



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

PROYECTO DE DESARROLLO

Título:

"Estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magíster en Agroindustria, con mención en Tecnología de Alimentos

Autora:

Quim. Allauca Ortega Lizbeth Anatolia

Tutora:

Ing. Alim. Clara Elena Villacrés Poveda Ph.D.

Cotutor:

Ing. Alim. José Andrés Villacís-Chiriboga, MSc

LATACUNGA –ECUADOR

2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo de Titulación “Estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación” presentado por Allauca Ortega Lizbeth Anatolia, para optar por el título Magíster en Agroindustria con mención en Tecnología de Alimentos.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera de que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, febrero, 03, 2023

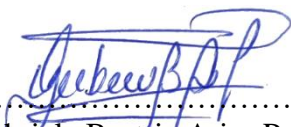


.....
Dra. Elena Villacrés Poveda.
CC: 1801504422

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación”, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Agroindustria con mención en Tecnología de Alimentos; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

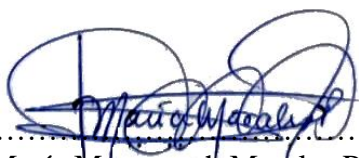
Latacunga, febrero, 03, 2023



.....
Ing. Gabriela Beatriz Arias Palma. MSc.
CC: 1714592746
Presidente del tribunal



.....
Ing. Ana Maricela Trávez Castellano. Mg.
CC: 0502270937
Lector 2



.....
Ing. María Monserrath Morales Padilla. MSc.
CC: 1803691144
Lector 3

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios, a mis padres, hermana, hermano, abuelitas, por ser mi inspiración y apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que me han brindado su soporte, confianza y amistad.

Lizbeth

AGRADECIMIENTO

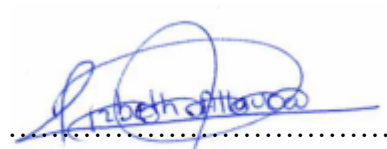
Agradezco,
A mi familia, amigos y docentes, por el cariño entregado en cada paso dado de mi vida profesional y personal.
A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme permitido especializarme en mi área de interés.
Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias – INIAP y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, por haberme permitido realizar la parte experimental de la investigación.
A mi tutora Dra. Clara Elena Villacrés, también al Ing. José Villacis, MSc. Belén Tapia e Ing. Javier Alvares por su tiempo, sabiduría y entrega al proyecto.

Lizbeth Anatolia Allauca Ortega

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, febrero, 03, 2023



.....
Lizbeth Anatolia Allauca Ortega
CC: 0604370288

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, febrero, 03, 2023

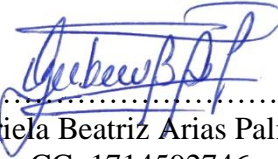


.....
Lizbeth Anatolia Allauca Ortega
CC: 060437028-8

AVAL DEL PRESIDENTE

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del tribunal en la predefensa.

Latacunga, febrero, 03, 2023



.....
Ing. Gabriela Beatriz Arias Palma. MSc.
CC: 1714592746

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Título: Estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación

Autor: Allauca Ortega Lizbeth Anatolia

Tutor: Ing. Alim. Clara Elena Villacrés Poveda Ph.D.

RESUMEN

El territorio ecuatoriano es rico en diversidad vegetal, por lo cual, el objetivo de la investigación fue estabilizar los nutrientes y antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación con maltodextrina - goma arábica, para la optimización de las variables se utilizó un diseño de superficie central compuesto 2^3 , donde la concentración de los encapsulantes y la temperatura de entrada para la atomización se controló. La capacidad de la encapsulación se determinó en función a las propiedades físicas, químicas y funcionales de la planta en base seca. Como resultado, la planta contiene grasa (1.34%), proteína (17.47%), fibra (22.90%), cenizas (14.24%) a un pH de 6.88, clorofila *a* (3883.77 $\mu\text{g/g}$), clorofila *b* (1761.72 $\mu\text{g/g}$), carotenoides (889.19 $\mu\text{g/g}$), polifenoles totales (61.21 mg/g), flavonoides (0.02 mg/g), ácido ascórbico (1.29 mg/g), actividad antioxidante de 22.40 $\mu\text{mol trolox Eq/g}$ y 91.60 $\mu\text{mol trolox/g}$ por ABTS y DPPH respectivamente. La optimización máxima en el proceso de encapsulados se alcanzó a 160 °C con 3 % de maltodextrina y 3 % de goma arábica. Presentando morfología irregular, abolladuras profundas, tamaño de partícula promedio de $4.63\pm 0.81 \mu\text{m}$ y su superficie se encontró carbono (C), oxígeno (O), potasio (K), zinc (Zn), cloro (Cl), aluminio (Al), calcio (Ca), y sodio (Na), por lo tanto, la composición química y capacidad antioxidante muestra que el extracto encapsulado podría ser utilizado en la industria farmacéutica o alimentaria.

PALABRAS CLAVE: Capacidad antioxidante, *Eryngium*, Goma Arábica, Maltodextrina.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Title: STABILIZATION OF NATURAL ANTIOXIDANTS FROM CHILLANGUA (*Eryngium foetidum*) BY ENCAPSULATION

Author: Allauca Ortega Lizbeth Anatolia

Tutor: Ing. Alim. Clara Elena Villacrés Poveda Ph.D.

ABSTRACT

The Ecuadorian territory is rich in plant diversity, therefore, the research objective was to stabilize the natural nutrients and antioxidants from the Chillangua (*Eryngium foetidum*) by encapsulation with maltodextrin - Arabic gum, for the optimization of the variables, was used a composite central surface design 2^3 , where the concentration of the encapsulants and the input temperature for atomization were controlled. The encapsulation capacity was determined based on physical, chemical, and functional properties of the plant in dry base. As a result, the plant contains fat (1.34%), protein (17.47%), fiber (22.90%), ash (14.24%) at a pH of 6.88, chlorophyll *a* (3883.77 $\mu\text{g/g}$), chlorophyll *b* (1761.72 $\mu\text{g/g}$), carotenoids (889.19 $\mu\text{g/g}$), total polyphenols (61.21 mg/g), flavonoids (0.02 mg/g), ascorbic acid (1.29 mg/g), antioxidant activity of 22.40 $\mu\text{mol Trolox Eq/g}$ and 91.60 $\mu\text{mol Trolox/g}$ by ABTS and DPPH respectively. The maximum optimization in the encapsulation process was reached at 160°C with 3% maltodextrin and 3% Arabic gum. Present irregular morphology, deep dents, average particle size of $4.63\pm 0.81 \mu\text{m}$ and its surface was found carbon (C), oxygen (O), potassium (K), zinc (Zn), chlorine (Cl), aluminum (Al), calcium (Ca), and sodium (Na), therefore, the chemical composition and antioxidant capacity show that the encapsulated extract could be used in the pharmaceutical or food industry.

KEYWORD: Antioxidant capacity, Eryngium, Arabic gum, Maltodextrin.

Moises Manuel Ruales Puglla con cédula de identidad número 050304003-2 Licenciado en Ciencias de la Educación mención Ingles con número de registro de la SENESCYT 1020-11-1093735 CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: Estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación de: Lizbeth Anatolia Allauca Ortega, aspirante a magister en Agroindustria con mención en Tecnología de Alimentos.

Latacunga, enero 21 del 2023



**Moises Manuel Ruales Puglla
CC:050304003-2**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
Justificación.....	3
Hipótesis.....	5
Objetivos.....	5
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
1.1. Antecedentes.....	7
1.2. Marco teórico.....	11
1.2.1. Chillangua (<i>Eryngium foetidum</i>).....	11
1.2.1.1. Botánica.....	11
1.2.1.2. Composición química.....	11
1.2.1.3. Usos.....	12
1.2.2. Antioxidantes.....	12
1.2.3. Clasificación de antioxidantes.....	13
1.2.4. Biopolímeros.....	14
1.2.4.1. Maltodextrina.....	14
1.2.4.2. Goma arábiga.....	15
1.2.5. Encapsulación.....	15
1.2.6. Tipos de encapsulación.....	16
1.2.7. Tecnología de encapsulación.....	16
1.2.7.1. Secado por aspersion.....	16
1.2.7.2. Secado por liofilización.....	18
1.2.7.3. Perlas fluidas.....	18
1.2.7.4. Método de extrusión.....	18
1.2.7.5. Proceso de emulsificación.....	19
1.2.8. Características de los recubrimientos.....	19
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
2.1. Modalidad o enfoque de la investigación.....	20
2.2. Tipo de investigación.....	20

2.3. Técnicas e instrumentos.....	21
2.3.1. Materiales, equipos y reactivos.....	21
2.3.2. Acondicionamiento de la Chillangua (<i>Eryngium foetidum</i>).....	23
2.3.3. Análisis proximal.....	23
2.3.3.1. Grasa.....	23
2.3.3.2. Fibra.....	24
2.3.3.3. Proteína.....	25
2.3.3.4. Cenizas.....	26
2.3.3.5. Humedad.....	26
2.3.4. Extracto con principio activo.....	27
2.3.5. Técnica de Atomización.....	28
2.3.5.1. Preparación de soluciones.....	28
2.3.5.2. Operación del secado por aspersión.....	28
2.3.6. Caracterización de los encapsulados.....	29
2.3.6.1. Parámetros Físicos.....	29
2.3.6.2. Componentes funcionales.....	31
2.4. Diseño experimental.....	38
2.4.1. Factores en estudio.....	38
2.4.2. Modelo matemático.....	39
2.4.3. Variables.....	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
3.1. Propiedades fisicoquímicas de la Chillangua (<i>Eryngium foetidum</i>).....	41
3.2. Componentes funcionales y la capacidad antioxidante de la Chillangua (<i>Eryngium foetidum</i>).....	43
3.3. Condiciones óptimas para la encapsulación del extracto de la Chillangua (<i>Eryngium foetidum</i>).....	44
3.3.1. Análisis de la superficie de respuesta de polifenoles totales.....	46
3.3.2. Análisis de la superficie de respuesta de la actividad antioxidante (ABTS+)	48
3.3.3. Análisis de la superficie de respuesta de flavonoides.....	50

3.3.4. Análisis de la superficie de respuesta de color (L*).....	52
3.3.5. Análisis de la superficie de respuesta de color (a*).....	54
3.3.6. Análisis de la superficie de respuesta de clorofila <i>a</i>	57
3.3.7. Análisis de la superficie de respuesta de clorofila <i>b</i>	58
3.3.8. Optimización del proceso.....	60
3.4. Propiedades fisicoquímicas de los encapsulados de Chillangua (<i>Eryngium foetidum</i>).....	62
3.5. Componentes funcionales y la capacidad antioxidante de los encapsulados de Chillangua (<i>Eryngium foetidum</i>).....	63
3.6. Análisis del encapsulado por Microscopía electrónica de barrido (SEM)	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición química de la Chillangua	12
Tabla 2.	Materiales, equipos y reactivos utilizados	21
Tabla 3.	Tratamientos experimentales	38
Tabla 4.	Caracterización físico-química de la Chillangua	41
Tabla 5.	Color de las hojas de Chillangua en estado fresco	42
Tabla 6.	Componentes funcionales y capacidad antioxidante de la Chillangua liofilizada.....	43
Tabla 7.	Modelos matemáticos.....	45
Tabla 8.	Análisis de varianza para polifenoles totales del encapsulado.....	46
Tabla 9.	Análisis de varianza para actividad antioxidante del encapsulado	49
Tabla 10.	Análisis de varianza para flavonoides del encapsulado	51
Tabla 11.	Análisis de varianza para color parámetro L* del encapsulado.....	53
Tabla 12.	Análisis de varianza para color parámetro a* del encapsulado.....	55
Tabla 13.	Análisis de varianza para clorofila a del encapsulado	57
Tabla 14.	Análisis de varianza para clorofila b del encapsulado	59
Tabla 15.	Optimización de las variables independientes.	61
Tabla 16.	Características fisicoquímicas de los encapsulados	62
Tabla 17.	Componentes funcionales y capacidad antioxidante del encapsulante	64
Anexos		
Tabla 18.	Análisis de varianza para las 9 variables de respuesta	
Tabla 19.	Datos de la investigación	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Antioxidantes naturales y artificiales	13
Figura 2.	Tipos de encapsulación	16
Figura 3.	Diagrama por secado por aspersión	17
Figura 4.	Superficie de respuesta de polifenoles totales del encapsulado	48
Figura 5.	Superficie de respuesta para actividad antioxidante del encapsulado....	50
Figura 6.	Superficie de respuesta para flavonoides del encapsulado	52
Figura 7.	Superficie de respuesta para color parámetro L* del encapsulado	54
Figura 8.	Superficie de respuesta para color parámetro a* del encapsulado	56
Figura 9.	Superficie de respuesta para clorofila a del encapsulado.....	58
Figura 10.	Superficie de respuesta para clorofila b del encapsulado.....	60
Figura 11.	Optimización de las variables independientes	62
Figura 12.	Morfologías y tamaños de los encapsulados	65
Figura 13.	Análisis elemental de los encapsulados por espectroscopia de rayos X dispersa (EDS)	71
Anexos		
Figura 14.	Superficie de respuesta para las variables no significativas	

INFORMACIÓN GENERAL:

Título del Proyecto: Estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación.

Línea de investigación: Procesos industriales.

La investigación fomenta la utilización de procesos tecnológicos limpios para obtener cápsulas de maltodextrina y goma arábiga que contengan compuestos bioactivos de Chillangua (*Eryngium foetidum*) con alta capacidad antioxidante, con el fin de alcanzar productos de alto valor añadido.

Sublínea de investigación: Optimización de procesos tecnológicos agroindustriales

Los procesos tecnológicos permiten la optimización de recursos naturales con mejores rendimientos. El trabajo de investigación tuvo como propósito reconocer la mejor temperatura de encapsulación y concentraciones de maltodextrina y goma arábiga para la estabilización de los compuestos con actividad antioxidante de la Chillangua (*Eryngium foetidum*).

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las personas transforman constantemente su alimentación. En los últimos años, el consumo de productos orgánicos se ha incrementado dado su carácter eco-amigable y beneficios para la salud humana en el tratamiento de enfermedades digestivas, infecciones urinarias y ginecológicas. Además, son apreciados por su sabor, y calidad, pero su disponibilidad es limitada (Sharma y Singhvi, 2018).

Las frutas y hortalizas son alimentos orgánicos ricos en antioxidantes naturales (Jideani et al., 2021). Entre los principales compuestos con capacidad antioxidante, se encuentran los carotenoides, compuestos fenólicos, flavonoides, terpenos, vitaminas, entre otros. En el caso de los compuestos fenólicos, su consumo en la dieta humana varía entre 50 a 800 mg por alimento (Önder, 2021). Los antioxidantes, al tener características aditivas y sinérgicas en el cuerpo humano generan efectos nutracéuticos (Bassolino et al., 2022).

La Chillangua (*Eryngium foetidum*) es una hortaliza con alto contenido de metabolitos secundarios, que se distribuye ampliamente por América Central y Latina, principalmente en la región amazónica. Es una especie versátil utilizada generalmente como condimento alimentario y en medicina tradicional. Posee abundantes sustancias bioactivas, por lo que tiene un importante valor económico en mercados nacionales e internacionales (Rodrigues et al., 2022).

En Ecuador, la Chillangua es utilizada con fines culinarios para decorar o condimentar platos gastronómicos y postres. De igual modo, al contener atributos medicinales, es comúnmente usada para tratar padecimientos del tracto digestivo, ginecológico, heridas, quemaduras, infecciones urinarias (Rosero-Gómez et al., 2020).

La especie es conocida por el sabor fuerte y similar al cilantro (*Coriandrum sativum* L.), se caracteriza por presentar compuestos químicos como aldehídos, carotenoides, fenoles, cetonas, vitaminas, carbohidratos, proteínas y minerales; por lo cual, se le considera como un saborizante o condimento alimentario (Rodrigues et al., 2022).

La conservación de metabolitos secundarios de las plantas se consigue por técnicas de encapsulación. De esta manera se controla tiempos y lugar de liberación en aislamiento o no del entorno que le rodea. Además, conserva el aroma y sabor de la especie (López et al., 2012). La encapsulación transforma extractos líquidos a sólidos, no permite la oxidación de compuestos ni de reacciones química no deseables, protege de las condiciones ambientales como luz, calor y gases. En general, esta tecnología puede ser considerada como un aliado en la preservación de compuestos bioactivos (González et al., 2015)

Con estos antecedentes, la presente investigación tiene como fin la estabilización de antioxidantes naturales de la Chillangua por encapsulación, que se encuentra bajo la línea de investigación procesos industriales y la sublínea optimización de procesos industriales, pudiendo ser de interés en la industria alimentaria para adicionar en abastos procesados con el fin de mejorar propiedades sensoriales.

Justificación

El territorio ecuatoriano es afortunado, por la gran diversidad vegetal en sus diferentes regiones geográficas. La Amazonía es una de las zonas que conserva su riqueza natural por el buen manejo de los pueblos indígenas año tras año. Los científicos han profundizado en el estudio de plantas nativas para ser incorporadas a la industria agroalimentaria, farmacéutica, textil, entre otros (Rivero-Guerra, 2021).

Los alimentos ricos en antioxidantes generan interés industrial, científico y comercial por los beneficios que conlleva en la salud del ser humano (Chen et al., 2019). Estas especies presentan versatilidad para ser utilizadas en procesos fitoterapéuticos y en especial en el arte culinario (Teixeira et al., 2020).

La necesidad de estabilizar antioxidantes naturales de especies vegetales se evidencia al presentar características similares a los antioxidantes sintéticos (Gutiérrez-del-Río et al., 2021). Desde hace varios años, se está investigando la composición química y farmacológica de las plantas para intuir posibles usos dentro del diario vivir y como sustitutos de elementos químicos.

La Chillangua (*Eryngium foetidum*) presenta elementos fitoquímicos con propiedades antioxidantes. Es utilizada en la alimentación y de forma artesanal para tratamientos médicos (Dalukdeniya y Rathnayaka, 2017). A pesar de ser una planta distribuida ampliamente en América Latina, existen pocos estudios en cuanto al uso de tecnologías que permitan la conservación de sus elementos antioxidantes.

En este sentido, la presente investigación pretendió contribuir en el conocimiento científico-social con información actualizada de las propiedades fisicoquímicas de la Chillangua (*Eryngium foetidum*). De igual manera, el aporte de la tecnología de encapsulación con respecto a la estabilización de compuestos bioactivos como un foco de investigación. A pesar de la limitada información científica sobre el material de estudio, la investigación fue posible al contar con el apoyo del Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias – INIAP, Estación Experimental Santa Catalina e

igualmente el soporte de docentes y técnicos de laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Planteamiento del problema

Las hortalizas presentan un alto índice de desperdicio dentro de la cadena agroalimentaria. Según estimaciones de la FAO, 45% de la cosecha de frutas y verduras se pierde en forma de fracciones no comestibles o debido a especificaciones estéticas, mientras que, el 30% son desperdicios que se producen a nivel de consumo (González, 2018). En este sentido, diferentes técnicas de extracción y valorización han sido ensayadas, con el fin de reducir el agotamiento de recursos naturales por el aumento de la población.

En general, las fracciones desechadas son conocidas por poseer concentraciones altas de bioactivos que son de interés para empresas nacionales, multinacionales y para la comunidad científica, que buscan encontrar nuevos compuestos bioactivos que actúen como antioxidantes, estimulantes, antibacterianos (Kurek et al., 2022).

