de superficie de respuesta pH.

En la figura 11, se presenta la gráfica de superficie de respuesta para la variable ATT (Y_2). En ella se observa que a niveles bajos de gelatina, cuando se aumenta la concentración de goma arábica, disminuye o comienza a descender la acidez titulable del zumo de fresa microencapsulado.

Figura 11. Gráfica de superficie de respuesta ATT.

Las gráficas de superficie de respuesta de las variables sólidos solubles y potencial de óxido reducción se pueden observar en los anexos 4 y 5.

IV.1.3.7. Resultados de las características físicas y químicas del zumo de fresa encapsulado con gelatina y goma arábica, así como la determinación del contenido de vitamina C por espectrofotometría y comprobación por microscopía óptica.

De los zumos de fresa encapsulados, se caracterizó el tratamiento N° 1, el cual arrojó como óptimo en el análisis del perfil de los mínimos cuadrados en función de los factores experimentales $X_1 = \text{Gelatina (2\%)}$ y $X_2 = \text{Goma arábica (1,1\%)}$. Dicha caracterización se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Caracterización física y química del zumo de fresa encapsulado.

Producto	pH	ATT (%)	S.S. (°Brix)	POR (mV)	Densidad relativa (g/cm³)	Ác. Ascórbico (mg/100ml)
Zumo de fresa encapsulado	4,2	0,61	6,64	75,17	1,041	27

Una vez que se obtuvo el zumo de fresa natural, se realizó el proceso de microencapsulación, luego se aplicó el secado de las capsulas las cuales se le añadieron a temperatura ambiente al zumo de fresa ya pasteurizado. Los encapsulados con gelatina y la goma arábica se disolvieron al entrar en contacto con el zumo, liberando los componentes activos de la fresa que fueron encapsulados.

En las siguientes imágenes tomadas del microscopio óptico, antes de ser adicionadas al zumo pasteurizado, donde se utilizaron objetivos de aumento intermedio de 20x y 40x, y con tintura de azul de metileno, se pueden ver las microcápsulas del zumo de fresa.

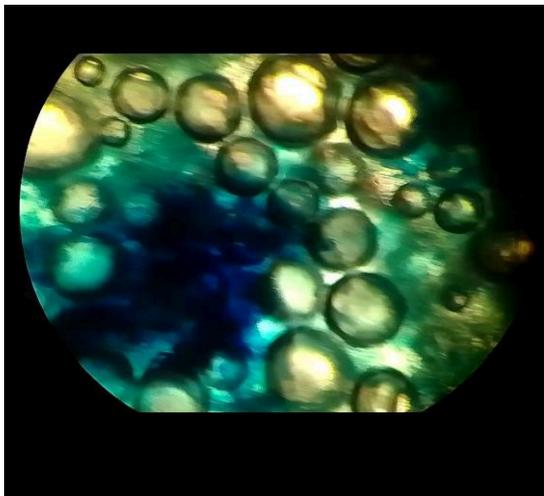
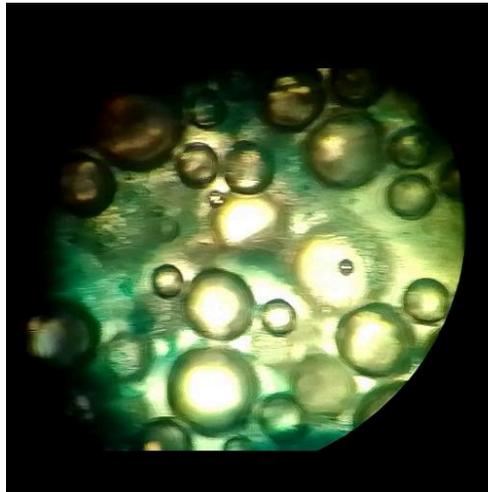


Figura 12. Microcapsulas de zumo de fresa con objetivo 20x.