La extracción de antioxidantes es un desafío al tener características propias: poca estabilidad, permeabilidad limitada, baja solubilidad y biodisponibilidad. Por estas razones, la elección del método adecuado y la aplicación de tecnologías de conservación representa un reto (Chen et al., 2019). Además, la composición nutricional puede verse afectada por el manejo de tiempos y temperaturas durante el procesamiento (Loizzo y Tundis, 2022).

Dada la importancia de preservar y caracterizar los antioxidantes naturales se pretende dar respuesta a la siguiente interrogante ¿Las condiciones de encapsulación permite la estabilización de la actividad antioxidante de la Chillangua (*Eryngium foetidum*)?

Hipótesis

Hipótesis nula

La temperatura de atomización, la concentración de goma arábiga y la concentración de maltodextrina en las condiciones de encapsulación no influyen sobre las propiedades funcionales y capacidad antioxidante de la Chillangua.

Hipótesis alternativa

La temperatura de atomización, la concentración de goma arábiga y la concentración de maltodextrina en las condiciones de encapsulación influyen sobre las propiedades funcionales y capacidad antioxidante de la Chillangua.

Objetivos

Objetivo General

- Estabilizar los antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) por encapsulación.

Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades fisicoquímicas de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) en estado fresco
- Determinar los componentes funcionales y la capacidad antioxidante de la Chillangua (*Eryngium foetidum*).
- Determinar las condiciones óptimas para la encapsulación del extracto de Chillangua (*Eryngium foetidum*).

- Analizar las propiedades físicas y funcionales del encapsulado de Chillangua (*Eryngium foetidum*).

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Antecedentes

Thi et al. (2020, p. 5) en el estudio “Phytochemical Content and Antioxidant activity in aqueous and ethanolic extracts of *Eryngium foetidum* L.” analizaron la capacidad de extracción de componentes fitoquímicos y actividad antioxidante con soluciones etanólicas y acuosas. Los resultados obtenidos muestran que no existe diferencia significativa entre los disolventes usados. También se evidenció que el perfil de compuestos extraídos es similar (e.g., taninos, terpenoides, alcaloides, flavonoides y fenoles) en los diferentes sistemas de solventes.

Los autores del artículo “Amazonian *Eryngium foetidum* leaves exhibited very high contents of bioactive compounds and high singlet oxygen quenching capacity” identifican que la Chillangua posee compuestos bioactivos con características antioxidantes útiles para la industria alimentaria, siendo el ácido clorogénico el compuesto fenólico primordial. En carotenoides, la luteína y β -caroteno destacan entre los diferentes elementos. Además, las hojas tienen una actividad antioxidante de $15.77 \pm 0.92 \mu\text{mol trolox Eq/g}$ extracto de radicales libres (ABTS+) y un porcentaje de inhibición del $91.60 \pm 0.45 \%$ por DPPH (Teixeira et al., 2020, p. 1452).

En la investigación denominada “*Eryngium foetidum* L. (Apiaceae): A Literature Review of Traditional Uses, Chemical Composition, and Pharmacological Activities”, se informa que las hojas de *Eryngium foetidum* presentan una humedad entre 10.33% - 87%, contenido de proteína entre 5.25% - 0.13%, carbohidratos 174.72 ± 1.72 ug/mg, 6.32% de fibra, 1.95% - 0.06% de grasa, 14.17 ± 1.17 ugAAE/mg de ácido ascórbico, presencia de minerales como fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), zinc (Zn) entre otros, por otro lado, no existe diferencia de composición química entre hojas y raíces (Rodrigues et al., 2022, p. 7).

Los resultados en “Proximate and nutritional analysis of Culantro (*Eryngium foetidum*)” revelan un contenido de proteína de 2.63%, humedad 83.33%, fibra 31.50%, grasa 0.73%, cenizas 3%, vitamina C 32.33%, actividad antioxidante por DPPH 196.3 ug/mL, mismos que pueden variar debido a la ubicación geográfica de la especie, tipo de suelo, estado de la planta, técnica, temporada o fertilizante durante la cosecha, manejo postcosecha, factores ambientales, y método de secado (Tashi Lepcha et al., 2018, p. 3129).

En el estudio “Biosynthesis of phenolic compounds and water soluble vitamins in culantro (*Eryngium foetidum* L.) plantlets as affected by low doses of gamma irradiation” determinan el cambio del valor nutricional de la Chillangua al estar expuestas a diferentes dosis de radiación, el análisis se realizó en extractos metanólicos evaporados al vacío, encontrando que, a una dosis de 40 Gy aumenta significativamente el contenido de flavonoides 61,66 mg/g, flavonas 18,02 mg/g, antocianina 5,06 mg/g, vitamina C 61,48 mg/100g en comparación con el control flavonoides 35,59 mg/g, flavonas 9,9 mg/g, antocianinas 1,8 mg/g y vitamina C 2,24 mg/100g (Ali, 2010, p.25)

El objetivo en “Changes in bioactive compounds in spiny coriander leaves in response to inflorescence pruning at different growth stages”, fue determinar diferencias en el contenido funcional de la Chillangua podada y sin podar, resultando para carbohidratos de 128.0 ± 5.6 mg/g o 134.0 ± 5.9 mg/g, carotenoides 84.3 ± 3.1 ug/g o 78.8 ± 5.4 ug/g, clorofila *a* $208,9 \pm 12.3$ o $199.5 \pm 19,5$ ug/g, clorofila *b* 101.5 ± 5.3 ug/g o 93.4 ± 8.3 ug/mg, fenoles totales $40,4 \pm 0.8$ mg/g o $40,4 \pm 1.0$ mg/g, flavonoides 1.81 ± 01

o 1.88 ± 0.1 mg/g, respectivamente, por otro lado, pueden variar en función a la etapa de crecimiento: juvenil mayor presencia de flavonoides y polifenoles, inicios de madurez niveles altos de carotenoides como de clorofila (Campos et al, 2019, p. 250).

En la cuantificación de compuestos fitoquímicos en *Eryngium Foetidum* realizada por Borah et al. (2020, p. 5) en la investigación “Phytochemical analysis and synergistic interaction of plants extracts on bacterial and fungal isolates”, el contenido fenólico fue de 164600 ug/mL y de flavonoides de 1547,9 ug/mL.

Dalukdeniya y Rathnayaka (2017, p. 2) en “Comparative Study on Antibacterial and Selected Antioxidant Activities of Different *Eryngium foetidum* Extracts”, analizaron a la Chillangua en tres solventes (metanol, cloroformo y agua), los resultados varían en función de que algunos compuestos polares no son solubles en solventes no polares.

En “Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder” investigaron el efecto de la temperatura y concentración de maltodextrina (5%,7%,10%) en función a la decoloración de la pigmentación del jugo de sandía, obteniendo encapsulados pálidos a concentraciones mayores al 5% de maltodextrina (Oberoi y Sogi, 2015, p. 172).

Los resultados obtenidos por Tolun et al. (2020, p. 302) en “Effect of different microencapsulating materials and relative humidities on storage stability of microencapsulated grape pomace extract” demuestran que la estabilidad de compuestos fenólicos se logra al combinar maltodextrina con equivalencia de dextrosa 4-7 con goma arábica en proporciones de 8:2.

Kuck y Noreña (2016, p. 569) en “Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents” determinan que, la actividad antioxidante de la cáscara de uva se maximiza en proporciones del 50:50 de goma arábica y maltodextrina.

En el artículo “Influencia del contenido de maltodextrina - goma arábica y temperatura del aire de entrada en el secado por atomización de jugo concentrado de naranja”,

determinan que, la goma arábica en mezcla con maltodextrina reduce costos operacionales al incrementar el contenido de sólidos, por lo tanto, el rendimiento varía en función de la temperatura de entrada como de la concentración, la humedad (4.02% - 4.95%) de los polvos son reducidas con el incremento de temperatura, concentración, y sujeta a la temperatura de las microgotas que podrían retener mayor humedad, el microscopio electrónico de barrido (SEM) mostró superficies redondeadas con cavidades, con un diámetro de 25.1 μm en un rango de 10 - 100 μm , el aire de entrada óptimo para la encapsulación es de 138°C con una concentración de 70% m/m (Aragüez et al., 2018, p. 27).

En el estudio “The Effects of Maltodextrin and Gum Arabic on Encapsulation of Onion Skin Phenolic Compounds”, establecieron los efectos del núcleo con respecto a la mezcla de goma arábica y maltodextrina (10:0, 6:4, 8:2) en proporciones 1:10 - 1:20, la goma arábica puede actuar como emulsionante, estabilizadora o generar una solución altamente viscosa, la actividad antioxidante como el rendimiento fue mayor cuando la concentración del recubriendo se encontraba en una relación 1:20, pero los compuestos funcionales no son significativo al variar la concentración del encapsulante, por otro lado, el tamaño de la partícula aumenta en función del incremento en proporciones del revestimiento como del núcleo (Akdeniz et al., 2017, p. 1891).

En los resultados de “Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source”, establecen que, un aumento en la temperatura de 140 a 170°C ayuda a la reducción de la humedad debido a la rápida evaporación del agua de las gotas atomizadas, el color disminuye a causa de la goma arábica; sin embargo, la solubilidad no varía con el aumento de temperatura, la microestructura de los polvos muestra ser continua, irregular, con presencia de hundimientos esto puede deberse a la rápida eliminación de húmeda y enfriamiento (Sarabandi et al., 2019, p.60).

1.2. Marco teórico

1.2.1. Chillangua (*Eryngium foetidum*)

La Chillangua, *Eryngium foetidum*, es sinónimo de *Eryngium antihystericum* Rottb. *E. foetidum* fo. *comosum* Urb. *E. foetidum* fo. *nudum* H. Wolf. *E. molleri* Gand (Blair y Madrigal, 2005). Conocida comúnmente como cimarrón, recaó, yerba de sapo, shadow benifi tweed, stinkweed, java ciriander, cilantro; espinoso, coyote, burro y culantro ancho, al parecer es originario de la región comprendida entre Veracruz (México), Panamá y las Islas de Caribe, actualmente se encuentra difundido en las zonas tropicales de África y Asia (Morales, 1995).

1.2.1.1. Botánica.

Pertenece a la familia botánica Apiaceae Umbeliferae, con raíces gruesas, tallo corto (30-50 cm de alto), hojas en forma de roseta cerca del suelo, semillas pequeñas (germinación rápida), flores blancas o azules en cabezuelas (Morales, 1995).

Se adapta con facilidad a climas cálidos y frescos es decir crece a temperaturas entre 15°C y 30°C, en suelos areno-arcillosos con pH 7 y bajo contenido de materia orgánica (Vega, 2001), la combinación de altas temperaturas y luz directa tienden a hacer que la Chillangua florezca más rápidamente y con mayor intensidad (Restrepo et al., 2005).

1.2.1.2. Composición química.

Se han detectado numerosos compuestos aromáticos en la especie *Eryngium* entre ellos 2,4,5-trimetilbenzaldehído, 5-decanona y otros (Morales, 1995). En la tabla 1 se detalla la composición química de las partes de la Chillangua.

Tabla 1.

Composición química de la Chillangua

Parte de la planta	Composición
Raíz	Saponinas
Tallo	Calcio, hierro, carotenos y riboflavina
Semillas	Aceite esencial (Carotol)
Hojas	Flavonoides, saponinas, esteroides, vitamina A, antraquinonas, fenoles (ácido clorogénico y ácido ferúlico), alcaloides, cumarinas, carotenoides (luteína) triterpenos y aceite esencial (alfa-pineno, alcohol fenólico, fufuron y dodeceno 2-al)

Fuente: Blair y Madrigal, 2005.

1.2.1.3. Usos.

La etnobotánica de la Chillangua es aprovechada en todos los trópicos de América y Asia en el tratamiento del paludismo que tiende a hepatitis, anemia, hemorragias, dolores de muela, erisipela, enfermedades digestivas, es utilizada como condimento, también presenta propiedades sudoríficas, estimulante de flujo sanguíneo, abortiva por consumo de raíces, las hojas frescas alivian la tos, gripe, fiebre, reumatismo, hipertensión, diabetes, actúa como laxante, estimula el apetito y evita las flatulencias (Blair y Madrigal, 2005).

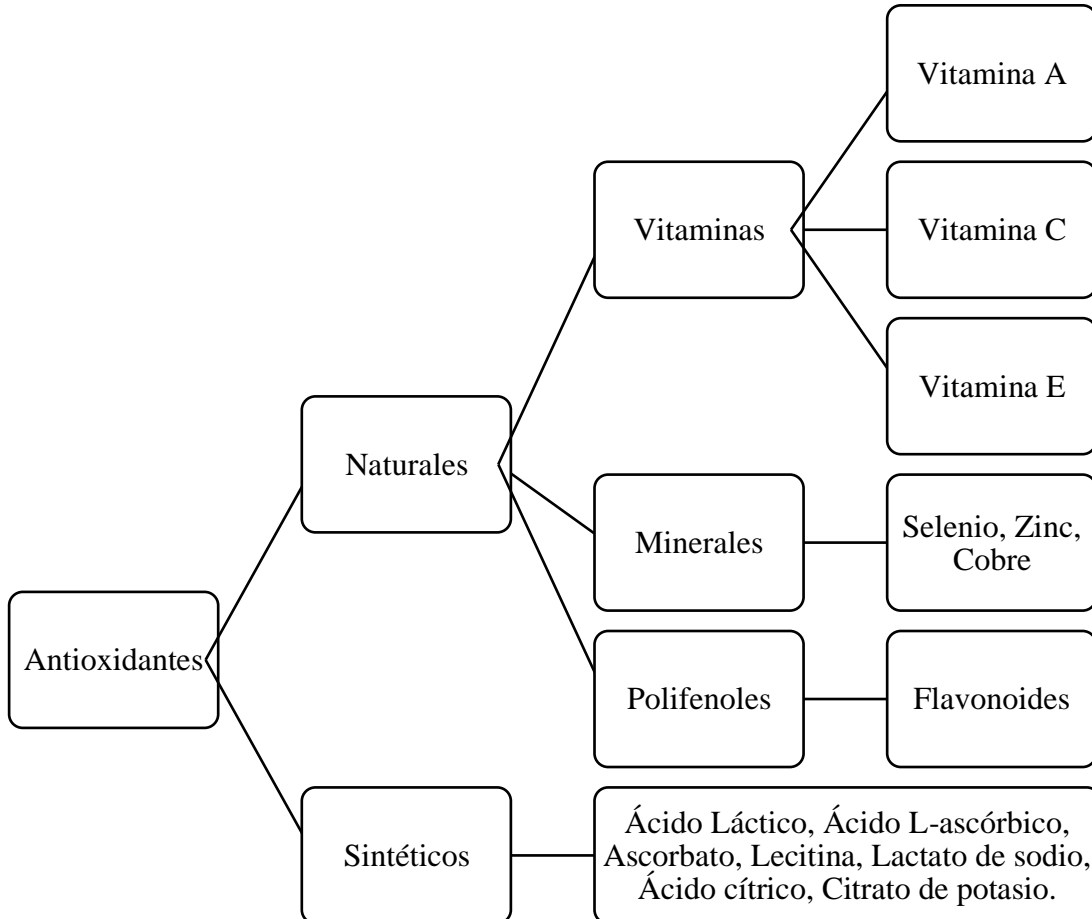
1.2.2. Antioxidantes

Los antioxidantes generalmente son sustancias fenólicas (grupos hidroxilo y anillos aromáticos) también denominados polifenoles, en las plantas se hallan de forma libre o conjugada con biomoléculas; controlan plagas, protegen de la radiación ultravioleta, proporcionan sabor y color a las plantas (Önder, 2021).

1.2.3. Clasificación de antioxidantes

Figura 1.

Antioxidantes naturales y artificiales



Fuente: Jamanca y Alfaro, 2017.

a) Naturaleza

Los antioxidantes por su naturaleza se subclasifican en naturales y sintéticos; los antioxidantes naturales como su nombre lo indica son de origen orgánico - vegetal, mientras que los sintéticos son producidos por el hombre mediante síntesis química (Jamanca y Alfaro, 2017).

b) Solubilidad

De acuerdo con su solubilidad se clasifican en hidrofílicos o solubles en agua y en hidrófobos, solubles en lípidos (Jamanca y Alfaro, 2017).

1.2.4. Biopolímeros

Los biopolímeros se conceptualizan como macromoléculas provenientes de animales (terrestres - marinos), microorganismos y plantas, estas sustancias deben tener la capacidad de ser biocompatible con sistemas biológicos (Vega y Montaña, 2020). Los polisacáridos naturales de alto peso molecular actúan como espesantes, emulsificante, gelificantes, estabilizantes, crean crioprotección, y a la vez se caracterizan por ser una goma.

1.2.4.1. Maltodextrina.

Es un polímero nutritivo con enlaces α -(1-4) de D-glucosa, obtenida por hidrólisis parcial ácida o enzimática del almidón de maíz, papa y arroz, para la comercialización del aditivo deben poseer alta pureza (FDA, 2022).

Es la unión de menos de veinte equivalencias de dextrosas (almidón hidrolizado), de sabor ligero a dulce, digerible, con alta solubilidad en agua incluso en altas concentraciones, incoloro, viscosidad baja, emulsificación baja, retiene pocas sustancias volátiles; sin embargo, cuando es mayor su concentración o combinado con otras gomas es altamente eficiente (niveles altos de sólidos totales), económico.

Por lo tanto, es considerado como un excelente insumo para encapsular principios activos por la permeabilidad de las paredes y no permitir fugas de oxígeno (Muhamad et al., 2018).

1.2.4.2. Goma arábica.

La goma arábica proviene de la corteza, tallos y ramas del árbol Acacia Senegal, es un heteropolisacárido de peso molecular de 300 a 800 kDa, formado por monómeros de β -galactopiranosas con cadenas de L-ramnopiranosas, L-arabinofuranosas y ácido glucurónico. La goma es incolora, esférica, inodora, compacta e insípida, utilizada por la alta solubilidad en agua, viscosidad baja, emulsionante y comportamiento newtoniano hasta el 40% en concentración (Badui, 2006).

Es adecuada para procesos de encapsulación por prevenir la caramelización de azúcares, evitar que las partículas se aglomeren en el secador, la estabilidad de la vitamina C y sobre todo la conservación de sabores y colorantes (Muhamad et al., 2018).

1.2.5. Encapsulación

Es la tecnología capaz de crear una membrana en forma esférica o irregular, que proteja el centro activo de una sustancia diferente (sólido, líquido, gaseoso) frente a factores ambientales, reduce procesos de oxidación o hidrólisis, disminuye la higroscopicidad, conserva las propiedades organolépticas, controla la velocidad de liberación en el tiempo, así como, en condiciones de pH y humedad (Sandoval-Peraza et al., 2017).

La técnica de encapsulación y el material encapsulante influyen en el tamaño de la partícula, también en la protección y estabilización del centro activo (Ortiz-Romero et al., 2021).

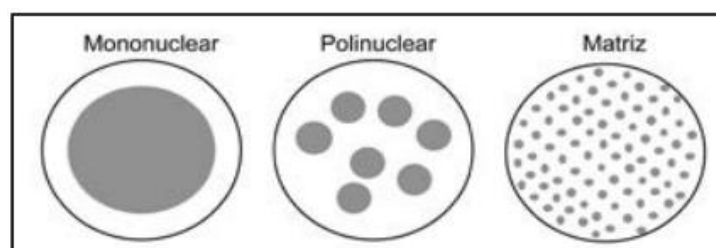
Se considera como microgránulos o macrocápsulas a encapsulados con tamaños mayores a 1000 μm , microencapsulación de 1-1000 μm y menores 1 μm como nanopartículas (Sandoval-Peraza et al., 2017).

1.2.6. Tipos de encapsulación

El tipo de encapsulación se clasifica acorde con su morfología; clasificándose en mononuclear, polinucleares y matriz.

Figura 2.