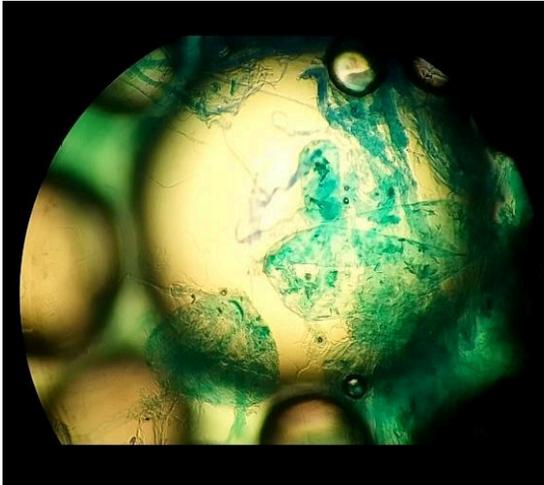
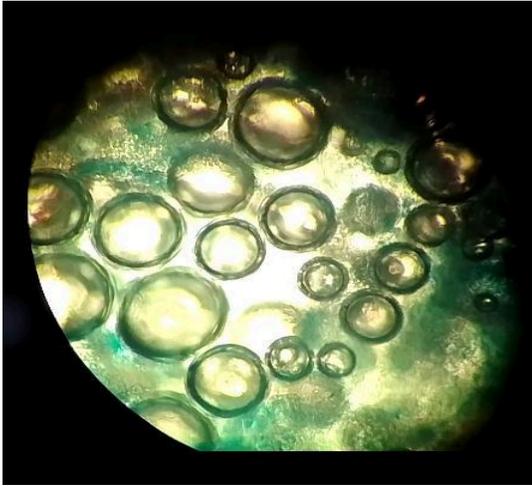


Figura 13. Microcapsulas de zumo de fresa con objetivo 40x.

CONCLUSIONES

Luego de los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente investigación se han establecido las siguientes conclusiones:

- El zumo de fresa natural sin pasteurizar presentó las siguientes características físicas y químicas: pH 3,70, acidez titulable total 0,5154 %, sólidos solubles 4°Brix, potencial redox 60 mV, densidad relativa 1,038 g/cm³ y un valor de vitamina C igual a 49 mg/100ml. Estos valores indican que el zumo de fresa se encuentra en condiciones que cumplen con los requisitos establecidos en la Norma COVENIN 1030:1995 para jugos y néctares, así como la Norma del CODEX ALIMENTARIUS para zumos de frutas CXS 247-2022.
- El proceso de optimización de la formulación de la mezcla de gelatina y goma arábiga como sustancias encapsulantes para la microencapsulación, se llevó a cabo mediante pruebas pilotos donde se obtuvieron valores medios óptimos de 2% para la gelatina y 1% para la goma arábiga, los cuales se usaron en la determinación de los rangos y niveles de los factores en la matriz del diseño.
- Generada la matriz de diseño con los valores de los factores experimentales y las respuestas objetos de estudio, se corrió el programa JMP v.8 estimando las gráficas de los valores predichos por el modelo ajustado contra los valores medidos experimentalmente, el ANAVAR y gráficas de superficie de

respuesta, así como los perfiles multirespuestas, encontrando condiciones óptimas de microencapsulación del zumo de fresa para el tratamiento n° 1.

- En cuanto a la caracterización física y química del zumo de fresa optimizado y encapsulado, se obtuvieron valores de: pH = 4,2; acidez titulable total = 0,61%; sólidos solubles = 6,64°Brix; potencial redox = 75,17 mV; densidad relativa = 1,041 g/cm³ y un valor de 27 mg/100ml de vitamina C.
- Las microcápsulas del zumo de fresa se comprobaron a través de microscopía óptica utilizando objetivos de aumento intermedio de 20x y 40x, y con tinción de azul de metileno.

RECOMENDACIONES

- Promover y divulgar la técnica de microencapsulación por coacervación compleja como alternativa de conservación de componentes bioactivos en matrices de alimentos que eleven su calidad nutricional y funcional.
- Se recomienda explorar el uso de esta técnica con otros frutos de la región, así como el uso de otras matrices poliméricas o sustancias encapsulantes donde se pueda evaluar la estabilidad del producto en el tiempo.
- Para estudios posteriores realizar análisis microbiológicos al producto terminado para garantizar su inocuidad y sanidad alimentaria, así como su vida útil para la alimentación.
- Además, como la gelatina y goma arábiga son sustancias gelificantes, se recomienda realizar análisis de viscosidad en estudios posteriores.
- También, es apropiado añadir al estudio un control (un zumo sin encapsular) para efectos de comparación de sus propiedades.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar Tlatelpa, M., Volke Haller, V., Sánchez García, P., Pérez Grajales, M., y Fajardo Franco, M. L. (2019). Concentración y extracción de macronutrientes en cuatro variedades de fresa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1287-1299. DOI: 10.29312/remexca.v10i6.1552.
- Añez, B. y Cedeño, L. (2003). La fresa: contribución al conocimiento de su manejo y producción. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Mérida, Venezuela. 59 pp.
https://www.researchgate.net/publication/326817034_LA_FRESA_CONTRIBUCION_AL_CONOCIMIENTO_DE_SU_MANEJO_Y_PRODUCCION
- Arias, F. (2013). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6° Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Avendaño, P.G. y Acevedo, B.B. (2015). Proceso de microencapsulación de colorantes naturales presentes en la fresa (*Fragaria vesca*). *Revista Ontare*. 2(2):7
https://www.researchgate.net/publication/320816618_Microencapsulacion_de_colorantes_naturales_presentes_en_la_fresa_Fragaria-vesca
- Ávila de Hernández, R. y Bullón-Torrealba, J. (2013). La concentración de jugos de fruta: Aspectos básicos de los procesos sin y con membrana. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela. *Rev. Fac. Ing. UCV* vol.28 no.3 Caracas set. 2013.
http://homolog-ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-4062-013000300007

- ASOZUMOS (2016). Múltiples beneficios y propiedades saludables en zumos de frutas. Asociación Española de Fabricantes de Zumos. file:///C:/Users/Windows/Downloads/NdP_Asozumos- Multiples beneficios2 1.pdf
- Bonet, J. (2011). Desarrollo y caracterización de herramientas genómicas en *Fragaria* diploide para la mejora del cultivo de fresa. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2010/hdl_10803_42009/jbg1de1.pdf
- Borja, R.E. (2010). Estudio de la conservación de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamientos térmicos. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/865/1/AL427%20Ref.%203273.pdf>
- Burgos, B.G., Alcívar, C.U., Delgado, D.H. y Cedeño, P.C. (2019). Determinación de las características organolépticas del zumo de fresa a través del proceso de la evaporación en el laboratorio de operaciones unitarias. Revista Científica Multidisciplinaria, Ecuador. <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/view/1708>
- Bravo, A., Murayari, H., Ríos-Mera, J.D., Vela-Paredes, R. y Tello, F. (2017). Obtención de gelatina de *pseudoplatystoma fasciatum* (doncella) y su aplicación como encapsulante. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Perú. https://www.researchgate.net/publication/328319331_OBTENCION_DE_GELATINA_DE_Pseudoplatystoma_fasciatum_DONCELLA
- Campos, M.C. (2021). Métodos analíticos para la determinación de vitamina C. Universidad de la Laguna. España. En línea: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/24595/Metodos%20analiticos%20para%20la%20determinacion%20de%20vitamina%20C.pdf?sequence=1>
- Carrillo, I.M. y Reyes, M.A. (2013). Vida útil de los alimentos. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Vol. 2, Núm. 3. En línea: [file:///C:/Users/Windows/Downloads/Dialnet-VidaUtilDeLosAlimentos-5063620%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Windows/Downloads/Dialnet-VidaUtilDeLosAlimentos-5063620%20(1).pdf)
- Carvajal de Pabón, L.M., Yahia, C.E.H., Cartagena, R., Peláez, C., Gaviria, C.A., y Rojano, B.A. (2012). Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria* x *ananassa* (weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. Revista Cubana de Plantas Medicinales,

17(1), 37–53.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubplamed/cpm-2012/cpm121e.pdf>.