Tipos de encapsulación



Fuente: Nava et al., 2015.

Los mononucleares disponen de una cubierta uniforme sobre el núcleo activo, los polinucleares se distribuyen en varios centros activos y la encapsulación en matriz hace referencia a una distribución homogénea en el recubrimiento (Nava et al., 2015).

1.2.7. Tecnología de encapsulación

Las tecnologías de encapsulación de principios activos han sido estudiadas ampliamente y en la actualidad se encuentran aplicadas en la industria alimentaria; la elección de la técnica depende del peso molecular, la matriz, polaridad o solubilidad del núcleo (Popovic et al., 2019).

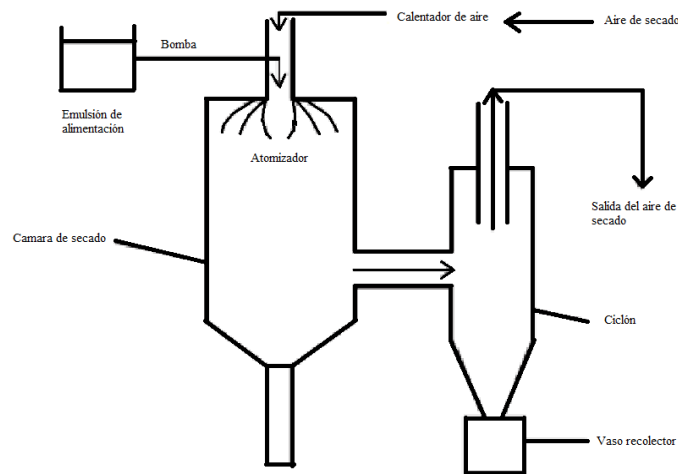
1.2.7.1. Secado por aspersión.

El secado por aspersión, es la acción efectuada en condiciones controladas de calor, con el fin de reducir drásticamente el contenido de humedad en soluciones atomizadas por 5-30 segundos, el tamaño de los polvos comprende entre 10 a 50 μm o 2 a 3 mm,

pero dependen de las condiciones de operación; es la técnica más utilizada por su bajo coste, ideal para materias primas sensibles al calor, ayuda a incrementar la vida útil al inhibir el crecimiento de microorganismo y actividades enzimáticas (Sandoval-Peraza et al., 2017). Sin embargo, no presenta uniformidad en el secado dentro de la cámara formando partículas de diversos tamaños, además, no es ideal para soluciones altamente viscosas (Kalušević et al., 2017).

Figura 3.

Diagrama por secado por aspersión



Fuente: Nguyen et al., 2021.

El secado por aspersión incluye las siguientes etapas:

- a) Atomización: regula el tamaño de la partícula, la trayectoria, la frecuencia y la característica de la partícula por medio de una bomba de aspersión a presión, disco rotatorio o boquilla neumática.
- b) Contacto mezcla aire-gotas: se realiza en contracorriente haciendo que la solución gire a alta velocidad con el aire que se encuentra generalmente entre 150°C y 210°C, formando una película de recubrimiento, las partículas más pesadas son llevadas al tanque de recolección y el aire sale del proceso.

c) Evaporación: la humedad restante en el polvo es eliminada en la cámara de secado, por lo que es necesario temperatura alta, pero su uso puede degradar las características del producto final.

d) Recuperación de producto (Sharma et al., 2003).

1.2.7.2. Secado por liofilización.

Es una técnica de evaporación a baja temperatura, los compuestos bioactivos son encapsulados a menor riesgos de cambiar sus propiedades, ideal para encapsular polifenoles y preservar la actividad antioxidante, pero su principal desventaja es su costo de operación y el tiempo (Popovic et al., 2019).

1.2.7.3. Perlas fluidas.

La metodología consiste en suspender los compuestos bioactivos al principio con aire a una temperatura específica, posteriormente se atomizan soluciones acuosas, celulosas, derivados del almidón o gomas atomizadas para generar el recubrimiento, es una modificación del secado por aspersión (Sandoval-Peraza et al., 2017).

1.2.7.4. Método de extrusión.

La técnica se fundamenta en formar gotas de una matriz con el principio activo por extrusión e inyectadas en una solución que se está produciendo gelificación, el producto final se caracteriza por tener una superficie dura, densa y vítrea (Popovic et al., 2019).

1.2.7.5. Proceso de emulsificación.

La emulsificación es otra técnica empleada para encapsular agentes activos solubles en agua, se crea emulsiones simples o dobles entre el agua y el aceite, los polvos se obtienen al secado por aspersión o por liofilización (Sandoval-Peraza et al., 2017).

1.2.8. Características de los recubrimientos

La matriz protectora es uno de los factores más importantes a considerar en la encapsulación, las características ideales en el recubrimiento son baja viscosidad, baja higroscopicidad, capacidad emulsificante, estabilizante, sabor insípido, bajo coste insoluble y no reactivos con centros fitoquímicos (Sandoval et al., 2004).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Modalidad o enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, al pretender comprobar la hipótesis de la investigación, además, al recolectar datos numéricos de las propiedades físicas, químicas y funcionales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*), se procura comprobar el comportamiento del encapsulado a diferentes temperaturas (°C), y concentraciones de maltodextrina (%) y goma arábiga (%).

Este tipo de investigación en donde el investigador manipula una o más variables, y es cuantificada mediante las variables de respuesta sobre la estabilización del encapsulado; color, clorofila *a*, clorofila *b*, polifenoles totales, flavonoides, actividad antioxidante, vitamina C, y carotenoides se realizó con el fin de determinar los efectos de las condiciones de manipulación sobre las propiedades de los principios activos y actividad antioxidante.

2.2. Tipo de investigación

De acuerdo con el nivel de profundización es experimental, al ser un tema no antes abordado, es sistemático debido a que, el investigador manipula tres variables independientes y una variable dependiente, también, se pretende generar posibles

variables promisorias, en cuanto a estabilización de la actividad antioxidante de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) y las variables operacionales del secado por aspersión. Además, es descriptiva al medir variables independientes como son el análisis proximal de la planta, compuestos funcionales, morfología y tamaño de los encapsulados.

2.3. Técnicas e instrumentos

La investigación tuvo un enfoque experimental y cualitativo, como técnicas se utilizó la observación y lectura científica, a través de fuentes bibliográficas como son artículos científicos, libros y tesis de cuarto nivel, mediante la utilización de buscadores académicos. La recolección de la información ayudo a contrastar información y de esta manera se sustenta la investigación respondiendo a la hipótesis planteada. Además, para cada variable de respuesta se generó un registro en Excel con el fin de recolectar los datos obtenidos durante el análisis y ser procesados por medio del programa estadístico Statgraphic.

El proyecto fue realizado en el Área de Investigación y Desarrollo de Productos y Procesos II (Departamento de Nutrición y Calidad) Estación Experimental Santa Catalina-INIAP.

2.3.1. Materiales, equipos y reactivos

Tabla 2.

Materiales, equipos y reactivos utilizados

Materiales	Reactivos	Equipos
● Probeta	● Chillangua	● Espectrofotómetro
● Espátula	● Maltodextrina	● Desecador
● Balanza	● Goma Arábica	● Buchi Mini Spray
● Cápsulas de aluminio	● Hidróxido de sodio	Dryer B -290
● Pinzas metálicas	● Fenolftaleína	● Cenco

● Envases plásticos	● Agua destila	● Colorímetro DR
● Botellas con tapa	● Ácido bórico	● LANGE espectro -
● Vasos de precipitación de 50, 100, 250, y 500 mL	● Ácido clorhídrico	● color
● Varillas de agitación	● Hidróxido de sodio	● Liofilizador Labconco
● Jarras plásticas	● Ácido sulfúrico	● Tamices de 250 y 75 μm
● Espátula plástica	● Catalizadores de digestión	● Decagon CX-2
● Fundas metálicas	● Metanol	● Molino Retsch ZM 200
● Balones de 25, 100, 200, 250, 500 y 1000 mL	● Carbonato de sodio	● Congelador LOZADA HNOS 2656480
● Matraz de digestión	● Folin Ciocalteau	● Estufa
● Matraz de 10 mL	● Trolox	● Mufla
● Matraz de 100 mL	● Ácido ascórbico	● pH metro Inolab
● Mechero Bunsen	● Etanol	● Balanza DHAUS
● Pinzas	● Acetona	● Scientific Evolution 201 Uv-Visible Spectrophotometro
● Soporte universal	● Quercetina	● Digestor Kjeldahl
● Pipetas de 5 y 10 mL		● Vortex
● Frasco ámbar		● Termómetro
● Goteros		● Baño María
● Embudos		● Pipetas automáticas
● Tubos de ensayo		
● Pipetas automáticas		
● Dispensador		

Nota: Se ha priorizado los materiales, reactivos y equipos utilizados

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Acondicionamiento de la Chillangua (*Eryngium foetidum*)

La materia prima fue comprada en el Mercado Mayorista de Quito y transportada al laboratorio. Con el propósito de eliminar restos de residuos orgánicos e inorgánicos fueron limpiadas con ayuda de un paño húmedo de textura suave.

Una vez limpias las hojas, una porción se secó en una estufa de aire forzado a 50°C aproximadamente por 2 horas; otra fracción, fue congelada por 24 horas y luego liofilizada durante 5 días. Las muestras secas fueron trituradas en un molino Retsch (Haan, Alemania) con un tamaño de partícula de 5 µm, finalmente se almacenaron en frascos de plásticos con su respectiva etiqueta.

2.3.3. Análisis proximal

2.3.3.1. Grasa.

- Se colocó en una botella de vidrio previamente tarada por 24 horas a 105°C, una bolsa de papel filtro con 1 g de muestra liofilizada.
- Posteriormente, se dejó a temperatura ambiente durante 5 días con 20 mL de hexano puro.
- Transcurrido el tiempo se procedió a evaporar en una estufa por 2 horas a 105°C.
- Finalmente, se dejó enfriar en el desecador para ser pesada en una balanza analítica (AOAC, 2012).

El contenido de grasa se expresó en porcentaje (%) de acuerdo con la ecuación número 1.

$$\%grasa\ cruda = \frac{P_3 - P_2}{P_1} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P_1 =Peso inicial del envase (g)

P_2 =Peso del envase tarado (g)

P_3 = Peso del envase más el residuo de grasa (g)

2.3.3.2. Fibra.

- En un vaso de 600 mL se pesó 2 g de muestra liofilizada, al cual se incorporó 200 mL de ácido sulfúrico al 0.7 por mil.
- La digestión se llevó a 65°C por 10 min y a 90°C por 20 minutos, transcurrido los 30 minutos se incorporó a la muestra hidróxido de sodio (NaOH) al 22%, para luego continuar con la digestión por 30 minutos a 65°C.
- La fibra se recolectó en un crisol con fibra de vidrio, la misma que fue lavada con agua destilada caliente, 100 mL de ácido sulfúrico al 7 por mil y 20 mL de hexano puro.
- El crisol fue llevado a una estufa por 8 horas a 105°C, una vez frío se tomó el primer peso, seguidamente fue llevado a una mufla a 600°C por 8 horas (AOAC, 2000).
- Por último, se tomó el peso y se procedió con el cálculo, el contenido de fibra se expresó en porcentaje (%) de acuerdo con la ecuación número 2.

$$F_c = \frac{P_{cf} - P_{cc}}{P_m} * 100 \quad (2)$$

Donde:

F_c = Porcentaje de fibra cruda

P_{cf} = Peso del crisol secado a 105°C

P_{cc} = Peso del crisol después de la incineración

P_m = Peso de la muestra

2.3.3.3. Proteína.

El método de Kjeldahl es utilizado con el propósito de cuantificar el porcentaje de nitrógeno presente en las proteínas:

- En un matraz micro-Kjeldahl se pesó justamente 0.150g de Chillangua liofilizada y 1.00g del catalizador, el cuello del matraz debe estar expedito de cualquier sustancia.
- Al matraz se agregó 2.5 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado.
- La digestión fue llevada a cabo a 75°C durante 30 minutos, después un incrementó a 90°C por 60 minutos, transcurrido el tiempo se dejó enfriar dentro de la cámara de extracción alrededor de 4 minutos.
- Por los bordes del cuello del matraz se agregó 7 mL de agua destilada (H₂O), luego se dejó enfriar por unos minutos más.
- Una vez caliente la unidad destiladora, se procedió adicionar la muestra en la cámara de ebullición, el matraz fue lavado con 5 mL de H₂O, seguidamente, se añadió 10 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 30%.
- Encendido el equipo, se recolectó 40 mL del destilado en un erlenmeyer que contenía 10 mL de ácido bórico con dos gotas del indicador. El resultado presentó una tonalidad verdosa.
- Finalmente, el destilado es titulado con ácido clorhídrico 0.1N (HCl), considerándose el fin cuando la muestra torne a color violeta (AOAC, 1980).

El contenido de proteína se expresó en porcentaje (%) de acuerdo con la ecuación número 3.

$$\%N = NHCl \times \frac{Vol. \text{ ácido corregido}}{g \text{ de muestra}} \times 14 g N \times 100 \quad (3)$$

Donde:

NHCl = Normalidad del HCl en moles/1000mL

Vol. de ácido corregido = (mL ácido estandarizado para la muestra) –
(mL de ácido estandarizado para el blanco).

14 g N = Peso atómico del nitrógeno.

2.3.3.4. Cenizas.

El contenido de ceniza se determinó por el método de pérdida por ignición que consiste en tarar el crisol en una estufa a 105°C por 24 horas, seguidamente se pesó 1 g de la muestra liofilizada para ser calcinada a 600°C por 8 horas, se retiró la muestra de la mufla y fue depositada en el desecador, por último, se tomó el peso para realizar los cálculos (Vidal et al, 2014). El contenido de ceniza se expresó en porcentaje (%).

2.3.3.5. Carbohidratos totales.

El contenido de carbohidratos totales o ELN fue calculado por diferencia del porcentaje de ceniza, grasa, proteína y fibra de la Chillangua liofilizada (AOAC, 2000). El contenido de carbohidratos se determinó de acuerdo con la ecuación número 4.

$$\%ELN = 100 - (\%F + \%C + \%G + \%P) \quad (4)$$

Donde:

% ELN = Contenido de carbohidratos

% F = Porcentaje de fibra

% C = Porcentaje de cenizas

% G = Porcentaje de grasa

% P = Porcentaje de proteína

2.3.3.6. Humedad

El porcentaje de humedad se determinó por triplicado al pesar 1g de Chillangua (*Eryngium foetidum*) fresca en cápsulas de aluminio, luego fueron llevadas a 105°C por 24 horas a una estufa (AOAC, 2000).

El contenido de humedad se expresó en porcentaje (%) de acuerdo con la ecuación número 5.

$$\%humedad = \frac{m_2 - (m_3 - m_1)}{m_2} * 100 \quad (5)$$

Donde:

m_1 = Masa de la cápsula metálica vacía

m_2 = Masa de la muestra

m_3 = Masa de la cápsula más muestra seca

2.3.4. Extracto con principio activo

La primera extracción se realizó en un envase de acero inoxidable, colocando 50 g de Chillangua seca (estufa de aire forzado) con 600 mL de agua destilada en un agitador (kitchenAid, Estados Unidos) durante dos horas a temperatura ambiente, a continuación, se filtró la solución en un cedazo seguido por dos tamices de 250 μm y 75 μm .

La segunda extracción se efectuó al pesar 100 g del residuo de la primera extracción más 600 mL de agua destilada, en agitación (kitchenAid, Estados Unidos) por dos horas en un envase de acero inoxidable, luego se filtró por un cedazo seguido por tamices de 250 μm y 75 μm .

El principio activo obtenido de la primera como de la segunda extracción fueron mezclados, almacenados en botellas plásticas, y conservados en un congelador a una temperatura menor a cinco grados.

2.3.5. Técnica de Atomización

2.3.5.1. Preparación de soluciones.

La preparación de soluciones para la encapsulación por secado va a depender de la naturaleza del principio activo de la Chillangua (*Eryngium foetidum*), para un núcleo soluble en agua se disuelve con el material de recubrimiento (Sharma et al., 2003).

- Se pesó la Goma Arábica, la cual fue disuelta en 200 mL de agua destilada, en un agitador electromagnético (kitchenAid, Estados Unidos) hasta obtener una solución homogénea.
- Se pesó la Maltodextrina, se incorporó 200 mL del extracto que contiene los principios activos de Chillangua (*Eryngium foetidum*) que poco tiempo atrás se filtró nuevamente por un tamiz de 75 μm , se mantuvo en movimiento electromagnético hasta obtener una mezcla uniforme.
- Finalmente, se mezclaron las soluciones preparadas anteriormente con agitación hasta su atomización.

2.3.5.2. Operación del secado por aspersión.

El proceso operacional comenzó con la verificación de que todos los componentes del equipo mini Spray Dryer BUCHI B-290 (Flawil, Suiza) que se encuentren colocados de manera correcta y limpios.

- Se conectó la bomba de vacío a un tomacorriente de 110 voltios para que alcance ocho bares de presión.

- El equipo Spray Dryer B -290 se encendió en conjunto con el depósito de agua que funciona como refrigerante del equipo.
- Se ajustó la temperatura y velocidad de entrada del aire, asimismo los ciclos de limpieza.
- Posteriormente, se prendió el aspersor hasta que no exista presencia de rocíos de agua en la torre, igualmente en toda la estructura donde se efectúa el ciclón de secado.
- Se presionó el botón de encendido del calentador de aire y se esperó hasta que alcance la temperatura deseada.
- La bomba de alimentación empezó a funcionar por cinco minutos con agua destilada, seguidamente se dio paso a la solución obtenida con el extracto (mezcla de goma arábica, agua destilada, maltodextrina y extracto de Chillangua).
- Terminada la atomización del extracto se dejó que recorra por cinco minutos agua destilada, posterior a ello, se apagó en el orden; bomba de alimentación, calentador de aire cuando el equipo alcanza 90°C y aspersion.
- El proceso finalizó con la recolección de los polvos obtenidos en recipientes de plástico (Sharma et al., 2003).

2.3.6. Caracterización de los encapsulados

2.3.6.1. Parámetros Físicos.

a) Humedad

El contenido de humedad se determinó al secar 1 g del polvo de Chillangua (*Eryngium foetidum*) obtenido por atomización en una estufa a 105°C durante 24 horas, ensayos que se realizó por triplicado (Flores et al., 2021). El resultado de un alto contenido de humedad se refleja en que los polvos son cohesivos (Fitzpatrick et al., 2004). El contenido de humedad se expresó en porcentaje (%) de acuerdo con la ecuación número 6.

$$\%humedad = \frac{m_2 - (m_3 - m_1)}{m_2} * 100 \quad (6)$$

Donde:

m_1 = Masa de la cápsula metálica vacía

m_2 = Masa de la muestra

m_3 = Masa de la cápsula más muestra seca

b) Color

El color de los polvos obtenidos se determinó con un Colorímetro DR LANGE espectro - color, en el cual se obtuvo parámetros de luminosidad “L*” (negro-blanco), cromaticidad “c” (a*: verde o rojo, b*: azul o amarillo), ángulo de hue “H°” (Sillerico et al, 2016).

c) Actividad de agua

La actividad del agua (aw) se realizó por el método de crioscopia la cual mide la fuerza emergente que tiene el agua con la estructura (Kambarova et al., 2021), los encapsulados fueron evaluados en el equipo testo 650 (Lenzkirch, Germany).

d) Prueba de disolución

Por triplicado , se pesó 100 mg de la muestra (encapsulado) en un tubo de ensayo al cual se adicionó 10 mL de agua destilada, para su disolución se agitó fuertemente en un vortex a temperatura ambiente, cuando se disolvió completamente se registró el tiempo transcurrido (Quek et al., 2007).

e) Microestructura

Las partículas fueron analizadas mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM), las muestras fueron colocadas en una cinta de carbono de doble faz, limpiadas con aire comprimido, y recubiertas con oro, finalmente a 20.0 kV se determinó la morfología de los encapsulados y el análisis elemental de los encapsulados por espectroscopia de rayos X dispersa - EDS (Sarabandi et al., 2019).

2.3.6.2. Componentes funcionales

El extracto para determinar fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante se obtuvo al pesar 0.800g de muestra (Chillangua encapsulada y liofilizada), con la adición de 10 mL de metanol al 25% con agitación por 10 min, debido a que la maltodextrina no es soluble a concentraciones mayores, posteriormente se centrifugó por 10 minutos.

La primera extracción se filtró en un balón de aforo de 25 mL. Los residuos obtenidos por centrifugación, se les adicionó 10 mL de metanol al 25%, con ayuda de un vortex se obtiene una mezcla homogénea, seguidamente por cinco minutos fue llevado a baño maría (80°C) considerándose como una segunda extracción, misma que fue filtrada en el balón de 25 mL e igual que enrasada, las soluciones preparadas fueron colocadas en envases de vidrio translúcidos y congelados para su conservación.

a) Contenido de polifenoles totales

El método de Folin-Ciocalteu fue utilizado para determinar el contenido de polifenoles totales:

- En un tubo de ensayo se colocó 400 µL de agua destilada (blanco) y en otro 400 µL de muestra

- Con ayuda de un dispensador se añadió 8 mL de agua destilada más 500 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu 2N.
- Se agitó y se dejó reposar durante 6 minutos en un lugar oscuro a temperatura ambiente.
- Transcurrido el tiempo cada tubo de ensayo fue homogeneizado al colocar 1500 μ L de carbonato de sodio saturado.
- Los tubos de ensayo fueron sometidos por 30 minutos a baño maría a 40°C.
- La lectura de la absorbancia se realizó en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm, la concentración se realizó en base a la curva de calibración (Anexo F) con el estándar ácido gálico (Cachay-Morante et al., 2022).

El contenido de polifenoles totales se expresó en mg de ácido gálico/g de acuerdo con la ecuación número 7.

$$PT = \frac{Abs + b}{a} * \frac{V * FD}{PM * 1000} \quad (7)$$

Donde:

Abs = Absorbancia obtenida del espectrofotómetro

b = Intercepto

a = Pendiente

FD = Factor de dilución

V = Volumen total del extracto (mL)

PM = Peso de la muestra (g)

b) Contenido de flavonoides totales

El contenido de flavonoides se determinó por el método cloruro de aluminio ($AlCl_3$), que se fundamenta en:

- Colocar 3 mL del extracto en un tubo de ensayo más 6 mL de cloruro de aluminio ($AlCl_3$) metanólico al 2%.
- Fuertemente homogeneizado, para luego permanecer en oscuridad por 10 minutos a temperatura ambiente.
- Culminado el tiempo se leyó en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 430 nm, el cálculo se encuentra en base a la curva de calibración (Anexo F) obtenida por el estándar de quercetina (Quettier-Deleu et al., 2000).

El contenido de flavonoides se expresó en mg de quercetina/g de acuerdo con la ecuación número 8.

$$FT = \frac{Abs - b}{a} * \frac{V}{PM * 1000} \quad (8)$$

Donde:

Abs = Absorbancia obtenida del espectrofotómetro

b = Intercepto

a = Pendiente

V = Volumen total del extracto (mL)

PM = Peso de la muestra (g)

c) Capacidad antioxidante por ácido 2,2-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico (ABTS+)

El método de ABTS+ fue utilizado para determinar la capacidad antioxidante en el extracto;

- Se preparó el reactivo diluido de ABTS²⁺, a una concentración de 1.1±0.02 a una longitud de onda de 734 nm, el autocero se consideró como etanol al 96%.

- Se transfirió 150 μL de la muestra y metanol al 25% (blanco) en diferentes tubos de ensayo al cual se les añadió 2850 μL del ABTS^{2+} diluido. Posteriormente, fueron agitados fuertemente en un vortex
- Se dejó en reposo durante 10 minutos a temperatura ambiente y en un lugar oscuro, para luego ser nuevamente agitados.
- Una vez más, se esperó 10 minutos. La metodología finalizó con la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 734 nm; sin embargo, si las absorbancias son menores a 0.2 nm se deberá realizar diluciones.
- Los cálculos se efectuaron bajo la curva de calibración (Anexo F) que se realizó con el estándar Trolox (Roca et al., 2020).

La actividad antioxidante se expresó en $\mu\text{mol trolox Eq/g}$ de acuerdo con las ecuaciones números 9 y 10.

$$Abs\ real = (Bl_M - Abs_M) \quad (9)$$

$$ABTS+ = \frac{Abs - b}{a} * \frac{V}{PM * 1000} \quad (10)$$

Donde:

Abs real = Absorbancia real

Bl_M = Blanco de la muestra

Abs_M = Absorbancia de la muestra

Abs = Absorbancia obtenida del espectrofotómetro

b = Intercepto

a = Pendiente

V = Volumen total del extracto (mL)

PM = Peso de la muestra (g)

d) Capacidad antioxidante por DPPH

El método del radical libre DPPH es utilizado para determinar la capacidad antioxidante, la curva de calibración fue elaborado en base al estándar Trolox:

- Se adicionó 100 μL de cada extracto con 2.9 mL del reactivo de color en un tubo de ensayo, se agitó fuertemente, y se dejó reposo por 30 minutos en un lugar oscuro.
- Para el blanco, en el tubo de ensayo se colocó 150 μL de metanol al 25% más 2.9 mL del reactivo de color, fuertemente se agitó, y por 30 minutos se dejó en reposo en un lugar oscuro.
- Seguidamente, se leyó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 517 nm (Vera y Schmalko, 2019).

La actividad antioxidante se expresó en $\mu\text{mol trolox/g}$ de acuerdo con las ecuaciones número 11 y 12.

$$Abs\ real = (Bl_M - Abs_M) \quad (11)$$

$$DPPH = \frac{Abs - b}{a} * \frac{V}{PM * 1000} \quad (12)$$

Donde:

Abs real = Absorbancia real

Bl_M = Blanco de la muestra

Abs_M = Absorbancia de la muestra

Abs = Absorbancia obtenida del espectrofotómetro

b = Intercepto

a = Pendiente

V = Volumen total del extracto (mL)

PM = Peso de la muestra (g)

e) **Ácido ascórbico (Vitamina C)**

El extracto se obtuvo al pesar 0.500g del encapsulado en un tubo de ensayo con 13 mL del extractante (ácido oxálico 0.4% y acetona 20%), después se homogenizó fuertemente en un vortex durante un minuto. La muestra fue filtrada en un balón de aforo translúcido de 25 mL y aforado con extractante.

- En un tubo de ensayo se adicionó 1 mL de extracto más 9 mL de la solución diluida del 2,6 DCIP (2,6 dicloroindofenol), transcurrido un minuto se midió su concentración mediante el espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm (blanco de reactivo).
- Se colocó 1 mL del extracto en diferentes tubos de ensayo al cual se agregó 9 mL de la solución diluida del 2,6 DCIP y 9 mL de agua destilada respectivamente (blanco muestra), se homogeneizó y fue leído a 520 nm. Se determino de acuerdo con la ecuación número 13.

$$Abs_m = BR - (Abs_m - B_m) \quad (13)$$

Donde:

Abs_m = Absorbancia real de la muestra

BR = Blanco de reactivo

B_m = Blanco de la muestra

El contenido de vitamina C se expresó en mg de ácido ascórbico/g de acuerdo con la ecuación número 14.

$$VC = \frac{Abs - b}{a} * \frac{V}{PM * 1000} \quad (14)$$

Donde:

Abs = Absorbancia obtenida del espectrofotómetro

b = Intercepto

a = Pendiente

V = Volumen total del extracto (mL)

PM = Peso de la muestra (g)

f) Contenido de carotenoides y clorofila

En vasos de 50 mL protegidos de la luz se pesó 0.800g de los polvos obtenidos en el equipo Spray Dryer y 0.125 g de hojas de Chillangua liofilizada, seguidamente se añadió 15 mL de acetona fría, las muestras fueron homogeneizadas por dos días. Cuando la extracción ha finalizado se procedió a filtrar en balones de 25 mL protegidos de la luz, y aforados con acetona fría (Pataro et al., 2015).

Las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro a tres longitudes de onda 662 nm, 645 nm, y 470 nm, el total de clorofila y carotenoides se expresaron en µg/mL, finalmente, se calculó de acuerdo con las ecuaciones números 15,16 y 17.

$$C_a = 11.75 A_{662} - 2.35 A_{645} \quad (15)$$

$$C_b = 18.61 A_{645} - 3.96 A_{662} \quad (16)$$

$$C_{x+c} = \frac{(1000 A_{470} - 2.27 C_b)}{227} \quad (17)$$

Donde:

C_a= Contenido de clorofila *a*

C_b= Contenido de clorofila *b*

C_{x+c} = Contenido de carotenoides

2.4. Diseño experimental

La investigación es de carácter experimental, al tener el control y la aleatoriedad de la temperatura inicial de atomización como también el tipo de encapsulante, para la optimización de las variables se utilizó el diseño de superficie central compuesto 2^3 , con una distancia axial de 1.68179, posee dos puntos centrales y dos axiales. Se utilizó el programa Statgraphic Centurion XV, para ello se establecieron 16 corridas o tratamientos; es decir, una muestra en cada ejecución. El modelo por defecto es cuadrático con 10 coeficientes y el orden de los experimentos no fue aleatorizado.

2.4.1. Factores en estudio

Factor A: Temperatura de atomización

$$a_1 = 130^{\circ}\text{C}$$

$$a_2 = 160^{\circ}\text{C}$$

Factor B: Concentración de Goma arábica

$$b_1 = 3\%$$

$$b_2 = 10\%$$

Factor C: Concentración de Maltodextrina

$$c_1 = 3\%$$

$$c_2 = 10\%$$

Tabla 3.

Tratamientos experimentales

Corrida	Temperatura (°C)	Concentración de goma arábica (%)	Concentración de maltodextrina (%)
1	145	6.5	6.5

2	130	3.0	3.0
3	160	3.0	3.0
4	130	3.0	10
5	160	3.0	10
6	130	10.0	3
7	160	10.0	3
8	130	10.0	10
9	160	10.0	10
10	120	6.5	6.5
11	170	6.5	6.5
12	145	6.5	0.614
13	145	6.5	12.386
14	145	0.614	6.5
15	145	12.386	6.5
16	145	6.5	6.5

Nota: Por pruebas preliminares se establecieron la temperatura y concentración

2.4.2. Modelo matemático

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{<j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Donde:

$\beta_i x_i$ = Es el efecto lineal del nivel i del factor.

$\beta_{ii} x_i^2$ = Es el efecto cuadrático del nivel i del factor.

$\beta_{ij} x_i x_j$ = Interacción de los componentes

β_0 = Constante

ε = Representa el error aleatorio

I = Son las repeticiones o réplicas del experimento.

La superficie de las figuras está conformada por tres formas específicas: a) montaña (superficie máxima), b) minimax (superficie con punto silla) y c) valle (superficie con mínimo) (Gutiérrez y Salazar, 2016).

2.4.3. Variables

Variables independientes

- Temperatura de atomización
- Tipo de encapsulante
- Concentración del encapsulante

Variable dependiente

- Encapsulación de antioxidantes naturales de la Chillangua (*Eryngium foetidum*).

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades fisicoquímicas de la Chillangua (*Eryngium foetidum*).

En la tabla 4 se indica el promedio de las propiedades químicas de la Chillangua, presentó alta humedad 71.76%, con un pH de 6.88, resultado que se encuentra en el rango de humedad 10.3% al 87% reportado por Rodrigues et al. (2022). Sin embargo, la Chillangua liofilizada presentó el contenido de grasa (1.34%), proteína (17.47%), fibra (22.90%) y ceniza (14.24%) mayor a los reportados por Rodrigues et al., (2022), grasa 1.95%, proteína 5.25%, fibra 6.32%, también Tashi Lepcha et al., (2018), investiga el análisis proximal de la Chillangua encontrando que presenta 0.73% grasa 2.63% proteína, 31.50% fibra y cenizas 3%.

Este efecto puede deberse por la técnica o temporada de cosecha, ubicación geográfica de la especie, manejo postcosecha, factores ambientales, tipo de suelo, estado de la planta, fertilizantes, método y condiciones de secado (Tashi Lepcha et al., 2018).

Tabla 4.

Caracterización físico-química de la Chillangua

Parámetro	Media	Desv. típ. [±]
Humedad %BF	71.76	2.51

Grasa	% BS	1.34	0.038
Proteína	% BS	17.47	0.86
Fibra	% BS	22.90	0.20
Cenizas	% BS	14.24	0.45
ELN	% BS	44.05	
pH	-	6.88	0.14

Nota: BF=base fresca, BS = base seca. Se trabajó con tres repeticiones (n=3)

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros instrumentales L*, C*, H°, a*, b* se evidencian en la tabla 5, la luminosidad del envés es ligeramente superior al haz de las hojas de Chillangua, la tonalidad verdosa es similar entre la cara y el envés, con excepción de que el haz de las hojas presenta mayor pureza que el envés, se demuestra también la similitud entre tonalidades.

Tabla 5.

Color de las hojas de Chillangua en estado fresco

Hoja	Haz		Envés		Diagrama con los parámetros a* y b*
	Media	Desv. típ. [±]	Media	Desv. típ. [±]	
L*	28.5	7.04	39.16	4.53	<p>The diagram is a circular color chart with concentric circles representing L* values (10, 20, 30, 40, 50, 60) and radial lines representing a*b* values (-60, -50, -40, -30, -20, -10, 10, 20, 30, 40, 50, 60). The outer edge is color-coded: +b* (Amarillo) at the top, +a* (Rojo) on the right, -a* (Azul) at the bottom, and -b* (Verde) on the left. An arrow labeled 'Tono' indicates the direction of increasing chroma. Two points are marked: 'Envés' at approximately L* 39.16, a*b* -17.32 and 'Cara' at approximately L* 47.12, a*b* -21.81.</p>
C*	47.12	9.83	46.96	11.25	
H°	118.22	6.46	112.41	2.35	
a*	-21.81	4.66	-17.32	3.18	
b*	41.48	9.96	42.71	9.67	

Nota: Se trabajó con tres repeticiones (n=3) por cada lado de la hoja.

Fuente: Elaboración propia

3.2. Componentes funcionales y la capacidad antioxidante de la Chillangua (*Eryngium foetidum*).

Los compuestos funcionales y la actividad antioxidantes se muestran en la tabla 6, el contenido de flavonoides 0.02 mg/g PS es bajo en comparación con los estudios de Ali (2010) y Campos et al. (2019), 61.66 mg/g y 1.81 mg/g respectivamente. El bajo contenido podría relacionarse con la poca solubilidad que presenta el metabolito en extracciones de tipo acuoso (Singh et al., 2013).

Tabla 6.

Componentes funcionales y capacidad antioxidante de la Chillangua liofilizada

	Unidades	Media	Desv. típ. [±]
Clorofila a	µg/g BS	3883.77	0.44
Clorofila b	µg/g BS	1761.72	0.33
Carotenoides	µg/g BS	889.19	0.07
Polifenoles Totales	mg/g BS	61.21	1.09
Flavonoides	mg/g BS	0.02	0.00
Vitamina C	mg/g BS	1.29	0.07
ABTS	µmol trolox Eq/g BS	22.40	0.68
DPPH	µmol trolox/g BS	91.60	0.79

Nota: BS= base seca. Se trabajó con tres repeticiones (n=3)

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de clorofila *a* 3883.77 µg/g BS, clorofila *b* 1761.72 µg/g BS y carotenoides 889.19 µg/g BS, son altos en comparación con los obtenidos por Campos et al. (2019) siendo sus resultados clorofila *a* 208,9 µg/g, clorofila *b* 101.5 ± 5.3µg/g, carotenoides 84.3 µg/g, efecto que puede ser influenciado por la etapa de crecimiento. Al inicio de la madurez, la planta puede presentar mayores niveles de clorofila y carotenoides debido a la pérdida de agua en su estructura.

La cantidad de ácido ascórbico (1.29 mg/g BS) presente en las hojas es mayor a lo reportado por Ali (2010) que obtuvo 0.02mg/g, sin embargo, menor a lo alcanzado por Rodrigues et al. (2022) y Tashi Lepcha et al. (2018), 14.17mg/g y 323.3mg/g respectivamente. El tipo de solvente utilizado podría ser responsable de los resultados obtenidos.

Los polifenoles totales (61.21 mg/g BS) fueron mayores a los reportados por Campos et al. (2019) (40,4 mg/g BS); probablemente debido a la alta solubilidad del ácido carboxílico y glucósidos en soluciones acuosas y a la baja acción de enzimas antioxidantes como la peroxidasa o la polifenoloxidasa (Singh et al., 2013).

La actividad antioxidante determinada por el DPPH presentó un mayor valor (91.60 $\mu\text{mol trolox/g BS}$) en comparación con el método de ABTS+ (22.40 $\mu\text{mol trolox Eq/g BS}$), resultados comparables a los reportados por Teixeira et al. (2020) de 15.77 $\mu\text{mol trolox Eq/g}$ por ABTS y 91.60% por DPPH. Los métodos utilizados, aunque se fundamentan en la estabilidad de radicales libres sintéticos metaestables, su variación se relaciona con la lenta reacción del catión coloreado en el método ABTS, mientras que, por DPPH puede presentar mayor actividad al estar presente un impedimento estérico (Londoño, 2012).

3.3. Condiciones óptimas para la encapsulación del extracto de la Chillangua (*Eryngium foetidum*).

Los datos de las 16 variables de respuestas fueron procesados mediante el software estadístico Statgraphics Centurión XV. Por cada criterio de evaluación se originó un ANOVA con un nivel de confianza >0.05 , mismo que, permitió determinar el efecto de las variables independientes con respecto al contenido de carotenoides, polifenoles totales, actividad antioxidante, flavonoides, vitamina C, humedad, actividad de agua, color (L^* , C^* , H° , a^* , b^*), prueba de disolución, clorofila *a* y *b*.

El coeficiente de correlación R^2 explica el porcentaje de la variabilidad de la respuesta con respecto al modelo ajustado. Bajo este criterio, las variables con una intensidad

lineal mayor o igual al 70% fueron el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante (ABTS+), flavonoides, color (L^* , a^*), clorofila a y b . Las variables no significativas se presentan en el Anexo G.

En la tabla 7 se presentan los modelos matemáticos de las variables de respuesta con un coeficiente de correlación $R^2 > 70\%$ y que presenta una función cuadrática positiva visualizada en el extremo de la superficie tridimensional (paraboloide), mismas que determinan el efecto que produce el encapsular con respecto a las propiedades funcionales de la planta.

Tabla 7.