Carpentier, J., Conforto, E., Chaigneau, C., Vendeville, J.E. y Maugard, T. (2021). Complex coacervation of pea protein isolate and tragacanth gum: Comparative study with commercial polysaccharides. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 69, 2021, e102641.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102641>

Cassano, A., Drioli, E., Galaverna, G., Marchelli, R., Di Silvestro, G. y Cagnasso, P. (2003). Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. *J. of Food Technol.*, 57; pp. 153-163.

Castañeda-Villanueva, O., Pérez-Becerra, L., Abraham-Juárez, M.R., Hernández-Ruiz J. y Mireles-Arriaga, A.I. (2018). Características químicas y compuestos antioxidantes durante la maceración en la elaboración de licor de fresa artesanal. Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca.
<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/4/54.pdf>

Castañon-Rodríguez, J.F., Soto, G.M. y Uresti, M.R. (2020). Evaluación de la estabilidad de cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica. *Ciencia UAT vol.14 no.2 Ciudad Victoria ene./jun. 2020* Epub 09-Sep-2020.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582020000100117

Cardona, T.D., Patiño-Arias, L.P. y Ormaza-Zapata, A.A. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1899.
<https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1899>

CODEX ALIMENTARIUS. (2022). Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas. CXS 247-2005.
<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/>

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Norma venezolana COVENIN N° 1030-1935. Jugos y néctares. Ministerio de fomento. Caracas, Venezuela.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Norma venezolana COVENIN N° 1315-1990. Determinación de pH. Ministerio de fomento. Caracas, Venezuela.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Norma venezolana COVENIN N° 1769-1981. Determinación de la acidez titulable total. Ministerio de fomento. Caracas, Venezuela.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 924-1983. Determinación de solidos solubles. Ministerio de fomento. Caracas, Venezuela.
- Comunian, T., Artwin-Archut, L., Gomez-Mascaraque, A. y Drusch-Stephan. (2020). The type of gum arabic affects interactions with soluble pea protein in complex coacervation. *Journal of Marine Systems*, 2020, e103608. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119851>
- Coronel, C.L. y Pérez, J.J. (2016). Evaluación de la retención de la vitamina C en el zumo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) atomizado empleando agentes encapsulantes. Tesis. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Perú. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPRG_8ee30dc1cd3bc24083f4b8db9625f194/Details
- Coronel, C.L., José B. Pérez, J.J. y León, R.N. (2019). Influencia de diferentes agentes encapsulantes en la retención de vitamina C en el zumo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) atomizado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7023251>
- Chamorro, M. F. (2021). Berries nativos patagónicos: Conocimiento tradicional y perfil antioxidante. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Comahue. <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/16230?show=full>
- Chordi, S. (2013). Contenido fenólico y capacidad antioxidante de fresa mínimamente procesada sometida a tratamientos de conservación por pulsos de luz de alta intensidad. Tesis de la Universidad de Lleida, Colombia. <https://repositori.udl.cat/items/453d43e7-350b-4b50-91d3-2758364ccf1b>
- Darrow, G. M. (1966). The strawberry. History, breeding and physiology. New York. Holt, Rinehart & Winston.
- Das, A. (2011). Microencapsulation Techniques and its Practices. *International Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. Vol. 6, n° 2, pp. 1-32.
- Departamento de Agricultura de Carolina del Norte y Servicios al Consumidor (2022). Food and Drug Protection Division. <https://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/Fresas.pdf>.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics). (2010). Estadísticas de la Organización de la Naciones Unidas

para la Alimentación y Agricultura.
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

Feliziani, E. and Romanazzi, G. (2016). Postharvest decay of strawberry fruit: etiology, epidemiology, and disease management. *J. Berry Res.* 6(1):47-63. Doi: 10.3233/JBR150113.

Fundación Española de Nutrición (FEN) (2018). La alimentación española, características de los principales alimentos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
<https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/2018/libro-la-alimentacion-espanola.pdf>

Fundación Española de Nutrición (FEN) (2019). Datos actuales sobre el consumo de zumos de frutas en España y sus propiedades nutricionales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
<https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/2018/libro-la-alimentacion-espanola.pdf>

Fuentes, B.L., Acevedo, C.D. y Gelvez, O.V. (2015). Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. Vol. 13 No. 2 (140-149). En línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n2/v13n2a16.pdf>

Fuentes, G.J., Arias, S.M. y Speisky, C.H. (2019). Compuestos bioactivos. Universidad de Chile. En línea: <https://www.dinta.cl/wp-content/uploads/2020/11/COMPUESTOS-BIOACTIVOS-1.pdf>

García, A. y Acosta, D. (2024). Evaluación de las características funcionales de cubos de lechosa (*Carica papaya* L.) confitada e impregnadas al vacío con riboflavina y magnesio. Trabajo de grado. UNELLEZ San Carlos, Venezuela.

Garnica, R.M. y Alcántar, C.M. (2024). Microencapsulación de sabores y aromas. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. México.
<https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/259-numero-30/468-microencapsulacion-de-sabores-y-aromas.html>

Giampieri, F., Tulipani, S., Álvarez-Suárez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., y Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28 (1), 9–19.

Gharanjig, Hamid; Gharanjig, Kamaladin; Hosseinnezhad, Mozghan y Jafari, Seid Mahdi. (2020). Development and optimization of complex coacervates based on zedo gum, cress seed gum and gelatin. *International Journal of Biological*

Macromolecules, v. 148, 2020, p. 31-40.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.115>

Guía Práctica para exportación a EE.UU. (2015). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Representación del IICA en Nicaragua. Managua.

Gomez-Estaca, J., Comuniano, T.A., Montero, P., Ferro-Furtado, R. y Favaro-Trindade, C. (2016). Encapsulation of an astaxanthin-containing lipid extract from shrimp waste by complex coacervation using a novel gelatin-cashew gum complex. *Food Hydrocolloids*, v. 61, 2016, p. 155-162.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.005>

Ghosh, Swapan Kumar. (2006). Functional coating by polymer microencapsulation. Texto on line.
<https://www.wiley.com/en-us/Functional+Coatings%3A+By+Polymer+Micro+encapsulation-p-9783527608416>

Hernández Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018. En línea. Disponible en:
<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. 6° Edición. México, D.F. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A.

Hernández, P., Ramírez, G., Vázquez, M. y Herrera, M. (2022). Patrones de consumo de frutas y hortalizas en la población urbana de Venezuela. *Rev. Esp. Nutr HumDiet* vol.25 no.2 Pamplona abr./jun. 2021 Epub 17-Ene-2022.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/865/1/AL427%20Ref.%203273.pdf>

Hernández Valencia, R.D., Juárez Maldonado, A., Pérez Hernández, A., Lozano Cavazos, C.J., Zermeño González, A. y González Fuentes, J.A. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova scientia*, 14 (28), 00001. Epub 01 de agosto de 2022.
<https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.3032>

Hernández-Torres, C.J., Iliina, A., Ventura-Sobrevilla, J.M., Belmares, C.R., Contreras-Esquivel, J.C., Michelena, A.G. y Martínez-Hernández, J.L. (2016). La microencapsulación de bioactivos para su aplicación en la industria.