Modelos matemáticos

Variable independiente	Modelo matemático
Polifenoles totales	$17.448 - 0.186*T - 0.651*M + 0.068*G + 0.001*T^2 + 0.001*T*M - 0.003*T*G + 0.019*M^2 + 0.011*M*G + 0.016*G^2$
Actividad antioxidante (ABTS+)	$-21.324 + 0.445*T - 1.284*M + 1.364*G - 0.001*T^2 + 0.008*T*M - 0.011*T*G - 0.021*M^2 - 0.002*M*G + 0.011*G^2$
Flavonoides	$0.138 - 0.001*T - 0.004*M - 0.001*G + 4.876E-06*T^2 + 9.286E-06*T*M - 6.428E-06*T*G + 1.069E-04*M^2 + 1.296E-04*M*G + 2.895E-05*G^2$
Color (L^*)	$10.605 + 0.234*T + 1.469*M + 3.323*G - 0.001*T^2 + 0.010*T*M - 0.004*T*G - 0.052*M^2 - 0.198*M*G - 0.063*G^2$
Color (a^*)	$5.980 - 0.080*T - 0.089*M - 0.082*G + 2.636E-04*T^2 - 1.778E-04*T*M + 3.583E-04*T*G + 0.008*M^2 - 0.003*M*G + 0.005*G^2$

Clorofila <i>a</i>	$18.509 - 0.294*T + 0.912*M + 0.329*G + 0.001*T^2 - 0.010*T*M - 0.007*T*G + 0.042*M^2 + 0.003*M*G + 0.046*G^2$
Clorofila <i>b</i>	$34.908 - 0.496*T + 0.467*M + 0.212*G + 0.002*T^2 - 0.007*T*M - 0.007*T*G + 0.042*M^2 + 0.017*M*G + 0.055*G^2$

Nota: M = maltodextrina, T = temperatura, G = goma arábica

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Análisis de la superficie de respuesta de polifenoles totales

En función a tabla 8 se demuestra que el factor cuadrático de la goma arábica (CC), el factor principal (B) y cuadrático de la maltodextrina (BB) tienen un efecto sobre el contenido de polifenoles totales (valor-P menor a 0.05%), mientras que el factor principal de temperatura (A), goma arábica (C) y la combinación entre tratamientos (BC) no presentan diferencia significativa, por lo que no influye en la variable de respuesta. García-Cárdenas et al. (2015) explican que la temperatura no produce un efecto significativo sobre la encapsulación, debido a que los compuestos volátiles soportan temperaturas entre 160 a 210°C. El ANOVA es producto de la partición de la variable respuesta, el estadístico R-Cuadrado (R^2) explica el 92.93% de la variabilidad del contenido de polifenoles en el encapsulado.

Tabla 8.

Análisis de varianza para polifenoles totales del encapsulado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.0021586	1	0.0021586	0.05	0.8363
B: Maltodextrina	2.44354	1	2.44354	52.71	0.0003**
C: Goma arábica	0.232655	1	0.232655	5.02	0.0663
AA	0.207708	1	0.207708	4.48	0.0786

AB	0.046041	1	0.046041	0.99	0.3574
AC	0.157501	1	0.157501	3.40	0.1149
BB	0.515215	1	0.515215	11.11	0.0157
BC	0.140424	1	0.140424	3.03	0.1324
CC	0.370213	1	0.370213	7.99	0.0301*
Error total	0.278136	6	0.046356		
Total (corr.)	3.93492	15			
R ²	92.9316%				
R ² ajustado	82.329%				
Error estándar del est.	0.215305				
Durbin-Watson	P=0.0785				

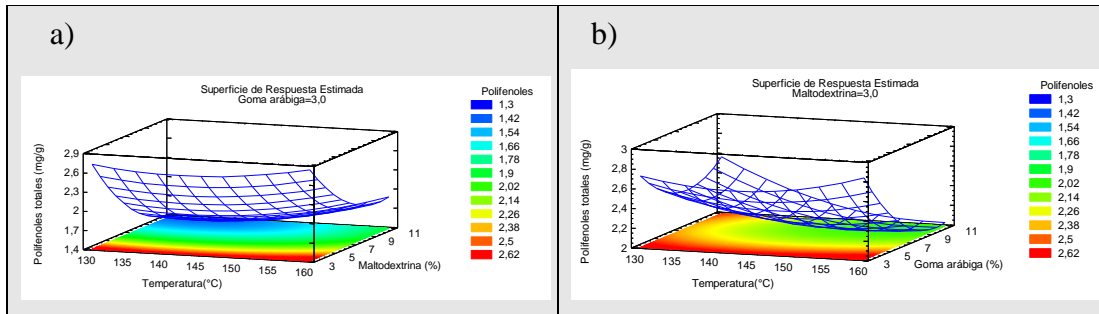
Nota: AA, BB, CC: interacción doble de temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. AB, AC: interacción entre temperatura con respecto a concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. BC: interacción entre concentración de maltodextrina y goma arábica, *significativo, ** altamente significativo.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se muestra el diseño de superficie para polifenoles totales del encapsulado de Chillangua en extracto acuoso, donde, un factor fijo (concentración del encapsulante) se encuentra frente a dos factores móviles (temperatura vs variable de respuesta).

Figura 4.

Superficie de respuesta de polifenoles totales del encapsulado



Nota: Figura 4a) superficie de respuesta para la concentración de maltodextrina vs temperatura y Figura 4b) superficie de respuesta para concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

Se evidenció que la máxima concentración de polifenoles totales se obtiene con concentraciones de maltodextrina y goma arábica menores al 3% entre 130°C - 160 °C. El contenido de polifenoles disminuye en función de una mayor concentración de sólidos, exposición al oxígeno y presencia de luz, resultados concordantes con la afirmación de Yamashita et al. (2017). En la figura 4b) se evidencia que a una temperatura de 130°C y concentraciones altas de goma arábica se presenta un mayor contenido de fenoles totales. El contenido de polifenoles se incrementa con el uso de goma arábica, probablemente porque esta es una especie vegetal y presenta en su estructura compuestos fenólicos (taninos), a diferencia de la maltodextrina, producto que resulta de la hidrólisis parcial del almidón (Iturri et al., 2021).

3.3.2. Análisis de la superficie de respuesta de la actividad antioxidante (ABTS+)

El efecto de la actividad antioxidante obtenido por el método ABTS+ se evidencia en la tabla 9. El contenido de maltodextrina (B) es la única variable independiente con un valor-P menor a 0.05%. Los factores cuadráticos (AA, CC) y principal de temperatura (A), goma arábica (C) como la combinación entre tratamientos (AB, AC, BC) no

presento diferencia significativa, por lo que no influye en la variable de respuesta. La temperatura no afecta significativamente en la encapsulación, a causa de que los compuestos volátiles soportan temperaturas entre 160 a 210°C (García-Cárdenas et al., 2015), el R^2 de la variable respuesta explica el 88.63% de la variabilidad.

Tabla 9.

Análisis de varianza para actividad antioxidante del encapsulado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.986902	1	0.986902	1.06	0.3426
B: Maltodextrina	340.471	1	340.471	36.62	0.0009*
C: Goma arábica	223.084	1	223.084	2.4	0.1723
AA	0.914121	1	0.914121	0.98	0.3597
AB	12.979	1	12.979	1.4	0.2821
AC	272.226	1	272.226	2.93	0.1379
BB	0.591787	1	0.591787	0.64	0.4554
BC	0.00347361	1	0.00347361	0	0.9532
CC	0.166272	1	0.166272	0.18	0.6871
Error total	557.792	6	0.929654		
Total (corr.)	490.692	15			
R^2	88.6325%				
R^2 ajustado	71.5813%				
Error estándar del est.	0.964186				
Durbin-Watson	P=0.9890				

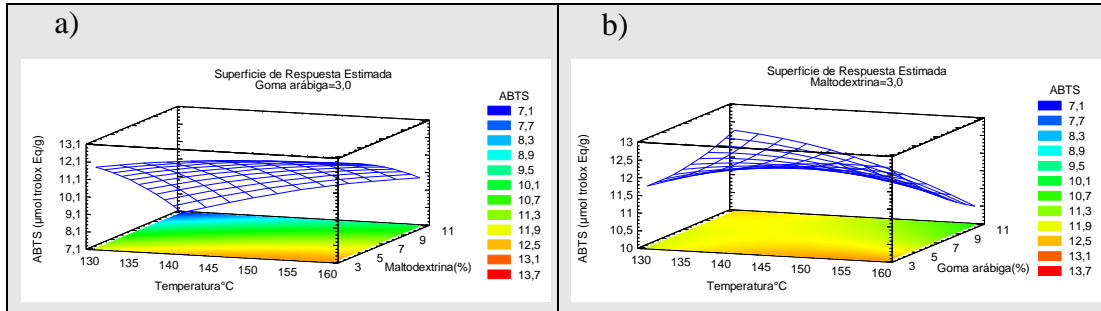
Nota: AA, BB, CC: interacción doble de temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. AB, AC: interacción entre temperatura con respecto a concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. BC: interacción entre concentración de maltodextrina y goma arábica, *medianamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

La superficie de respuesta de la actividad antioxidante del encapsulado se muestra en la figura 5. Como se observa, tanto la temperatura como el contenido de goma arábica no producen un efecto sobre la variable dependiente.

Figura 5.

Superficie de respuesta para actividad antioxidante del encapsulado



Nota: Figura 5a) superficie de respuesta para concentración de maltodextrina vs temperatura y Figura 5b) superficie de respuesta para concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5a) se evidencia que concentraciones de encapsulante menores al 3% y temperaturas entre 140°C a 160°C maximizan la actividad antioxidante. Asimismo, en la figura 5b) el contenido de la variable respuesta se incrementó a concentraciones mayores al 10% y temperaturas menores de 130°C.

Resultados semejantes obtuvieron Kuck y Noreña (2016), que indican que la actividad antioxidante se conserva en proporciones 50:50 (goma arábica- maltodextrina). Sin embargo, Iturri et al. (2021), determinaron que la actividad antioxidante se conserva manteniendo una proporción 1:9 (maltodextrina:goma arábica).

3.3.3. Análisis de la superficie de respuesta de flavonoides

En la prueba de significancia estadística ANOVA (Tabla 10), se demuestra que el factor concentración de maltodextrina (B) produce un efecto significativo sobre el contenido

de flavonoides en el encapsulado del extracto de Chillangua, por otro lado, los factores cuadráticos (AA, BB, CC) y principal de temperatura (A), goma arábica (B) como la combinación entre tratamientos (AB, AC, BC) no presentó diferencia significativa, por lo que no influye en la variable de respuesta.

García-Cárdenas et al. (2015) expresan que la temperatura no ejerce una influencia significativa en el proceso de encapsulación, en virtud de que los compuestos volátiles soportan temperaturas entre 160 a 210°C. En consecuencia, cumple con un R² mayor o igual al 70%. Sin embargo, el R² ajustado es inferior al 70%, por lo tanto, no se tomó en cuenta para la optimización.

Tabla 10.

Análisis de varianza para flavonoides del encapsulado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.00000274902	1	0.00000274902	0.32	0.5948
B: Maltodextrina	0.0000768664	1	0.0000768664	8.82	0.025*
C: Goma arábica	0.0000223782	1	0.0000223782	2.57	0.1603
AA	0.0000111513	1	0.0000111513	1.28	0.3013
AB	0.00000190125	1	0.00000190125	0.22	0.657
AC	0.00000091125	1	0.00000091125	0.1	0.7574
BB	0.0000158806	1	0.0000158806	1.82	0.2258
BC	0.0000201612	1	0.0000201612	2.31	0.1792
CC	0.00000116544	1	0.00000116544	0.13	0.7272
Error total	0.0000523122	6	0.0000087187		
Total (corr.)	0.0001981	15			
R ²	73.593%				
R ² ajustado	33.9826%				
Error estándar del est.	0.00295274				
Durbin-Watson	P= 0.0685				

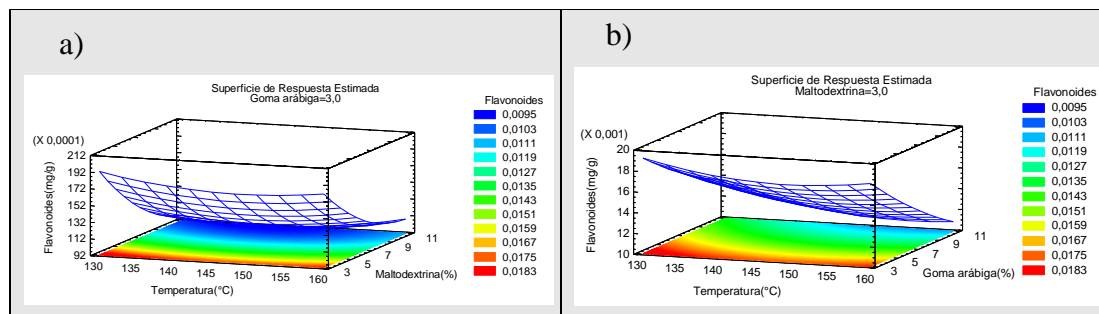
Nota: AA, BB, CC: interacción doble de temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. AB, AC: interacción entre temperatura con respecto a concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. BC: interacción entre concentración de maltodextrina y goma arábica, *medianamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 el mejor corte del cubo se eligió en función a la mayor subregión que cumple las condiciones tanto de concentración y temperatura, evidenciado que la temperatura no produce un efecto sobre la variable de respuesta.

Figura 6.

Superficie de respuesta para flavonoides del encapsulado



Nota: Figura 6a) superficie de respuesta para la concentración de maltodextrina vs temperatura y Figura 6b) superficie de respuesta para la concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, concentraciones de maltodextrina menores al 3% ayudan a maximizar el contenido de flavonoides (figura 6a), igual ocurre con concentraciones menores al 3% de goma arábica (figura 6b). El contenido de flavonoides podría verse maximizado si la planta experimenta exposiciones de luz en forma recurrente (Londoño, 2012). Los polvos obtenidos por frutas muestran el uso de mayores concentraciones de maltodextrina o goma arábica debido a la estructura química ramificada o a grupos hidrofílicos (Ramakrishnan et al. 2018)

3.3.4. Análisis de la superficie de respuesta de color (L^*)

El parámetro de color L^* es significativo para los factores concentración de maltodextrina (B) y goma arábica (C). El factor principal de temperatura (T), y la combinación entre tratamientos (AB, AC, BC) no presento diferencia significativa, por

lo que no influye en la variable de respuesta. García-Cárdenas et al. (2015) demuestran que la temperatura no produce un efecto significativo en la encapsulación, debido a que los compuestos volátiles resisten temperaturas entre 160 a 210°C.

Como se observa en el ANOVA (Tabla 11), este parámetro presenta un R- cuadrado del 83.52%, pero esta variable dependiente no fue tomada en cuenta en la optimización debido a que el R-cuadrado ajustado es menor al 70%.

Tabla 11.

Análisis de varianza para color parámetro L del encapsulado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	546.948	1	546.948	0.58	0.4764
B: Maltodextrina	149.983	1	149.983	15.82	0.0073**
C: Goma arábica	759.823	1	759.823	8.01	0.0299*
AA	0.302165	1	0.302165	0.03	0.8642
AB	220.154	1	220.154	0.23	0.647
AC	0.310748	1	0.310748	0.03	0.8623
BB	38.347	1	38.347	0.4	0.5483
BC	471.367	1	471.367	4.97	0.0673
CC	549.342	1	549.342	0.58	0.4754
Error total	569.017	6	948.362		
Total (corr.)	345.326	15			
R ²	83.5223%				
R ² ajustado	58.8058%				
Error estándar del est.	3.07955				
Durbin-Watson	P=0.0237				

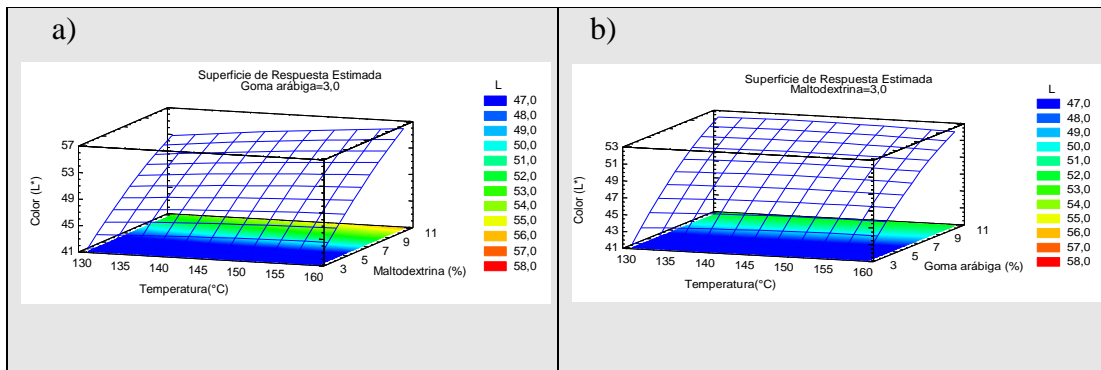
Nota: AA, BB, CC: interacción doble de temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. AB, AC: interacción entre temperatura con respecto a concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. BC: interacción entre concentración de maltodextrina y goma arábica, ** altamente significativa, *medianamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 7 el encapsulado presentó luminosidad débil en concentraciones menores al 5%, en la figura 7a), la intensidad luminosa incrementa a concentraciones mayores al 10% de maltodextrina y entre 150°C a 160°C. Condición que se relaciona a la dispersión de luz incidente causada por los espacios vacíos de la superficie de las partículas y posibles degradaciones de la clorofila durante el proceso de atomización (Kuck y Noreña, 2016). Resultados que concuerdan con Oberoi y Sogi (2015) al demostrar que a concentraciones de 3-11% de maltodextrina, el valor de la luminosidad aumenta significativamente.

Figura 7.

Superficie de respuesta para color parámetro L del encapsulado*



Nota: Figura 7a) superficie de respuesta para concentración de maltodextrina vs temperatura y Figura 7b) superficie de respuesta para concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Análisis de la superficie de respuesta de color (a^*)

El análisis de varianza para el parámetro a^* del encapsulado se expone en la Tabla 12. La única variable independiente que provoca un efecto estadísticamente significativo ($P \leq 0.05$) sobre la cromaticidad (verde o rojo) fue la cantidad de maltodextrina utilizada (B). Los factores cuadráticos (AA) y principal de temperatura (A), goma arábica (B) como la combinación entre tratamientos (AB, AC, BC) no presento diferencia

significativa, por lo que no influye en la variable de respuesta. La temperatura no afecta significativamente en la encapsulación, a causa de que los compuestos volátiles soportan temperaturas entre 160 a 210°C (García-Cárdenas et al., 2015).

El R^2 es del 71.85%, hallazgos respaldados por el estudio de Oberoi y Sogi (2015) al sugerir que a concentraciones mayores al 10% de maltodextrina produce un efecto significativo sobre el parámetro de color a^* , sin embargo, al presentar un R^2 ajustado menor al 70% no fue tomada en cuenta para la optimización global.

Tabla 12.

Análisis de varianza para color parámetro a^ del encapsulado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.015135	1	0.015135	0.68	0.4421
B: Maltodextrina	0.168581	1	0.168581	7.54	0.0335*
C: Goma arábica	0.0512114	1	0.0512114	2.29	0.1809
AA	0.0325853	1	0.0325853	1.46	0.2727
AB	0.000697511	1	0.000697511	0.03	0.8656
AC	0.00283128	1	0.00283128	0.13	0.7341
BB	0.0859562	1	0.0859562	3.84	0.0976
BC	0.0105779	1	0.0105779	0.47	0.5172
CC	0.0366272	1	0.0366272	1.64	0.2478
Error total	0.134136	6	0.0223559		
Total (corr.)	0.476557	15			
R^2	71.8532				
R^2 ajustado	29.633				
Error estándar del est.	1.49519				
	0.1467				
Durbin-Watson					

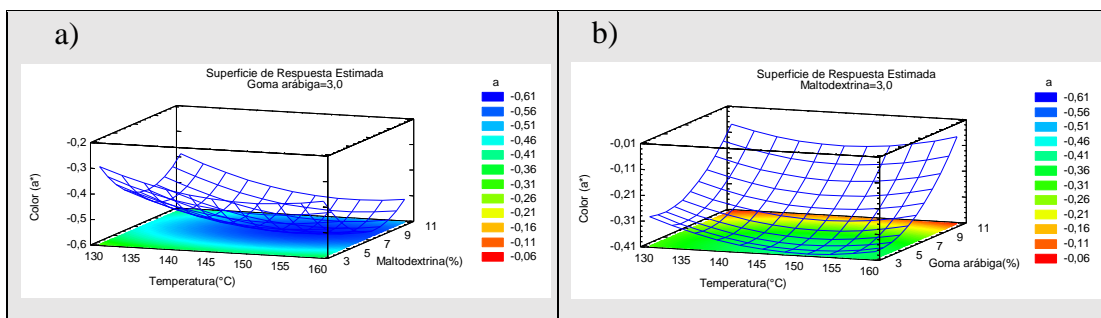
Nota: AA, BB, CC: interacción doble de temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. AB, AC: interacción entre temperatura con respecto a concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. BC: interacción entre concentración de maltodextrina y goma arábica, *medianamente significativa.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se indica la superficie de respuesta de la cromaticidad del parámetro a^* en función al encapsulado. Cuando el proceso de atomización es operado entre 130°C a 160°C y a concentraciones menores del 3% de maltodextrina, la coloración presenta una tendencia verdosa. Sin embargo, cuando se sobrepasa esta concentración los polvos tornaron más oscuros.