- Universidad Autónoma de Coahuila, México. Vol. 50, núm. 1, enero-abril, 2016, pp. 12-19. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420003.pdf>
- Hellman, J. (2000) “Farmacotécnica Teórica y Práctica”, Vol. I - VIII. Ed. Continental, México.
- Hu, Liandong; Gao, Na; Li, Jianli; Sun, Yongbing y Yang, Xiaoning. (2015). Development and evaluation of novel microcapsules containing poppy-seed oil using complex coacervation. *Journal of Food Engineering*, Vol. 161, p. 87-93.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877415001260>
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2015). Encuesta Nacional de Consumo de Alimentos (ENCA). Caracas, Venezuela.
- Jain, A., Thakur, D., Ghoshal, G., Katare, O.P. y Shivhare, U. (2016). Characterization of microcapsulated β -carotene formed by complex coacervation using casein and gum tragacanth. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 87, 2016, p. 101–113.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.117>
- Jana, Sougata y Jana Subrata. (2017). Natural polymeric biodegradable nanoblend for macromolecules delivery. En: *Recent Developments in Polymer Macro, Micro and Nano Blends*. Elsevier. p. 289–312.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100408-1.00010-8>.
- Juskiewicz, J., Kolodziejczyk, K., Jurgonski, A., Kosmala, M., Milala, J., Fotschki, B., y Zdunczyk, Z. (2016). Anthocyanins in strawberry polyphenolic extract ameliorate metabolic disturbances in rats fed a diet high in fat. *Journal of International Society of Antioxidants in Nutrition & Health*, 3(4).
- Kafkas, E., Kos, M., Paydas, S., Kafkas, S. & Baser, K. (2007). Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food Chemistry*, 100, 1229–1236.
- Kessel, D.A. (2018). Potencialidades del quitosano para la fresa. Usos en la mejora y conservación de los frutos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193260614020/>
- Kirschbaum, D.S. (2023). Características botánicas, fisiología y tipos de variedades de fresas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.
https://www.researchgate.net/publication/356251371_Caracteristicas_botanicas_fisiologia_y_tipos_de_variedades_de_fresas

- Krüger, E., M. Josuttis, R. Nestby, T. Toldam, C. Carlen y B. Mezzetti. (2012). Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. *Journal of Berry Research* 2:143-157.
- López-Díaz, S., Sandoval, F.M., Flores, P.L., Jiménez-Mejía, R., Santoyo, G. y Loeza, L.P. (2021). Quitosanos y compuesto quitosano-octanoato de sodio reducen la pudrición de fresa en postcosecha. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 12 número 6 14 de agosto - 27 de septiembre, 2021. [file:///C:/Users/Windows/Downloads/Dialnet-QuitosanoyCompositoQuitosanoOctanoatoDeSodioReduc-8087589%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Windows/Downloads/Dialnet-QuitosanoyCompositoQuitosanoOctanoatoDeSodioReduc-8087589%20(1).pdf)
- López-Valencia, D., Sánchez-Gómez, M., Acuña-Caita, J. F., y Fischer, G. (2018). Propiedades fisicoquímicas de siete variedades destacadas de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cultivadas en Cundinamarca (Colombia), durante su maduración. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19 (1) 147-162. DOI: 10.21930/rcta.vol19_num1_art:528
- Lugo, I.C. y Cáceres, N. (2015). Evaluación del efecto de recubrimientos comestibles a base de almidón de ñame (*Dioscorea sp.*) y extracto proteico de moringa (*Moringa oleífera*) sobre las características fisicoquímicas de la fresa (*Fragaria vesca*) y zanahoria (*Daucus carota*). Trabajo de Grado. UNELLEZ-San Carlos, Venezuela.
- Luque, G.M. (s/f). Estructura y propiedades de las proteínas. Artículo en línea: https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/proteinas_09.pdf
- Marluci-Palazzolli, S., Martelli-Tosi, M., Massarioli, A.P., Melo, P.S., Alencar, S.M. y Favaro-Trindade, C. (2022). Co-encapsulation of guaraná extracts and probiotics increases probiotic survivability and simultaneously delivers bioactive compounds in simulated gastrointestinal fluids, *Food Science and Technology*, v. 161, 2022, e113351. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113351>
- Martinez, P.M., Ruiz, A.T. y Jacobo, C.J. (2023). La fresa (*Fragaria X ananassa*): su valor económico y cultural en México e importancia en la producción de antioxidantes. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. <http://ru.iiec.unam.mx/6130/>
- Matta, V., Moretti, R. y Cabral, L. (2004). Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. *J. of Food Eng.* 61; pp. 477-482.
- Michel-Barba, M.G. (2018). Encapsulación de compuestos fenólicos de *Vaccinium corymbosum* a través del desarrollo de matrices biopoliméricas y su efecto en la modulación de la microbiota intestinal humana. Tesis. Jalisco, México. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/655/1/Maria%20Gretel%20Michel%20Barba.pdf>

- Mosquera-Vivas, E.E., Ayala-Aponte, A.A. y Serna-Cock, L. (2024). Importancia de la encapsulación de probióticos: gelificación iónica y coacervación compleja como técnicas prometedoras para uso alimentario. Colombia. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 22, n. 1, 2024, p. 105-123.
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/2223>
- Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT). (2009). Dirección de Estadísticas.
- Mohammed, N.K., Tan, C.P., Manap, Y.A., Muhiaddin, B.J., & Hussin, A.S.M. (2020). Spray drying for the encapsulation of oils - A review. *Molecules*, 25(17), 3873. <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/17/3873>
- Muhoza, B., Xia, S., Wang, X., Zhang, X., Li, Y. y Zhang, S. (2020). Microencapsulation of essential oils by complex coacervation method: preparation, thermal stability, release properties and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 62, n. 5, 2020, p. 1363-382.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1843132>
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., and Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*. 1: 1806-1815.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU). (2021). Frutas y verduras, esenciales en tu dieta.
<https://www.fao.org/3/cb2395es/cb2395es.pdf>
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*, 272, 494-506.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>
- Parella, S. y Martins, F. (2008). Metodología de la investigación cuantitativa. 2º Edición. Caracas. FEDUPEL.
- Parraga, V.O. (2011). Evaluación de un cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) afectado por manchas foliares ocasionadas por *Mycosphaerella fragariae* (Tul.) Lindau (anamorfo: *Ramularia brunnea* Peck.). Tesis. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
<http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/8021/1/Tesis%20Oscar%20E.%20Parraga.pdf>
- Pérez de Camacaro, M., Ojeda, M., Giménez, A., Gonzalez, M. y Hernández, A. (2017). Atributos de calidad en frutos de fresa “Capitola” cosechados en

- diferentes condiciones climáticas en Venezuela. *Bioagro* 29(3): 163-174. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612017000300002
- Pupiales-Nazaty, E. (2021). Universidad Técnica del Norte. Incidencia de la pasteurización lenta en la capacidad antioxidante hidrosoluble, calidad microbiológica y las propiedades físico químicas del jugo de limón Meyer *Citrus meyeri* y. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/>
- Ribeiro, A., Shahgol, M., Estevinho, B., & Rocha, F. (2020). Microencapsulation of vitamin A by spray-drying , using binary and ternary blends of gum Arabic, starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 108, 106029. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106029>
- Risch, S. (1995). Encapsulación: descripción general de usos y técnicas. En: Risch, SJ y Reineccius, G., Eds., *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients*, ACS Symposium Series, Publicaciones de la AEC, Washington DC, v. 590, 1995, 2-7 p. <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0590.ch001>
- Salgado, M.A. y Spencer, C.S. (2022). Efecto del tratamiento térmico durante el proceso de refrigeración, congelación y pasteurización sobre la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos totales en fresas (*Fragaria x ananassa*). Tesis de grado. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC_94f124edb8774849c85dbdecffe66d26
- Sandoval-Peraza, V.M., Cu-Cañetas, T., Peraza-Mercado, G. y Acereto-Escoffié, P.O. (2016). Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. https://www.researchgate.net/publication/331243132_Introduccion_en_los_procesos_de_encapsulacion_de_moleculas_nutraceuticas
- Sejas, V.M. (2014). Planta de producción de jugo de fresa. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Bolivia. <https://es.scribd.com/document/229981136/Planta-de-Produccion-de-Jugo-de-Fresa>
- Shishir, M.R.I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 34–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>
- Su, Chun-Ru, Huang, Yu-Yan, Chen, Qi-Hui, LI, Meng-Fan, Wang, Hao; Li, Guo-Yan y Yuan, Yang. (2021). A novel complex coacervate formed by gliadin and sodium alginate: Relationship to encapsulation and controlled