Figura 8.

Superficie de respuesta para color parámetro a^ del encapsulado*



Nota: Figura 8a) superficie de respuesta para concentración de maltodextrina vs temperatura y Figura 8b) superficie de respuesta para concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, en la figura 8b) se expone que la coloración presenta una tendencia verdosa en concentraciones menores a 7% y polvos con tendencia oscura a concentraciones mayores al 10%. De acuerdo con Sarabandi et al. (2019), Kuck y Noreña (2016), el pardeamiento de polvos se produce por la adición de goma arábica, o por efecto del tamaño de los poros en la superficie de los encapsulados. Además, Oberoi y Sogi (2015) encontraron que las concentraciones superiores al 5% de maltodextrina hacen que el color de los encapsulados se desvanezca.

3.3.6. Análisis de la superficie de respuesta de la clorofila *a*

En la tabla 13 se evidencia que los factores individuales temperatura (A), concentración de maltodextrina (B) y goma arábica (C), la interacción maltodextrina con goma arábica (BC), la función cuadrática de temperatura (AA), no presentaron significancia estadística. García-Cárdenas et al. (2015) expresan que la temperatura no ejerce una influencia significativa en el proceso de encapsulación, en virtud de que los compuestos volátiles soportan temperaturas entre 160 a 210°C.

No obstante, las interacciones dobles entre temperatura – concentración de maltodextrina (AB), temperatura. concentración de goma arábica (AC), las funciones cuadráticas de maltodextrina (BB) y goma arábica (CC), producen un efecto significativo (valor-P menor a 0.05%), por lo tanto, el R² explica el 90.66% de la variabilidad de contenido de clorofila *a* en el encapsulado.

Tabla 13.

*Análisis de varianza para la clorofila *a* del encapsulado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.0211369	1	0.0211369	0.16	0.7001
B: Maltodextrina	0.216955	1	0.216955	1.68	0.2429
C: Goma arábica	0.107587	1	0.107587	0.83	0.397
AA	0.903439	1	0.903439	6.98	0.0384
AB	240.035	1	240.035	18.55	0.0051*
AC	0.989754	1	0.989754	7.65	0.0326*
BB	243.613	1	243.613	18.83	0.0049*
BC	0.0116663	1	0.0116663	0.09	0.7741
CC	292.838	1	292.838	22.64	0.0031*
Error total	0.776223	6	0.12937		
Total (corr.)	83.109	15			
R ²	90.6602%				
R ² ajustado	76.6505%				
Error estándar del est.	0.359681				
Durbin-Watson	0.5307				

Nota: AA, BB, CC: interacción doble de temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. AB, AC: interacción entre temperatura con respecto

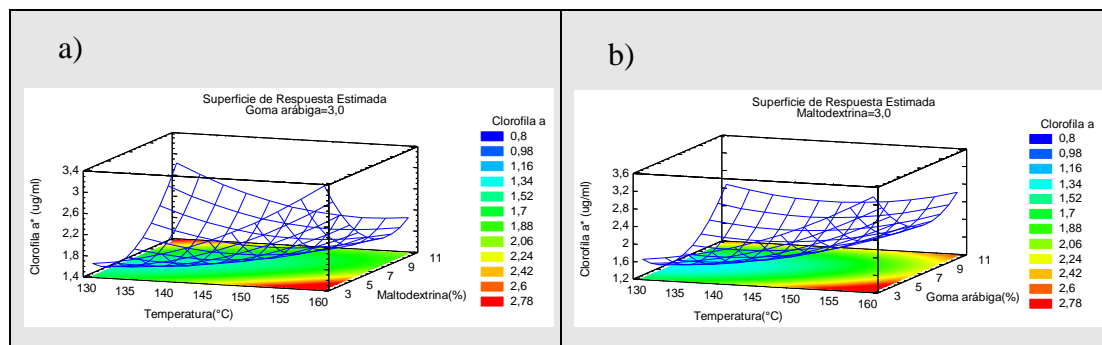
a concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. BC: interacción entre concentración de maltodextrina y goma arábica, *medianamente significancia.

Fuente: Elaboración propia

El encapsulado de Chillangua mostró mayor contenido de clorofila *a* en concentraciones de maltodextrina y goma arábica menores del 3% y entre 150°C a 160°C. Al mismo tiempo, la variable respuesta se maximiza en concentraciones superiores del 10% de los encapsulantes a 130°C (Figura 9). También se muestra en la figura 6b) máximos valores de clorofila *a* en concentraciones de goma arábica mayor al 10% y máxima temperatura (160°C).

Figura 9.

Superficie de respuesta para clorofila a del encapsulado



Nota: Figura 9a) superficie de respuesta para concentración de maltodextrina v* temperatura y Figura 9b) superficie de respuesta para concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Análisis de la superficie de respuesta de clorofila *b*

En la tabla 14 se observa que las variables independientes temperatura (A), concentración de maltodextrina (B) y goma arábica (B), la interacción entre la concentración de maltodextrina y goma arábica no presentaron significancia estadística. García-Cárdenas et al. (2015) demuestran que la temperatura no produce

un efecto significativo en la encapsulación, debido a que los compuestos volátiles resisten temperaturas entre 160 a 210°C.

Por otro lado, las interacciones dobles de temperatura y concentración de maltodextrina (AB), temperatura y concentración de goma arábica (AC), como las funciones cuadráticas de temperatura (AA) y concentración de maltodextrina (BB) y goma arábica (CC) produjeron un efecto estadísticamente significativo, por lo tanto, el R^2 explica el 94.73% de la variabilidad de contenido de clorofila *b* en el encapsulado.

Tabla 14.

Análisis de varianza para clorofila b del encapsulado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.169939	1	0.169939	2.29	0.1808
B: Maltodextrina	0.000329414	1	0.000329414	0	0.949
C: Goma arábica	0.0805103	1	0.0805103	1.09	0.3375
AA	190.493	1	190.493	25.7	0.0023*
AB	132.096	1	132.096	17.82	0.0056*
AC	10.952	1	10.952	14.78	0.0085*
BB	244.724	1	244.724	33.02	0.0012*
BC	0.352296	1	0.352296	4.75	0.0721
CC	427.035	1	427.035	57.61	0.0003*
Error total	0.444744	6	0.074124		
Total (corr.)	844.391	15			
R^2	94.733%				
R^2 ajustado	86.8324%				
Error estándar del est.	0.272257 0.2170				
Durbin-Watson					

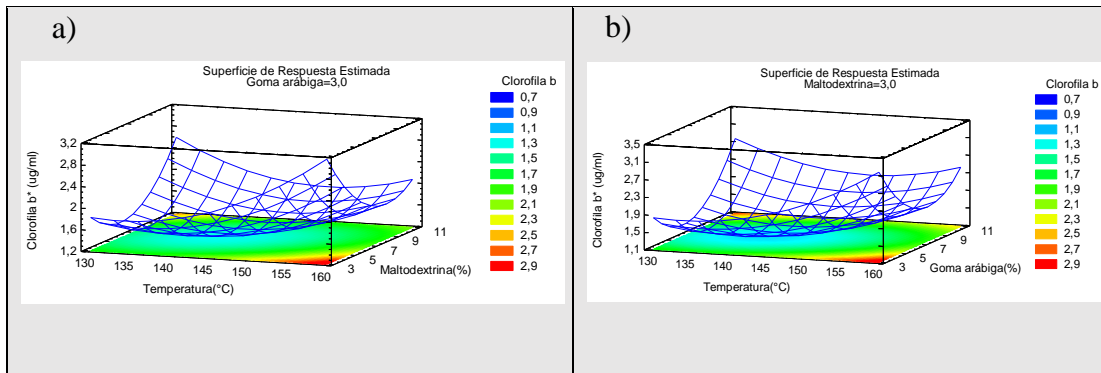
Nota: AA, BB, CC: interacción doble de temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. AB, AC: interacción entre temperatura con respecto a concentración de maltodextrina y goma arábica respectivamente. BC: interacción entre concentración de maltodextrina y goma arábica, *medianamente significancia.

Fuente: Elaboración propia

La figura 10 muestra que el encapsulado del extracto acuoso de Chillangua presentó mayor contenido de clorofila *b*, en concentraciones de maltodextrina y goma arábica menores al 3% y temperaturas de 155°C- 160°C. Al mismo tiempo la variable respuesta se maximiza en concentraciones de encapsulantes superiores del 10% y 130°C.

Figura 10.

Superficie de respuesta para clorofila b del encapsulado



Nota: Figura 10a) superficie de respuesta para concentración de maltodextrina vs temperatura y Figura 10b) superficie de respuesta para concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

3.3.8. Optimización del proceso

La optimización del proceso se realizó con las variables respuesta que cumplen con el coeficiente de determinación R^2 ajustado $> 70\%$. Por lo tanto, se seleccionó el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante (ABTS+), clorofila *a* y *b*.

La combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimizan la variable polifenoles totales, actividad antioxidante, clorofila *a* y *b* se detallan en la Tabla 15. Además, la maximización deseada del producto se alcanza con el tratamiento 3: temperatura 160°C, 3% de maltodextrina y 3% de goma arábica, con un contenido de: 2.97 mg ácido gálico/g encapsulado de polifenoles, 12.79 µmol trolox Eq/g

encapsulado de actividad antioxidante, 3.61 µg/ml encapsulado de clorofila *a* y 3.18 µg/ml encapsulado de clorofila *b*.

Tabla 15.

Optimización de las variables independientes.

Factor	Óptimo
Temperatura (°C)	165.61
Maltodextrina (%)	2.90
Goma arábica (%)	1.06

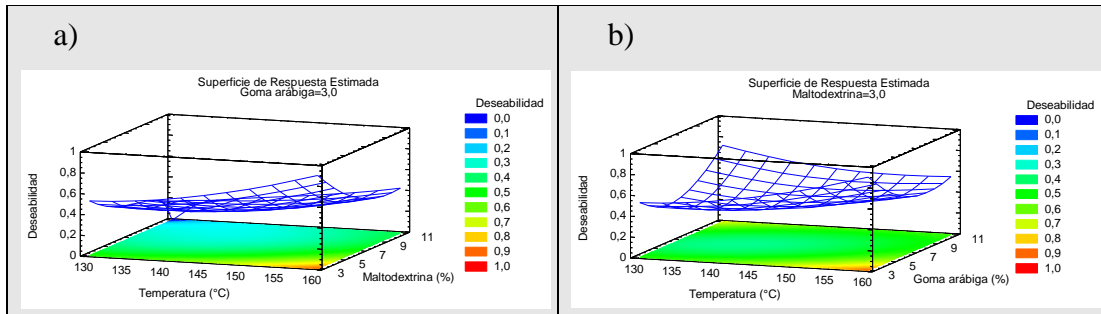
Fuente: Elaboración propia

La optimización de la temperatura, concentración de maltodextrina y goma arábica se representa en la Figura 11. La condición deseable se alcanzó con tratamiento de goma arábica y maltodextrina en concentraciones inferiores al 3% y temperaturas superiores a 160°C, un efecto similar obtuvieron Ortiz-Romero et al. (2021) quienes mencionan que se obtiene altos niveles de protección de los centros activos con temperaturas de entrada de 160°C y temperatura de salida de 70 °C.

En cambio, Aragüez et al. (2018) determinaron que la temperatura de entrada óptima es de 138°C al 70% de concentración de los encapsulantes, pero los resultados varían por efecto del núcleo activo utilizado. García-Cárdenas et al. (2015) encontraron que las condiciones óptimas para encapsular centros activos en frutas son 213 °C, con una temperatura de salida de 90 °C y velocidad del disco de atomización de 35000 rpm. Finalmente, para Tolun et al. (2016) la temperatura óptima es de 140°C, puesto que temperaturas superiores provocan la degradación de compuestos fenólicos y pigmentación por la oxidación de compuestos.

Figura 11.

Optimización de las variables independientes



Nota: Figura 11a) superficie de respuesta para concentración de maltodextrina vs temperatura y Figura 11b) superficie de respuesta para concentración de goma arábica vs temperatura.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Propiedades fisicoquímicas de los encapsulados de *Chillangua (Eryngium foetidum)*.

Los parámetros fisicoquímicos de los encapsulados, obtenidos de los dieciséis tratamientos fueron promediados y se muestran a continuación:

Tabla 16.

Características fisicoquímicas de los encapsulados

	Unidades	Media	Desv. típ. [±]
Humedad	%	5.97	1.84
Actividad de agua (aw)		0.21	0.06
Disolución	s	24.40	9.49
L*		60.14	5.18
C*		6.62	1.58
H°		95.89	19.63
a*		-0.38	0.26

b*	6.50	1.95
-----------	------	------

Nota: s: segundos y se trabajó con tres repeticiones (n=3)

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 16, la humedad de los polvos de Chillangua fue de 5.97%, resultado semejante al reportado por Aragüez et al. (2018) (4.02% - 4.95%) y Ramakrishnan et al. (2018) (3.43% - 4.89%) por lo tanto, los polvos son estables física y químicamente. El mayor valor de humedad experimental podría a la velocidad de flujo de alimentación, la misma que se mantuvo constante, por lo que no favoreció el contacto adecuado entre gota-aire. Igualmente, la inclusión de encapsulantes podría aumentar la capacidad hidrofílica del encapsulado, considerando que los encapsulantes en su estructura fundamental son hidrocoloides (Rojas et al., 2022).

El tiempo de disolución promedio de los encapsulados fue de 24 segundos como consecuencia del reducido tamaño de partícula (Kuck y Noreña, 2016). La actividad de agua (0.21) se encuentra en el rango de los alimentos deshidratados (0.199 a 3), lo que ayuda a la conservación del producto, evitando reacciones indeseables o contaminación por microorganismos (Llauce et al., 2015). Resultados que coinciden con Ramakrishnan et al. (2018) al presentar una aw de 0.24 a 0.33, es deseable que los encapsulados presenten actividad de agua y humedad baja para evitar aglomeración de los polvos.

El color de los polvos presentó intensidad luminosidad de 60.14, los parámetros de cromaticidad se encuentran cercanas al centro del sistema de color a* (-.038), b* (6.60), con un ángulo de hue (H°) de 95.89°.

3.5. Componentes funcionales y la capacidad antioxidante de los encapsulados de Chillangua (*Eryngium foetidum*).

Los componentes funcionales y capacidad antioxidante de los encapsulados obtenidos de los dieciséis tratamientos fueron promediados y se muestran a continuación:

Tabla 17.*Componentes funcionales y capacidad antioxidante del encapsulante*

	Unidades	Media	Desv. típ. [±]
Clorofila a	µg/gE	102.00	0.73
Clorofila b	µg/gE	105.5	0.74
Carotenoides	µg/gE	11.00	0.14
Polifenoles totales	mg/gE	2.00	0.51
Flavonoides	mg/gE	0.01	0.00
Vitamina C	mg/gE	0.88	0.39
ABTS	µmol trolox Eq/gE	10.30	2.30
DPPH	µmol trolox/gE	3.85	1.03

Nota: E equivale a: encapsulante y se trabajó con tres repeticiones (n=3)**Fuente:** Elaboración propia

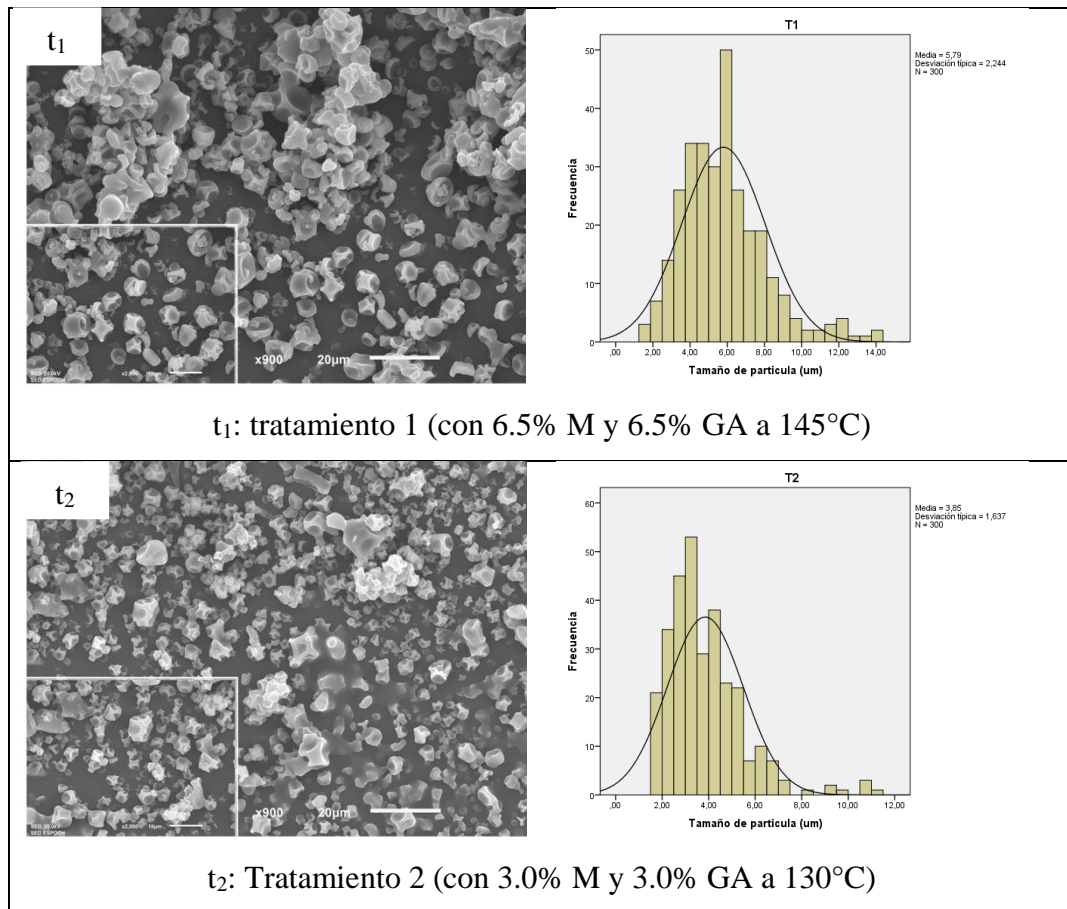
Los componentes funcionales y la capacidad antioxidante de los encapsulados se muestran en la Tabla 17. En comparación con los resultados obtenidos de la Chillangua liofilizada (Tabla 6) considerándolos como el 100%, se conservó 2.63% clorofila *a*, 5.96% clorofila *b*, 1.24% carotenoides, 3.27% polifenoles totales, 50% flavonoides, 68.22% vitamina C, en la actividad antioxidante preservó 45.98% por ABTS+ y 4.20% por DPPH, en contraste la actividad antioxidante en el aceite esencial *Eryngium foetidum* por DPPH fue de 89.39% (Jaramillo et al., 2011), y 56 µg/mL (Thomas et al., 2017). La reducción en el contenido de compuestos fenólicos como de la actividad antioxidante obedece al aumento de la temperatura de entrada al momento de la encapsulación y la ruptura del encapsulado (Rojas et al., 2022). La posición o el número de grupos glucósidos (monosacáridos) presentes en la molécula también podría influir en la disminución del contenido de fenólicos y la capacidad antioxidante, con respecto a la planta en estado fresco (Raunelli et al., 2019).

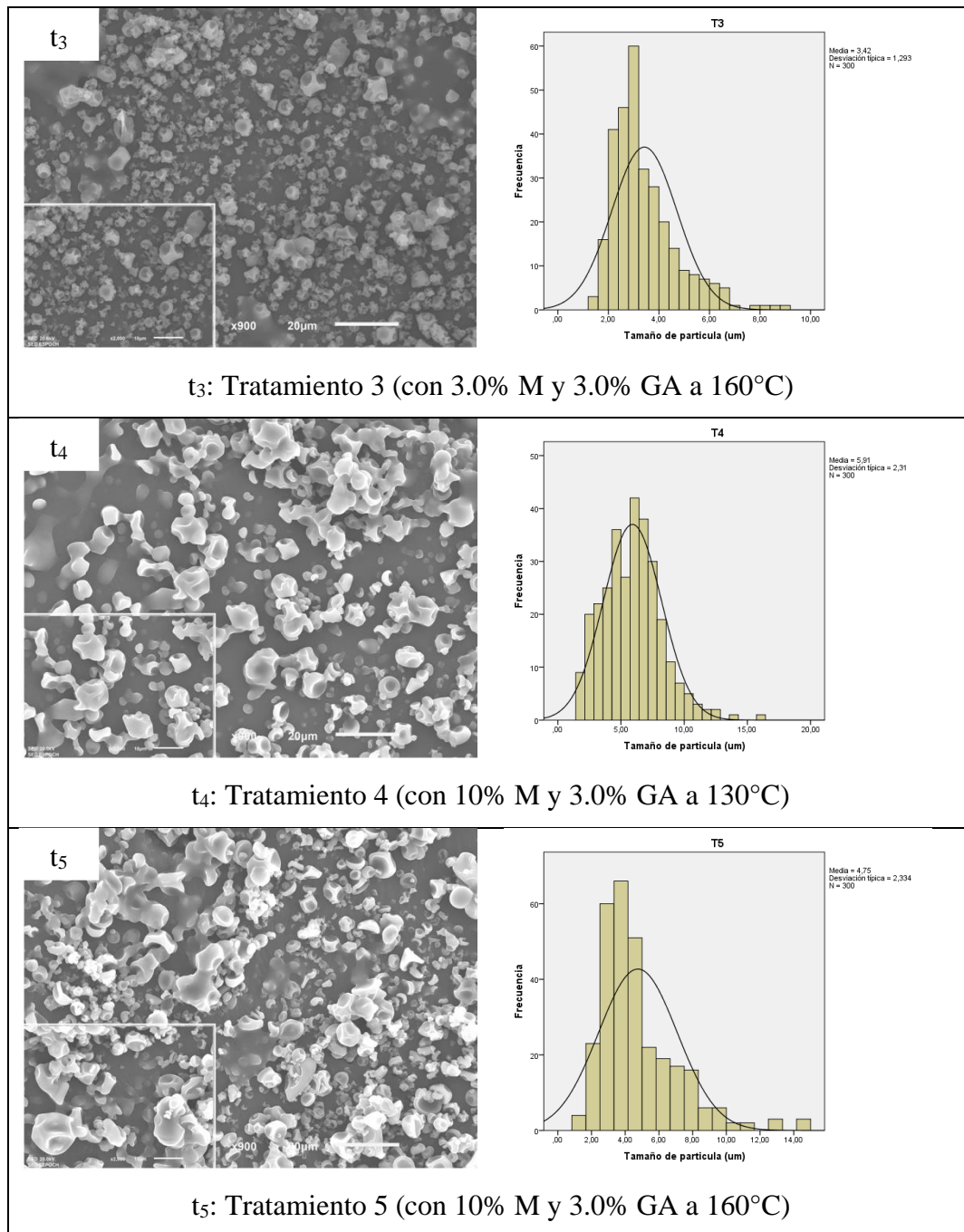
3.6. Análisis del encapsulado por Microscopía electrónica de barrido (SEM)

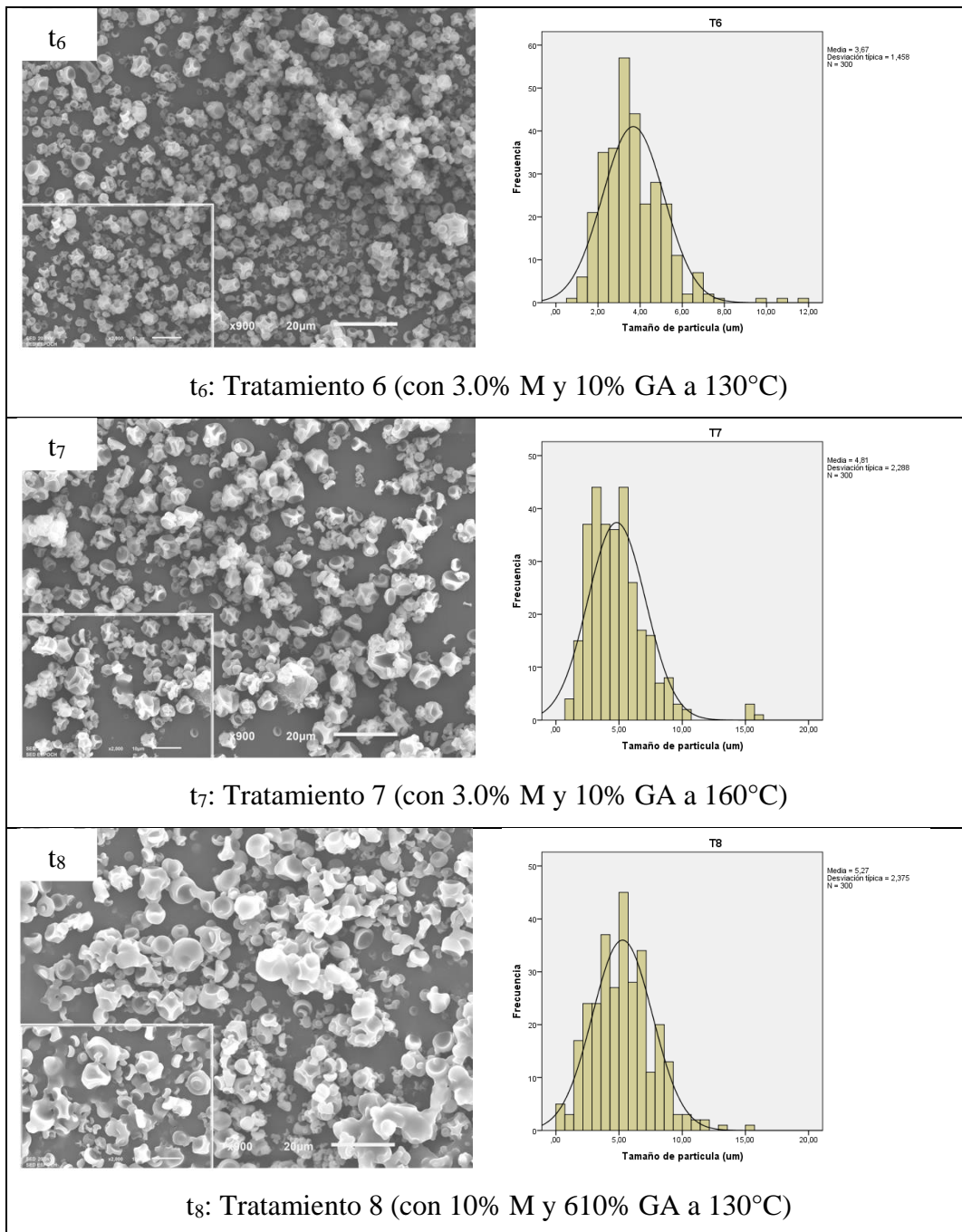
En la figura 12 se observa que la morfología de las partículas presentan continuidad en la pared, ausencia de grietas superficiales, estructuras irregulares, abolladuras relativamente profundas, nucleación interna, debido a la rápida eliminación de la humedad y por temperaturas bajas durante el secado (Sarabandi et al., 2019). La variabilidad en los tamaños de las partículas también pudo estar influenciada por la cámara de secado que no permitió una óptima uniformidad de los encapsulados (Kalušević et al., 2017).

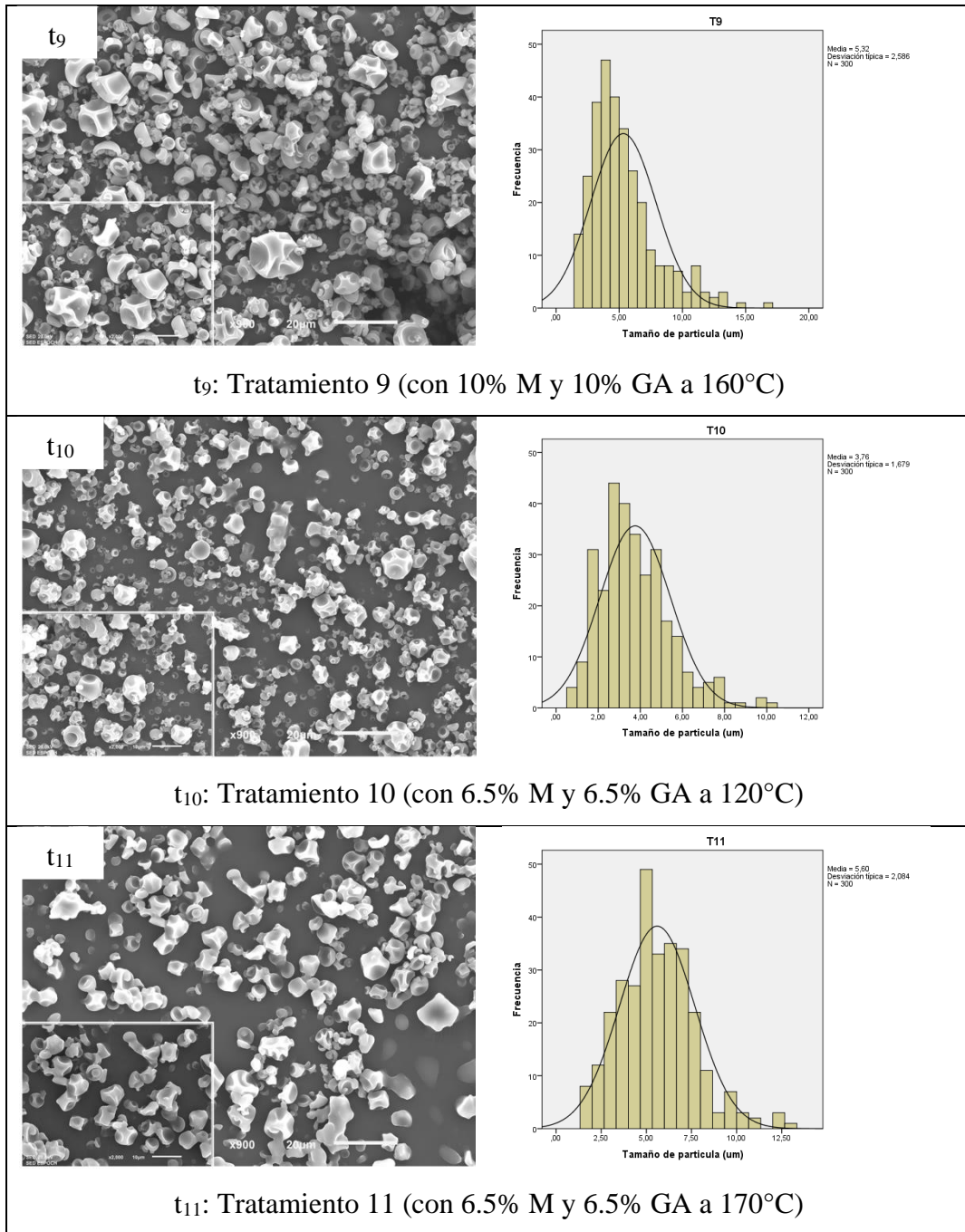
Figura 12.

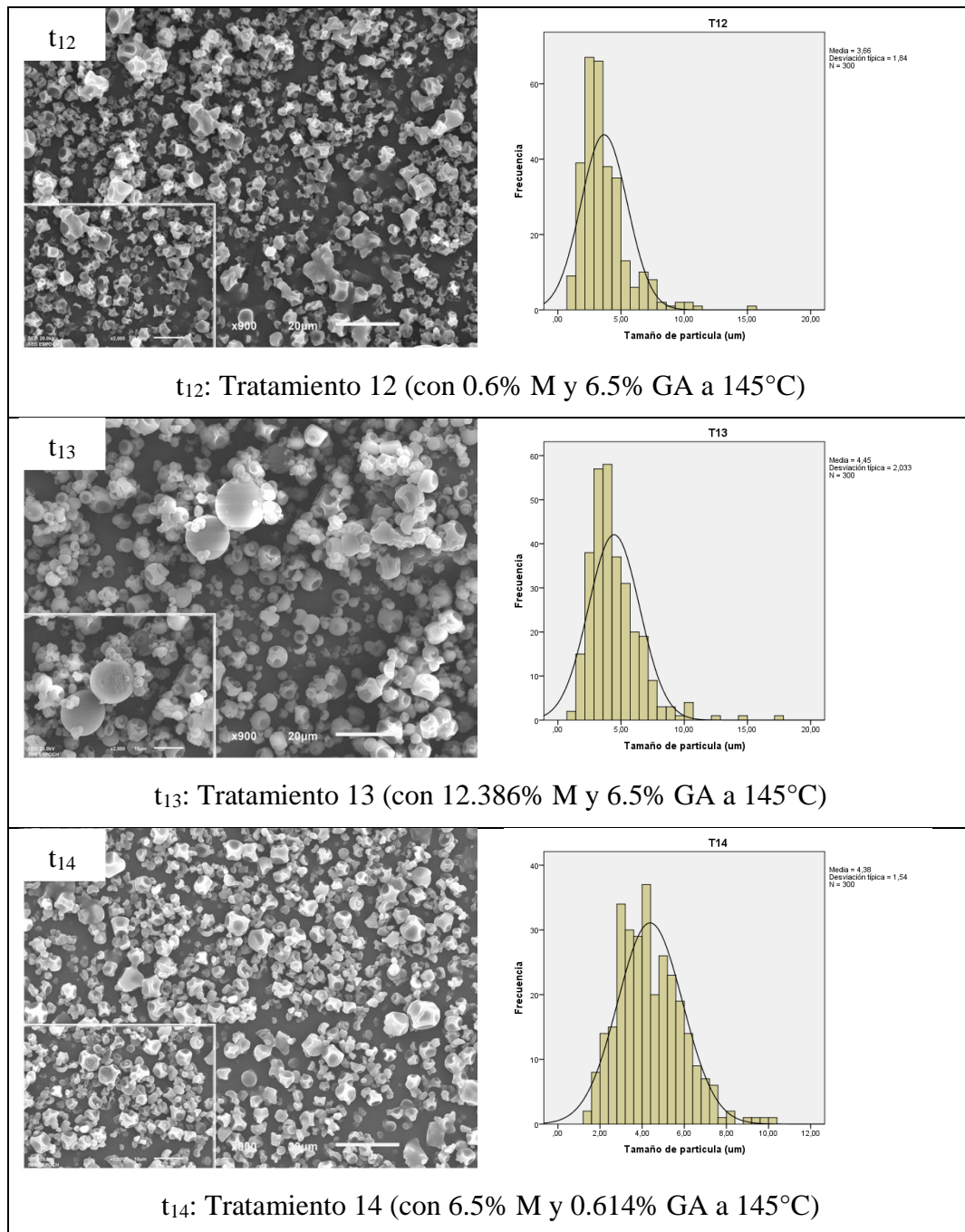
Morfologías y tamaños de los encapsulados