- release properties. *Food Science and Technology*, v. 139, 2021, e110591. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110591>
- Stachowiak, B., & Szulc, P. (2021). Astaxanthin for the food industry. *Molecules*, 26(9), 2666. <https://doi.org/10.3390/molecules26092666>
- Tamayo y Tamayo, M. (2006). *Técnicas de investigación*. 2° Edición. México, D.F. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A.
- Tapia, M.S., Hernández, P., Mata, C., Hernández, G., Reggio, D., García, A. y Moubayyed, A. (2023). Caracterización del consumo de frutas y hortalizas en hogares caraqueños: variables determinantes, prácticas sostenibles y desafíos. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales Vol. LXXXIII*, n.º 2, pp. 12-24 (2023). <https://acfiman.org/wp-content/uploads/2024/02/bacfiman.83.2.12.pdf>
- Timilsena, Y.P., Akanbi, T., Khalid, N., Adhikari, B. y Barrow, C. (2019). Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 121, 2019, p. 1276–1286. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.144>
- Tirado, D.F., Yacub, J.V., Cajal, L., Murillo, R.F., Franco, B.M. y Escobar, D. (2017). Pasteurizador de leche para la elaboración de suero costeño. *Entre Ciencia e Ingeniería*, ISSN 1909-8367 Año 11. No. 21, página 36-41. <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v11n21/1909-8367-ecei-11-21-00036.pdf>
- Tomalá-Cox, F.L.(2022). Efecto de la microencapsulación de jugo de carambola (*Averrhoa carambola* l.) y flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* l.) en la estabilidad de la vitamina C.
- Valenzuela De León, E.D. (2020). Revisión de literatura en métodos de fabricación y caracterización de micro/nanopartículas para encapsulación de compuestos bioactivos usando quitosano como material encapsulante. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/e118119f-2968-4dd7-b7b8-adbb4b18b737>
- Vargas, S., Delgado-Macuil, R.J., Ruiz-Espinosa, H., Rojas-López, M. y Amador-Espejo, G. (2021). High-intensity ultrasound pretreatment influence on whey protein isolate and its use on complex coacervation with kappa carrageenan: Evaluation of selected functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 70, 2021, e105340. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105340>
- Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil – Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/TOMALA%20COX%20FREDDY%20LORENZO.pdf>

- Viloria, P.R. (2023). En Trujillo cosechan el 83% de las fresas producidas en el país. Periódico Últimas Noticias. En línea: <https://ultimasnoticias.com.ve/trujillo/en-trujillo-cosechan-el-83-de-las-fresas-producidas-en-el-pais/>
- Wang, H., Cao, G., y Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 701–705. DOI: 10.1021/jf950579y

ANEXO 1

Gráfica de los valores predichos por el modelo ajustado contra los valores medidos experimentalmente para la respuesta ATT.

ANEXO 2

Gráfica de los valores predichos por el modelo ajustado contra los valores medidos experimentalmente para la respuesta S.S.

ANEXO 3

Gráfica de los valores predichos por el modelo ajustado contra los valores medidos experimentalmente para la respuesta POR.

ANEXO 4

Gráfica de superficie de respuesta S.S.

ANEXO 5

Gráfica de superficie de respuesta POR.