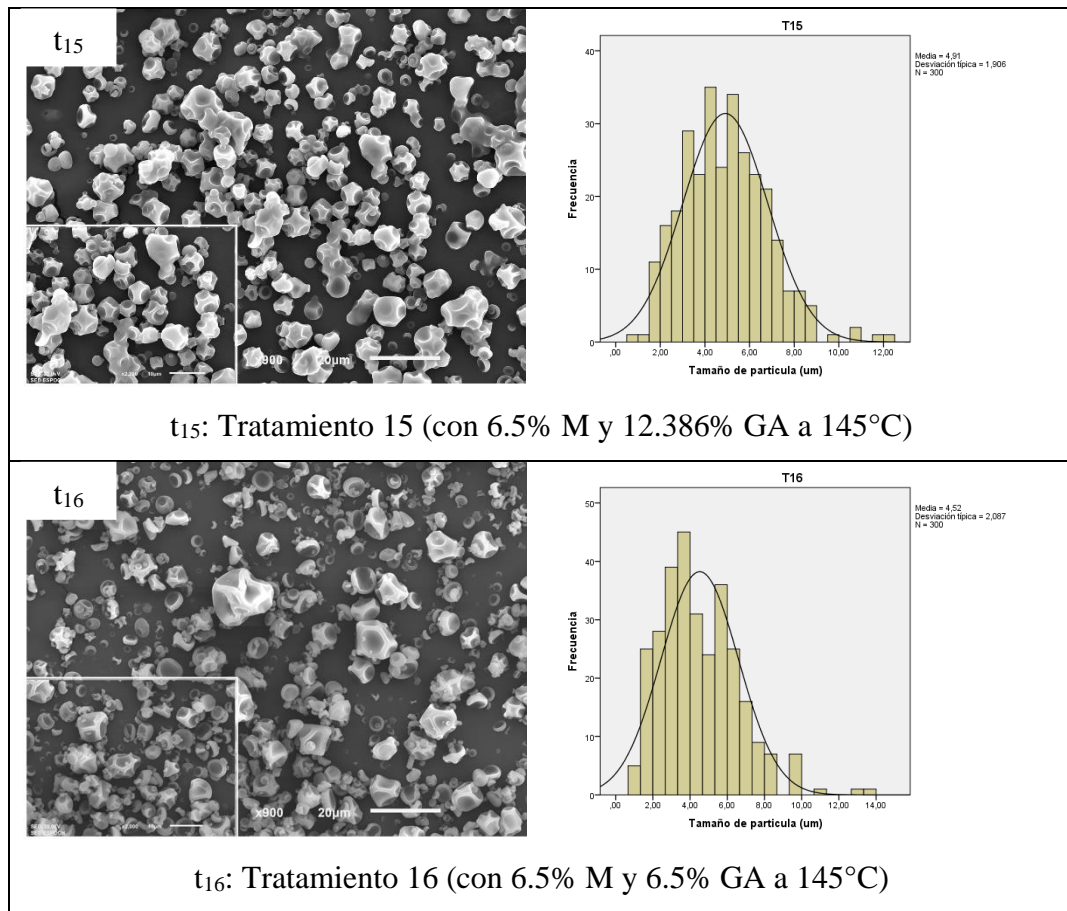












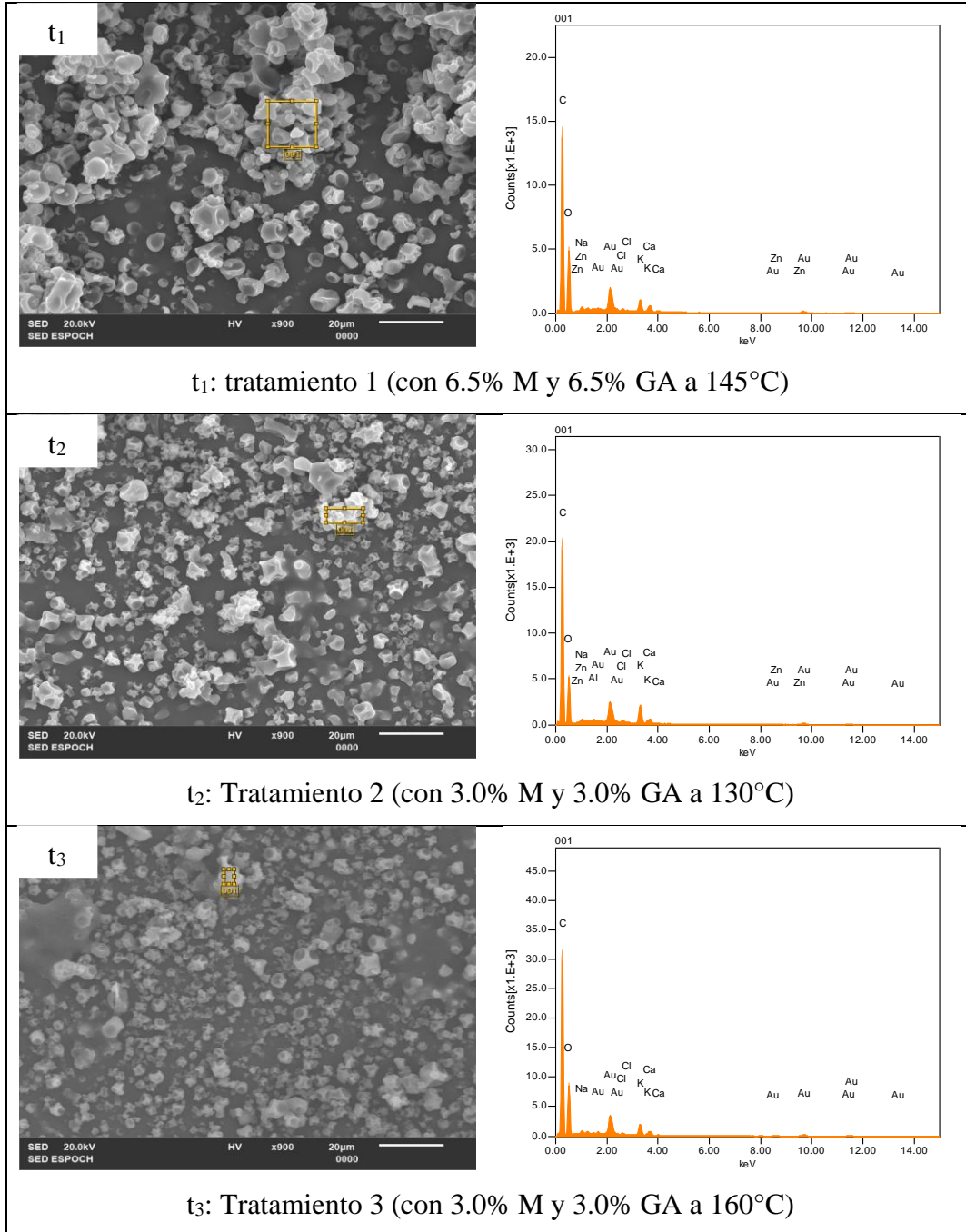
Nota: Micrografías de encapsulados con goma arábica (GA) y maltodextrina (M).

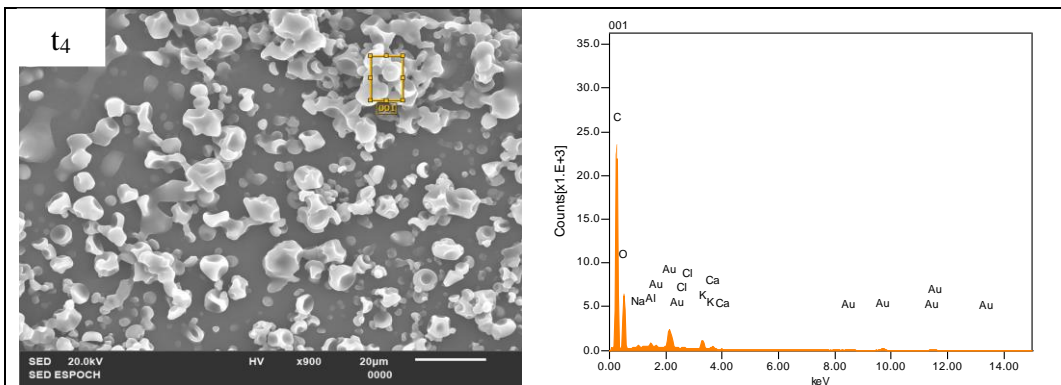
Fuente: Elaboración propia

El tamaño medio de los encapsulados es de $4.63 \pm 0.81 \mu\text{m}$, el tratamiento tres (t_3) presentó las partículas más pequeñas y el tratamiento cuatro (t_4) los tamaños más altos; coincidiendo con los resultados reportados en García-Cárdenas et al. (2015) en muestras de tomate de árbol en emulsificación con goma arábica y maltodextrina se obtiene partículas con tamaños entre 0.84 a 3.43. Por lo tanto, se podrían considerar como un proceso de microencapsulación al encontrarse en el rango de 1 a 1000 μm (Sandoval-Peraza et al., 2017), pero la morfología polinuclear del encapsulado es menor (25.1 μm) a los reportados por Aragüez et al., 2018, debido al tamaño del centro activo y velocidad de alimentación (Akdeniz et al., 2017).

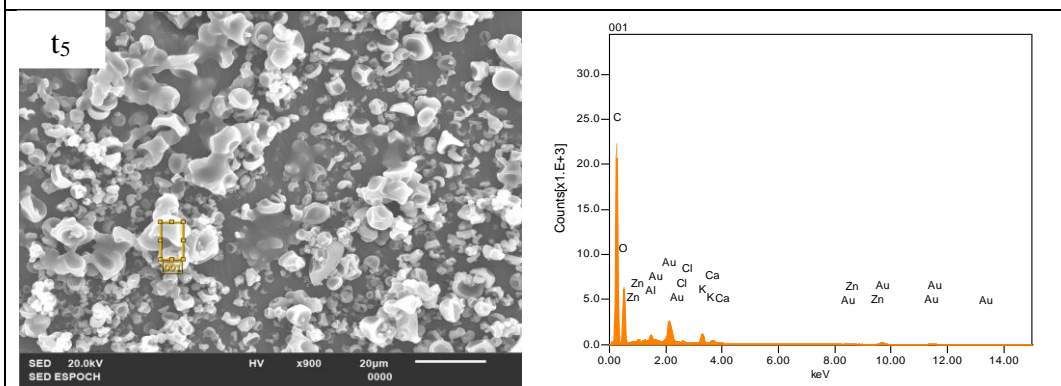
Figura 13.

Análisis elemental de los encapsulados por espectroscopia de rayos X dispersa (EDS)

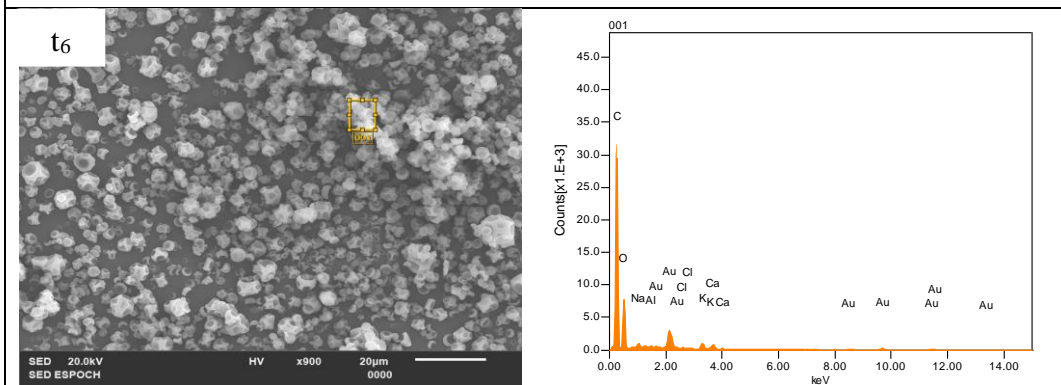




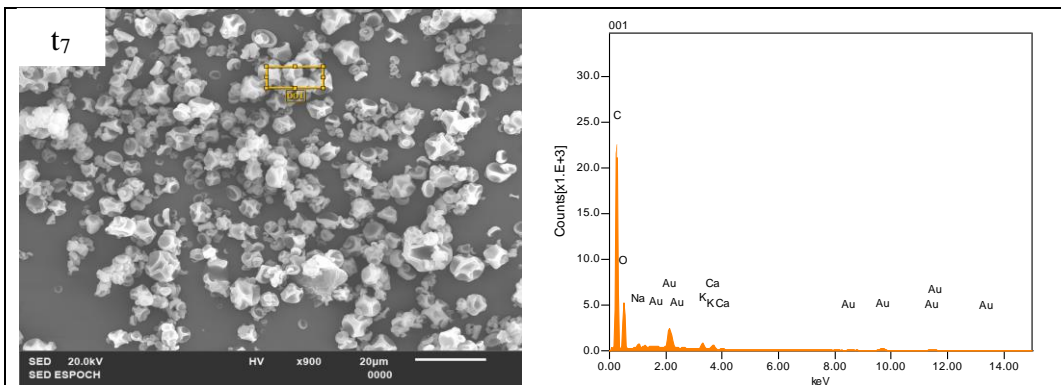
t4: Tratamiento 4 (con 10% M y 3.0% GA a 130°C)



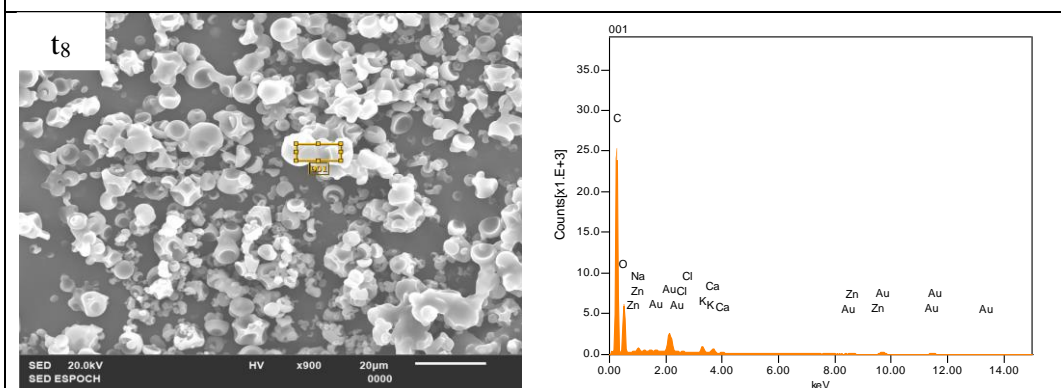
t5: Tratamiento 5 (con 10% M y 3.0% GA a 160°C)



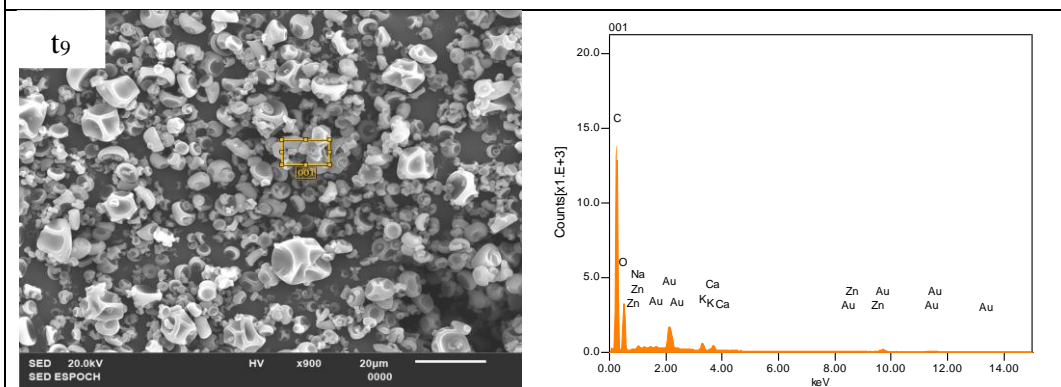
t6: Tratamiento 6 (con 3.0% M y 10% GA a 130°C)



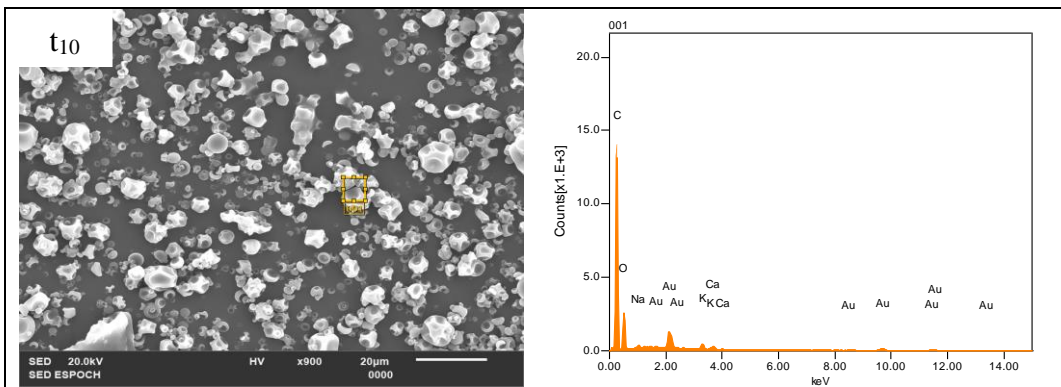
t7: Tratamiento 7 (con 3.0% M y 10% GA a 160°C)



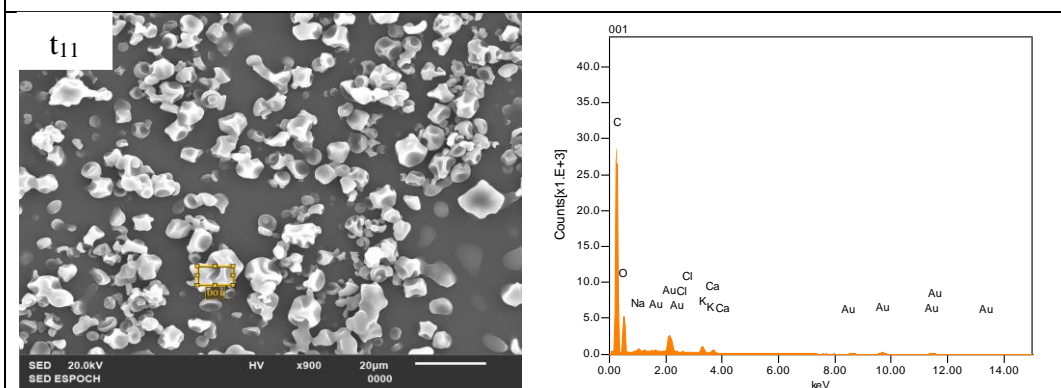
t8: Tratamiento 8 (con 10% M y 610% GA a 130°C)



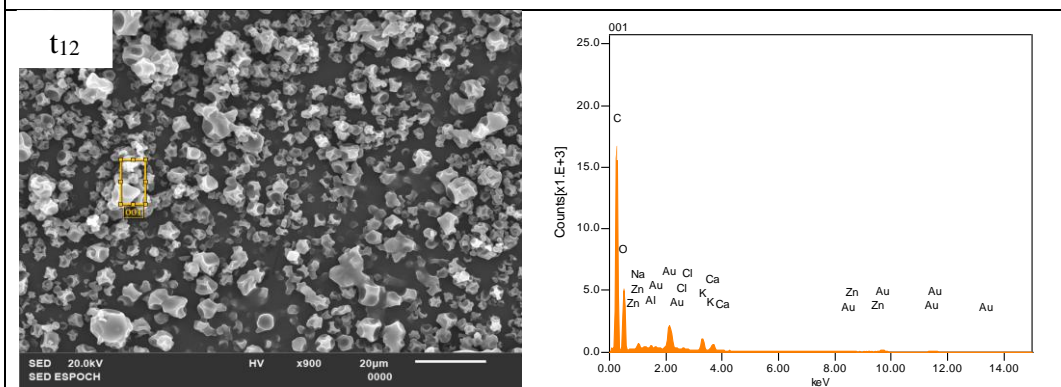
t9: Tratamiento 9 (con 10% M y 10% GA a 160°C)



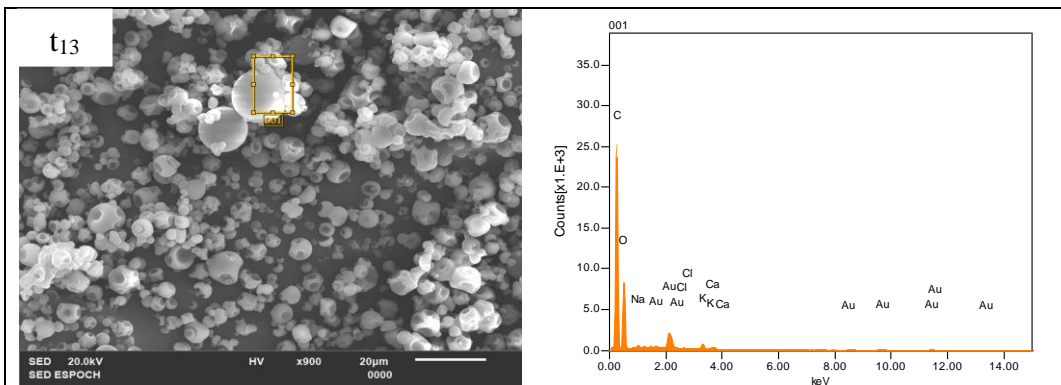
t₁₀: Tratamiento 10 (con 6.5% M y 6.5% GA a 120°C)



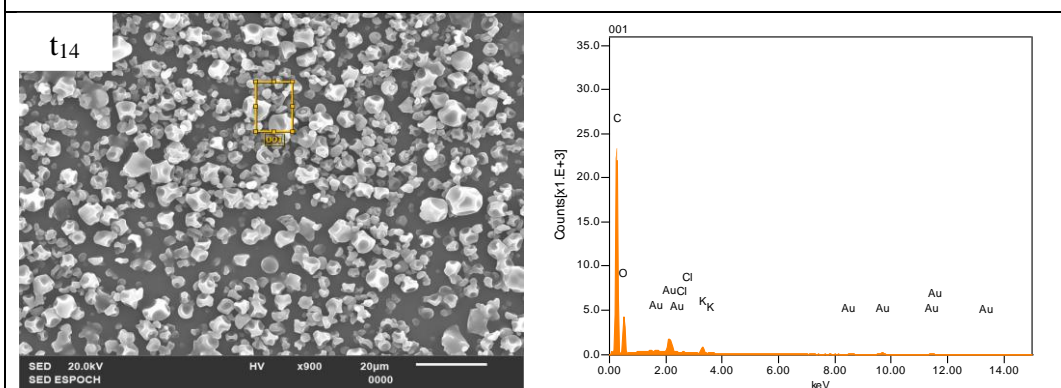
t₁₁: Tratamiento 11 (con 6.5% M y 6.5% GA a 170°C)



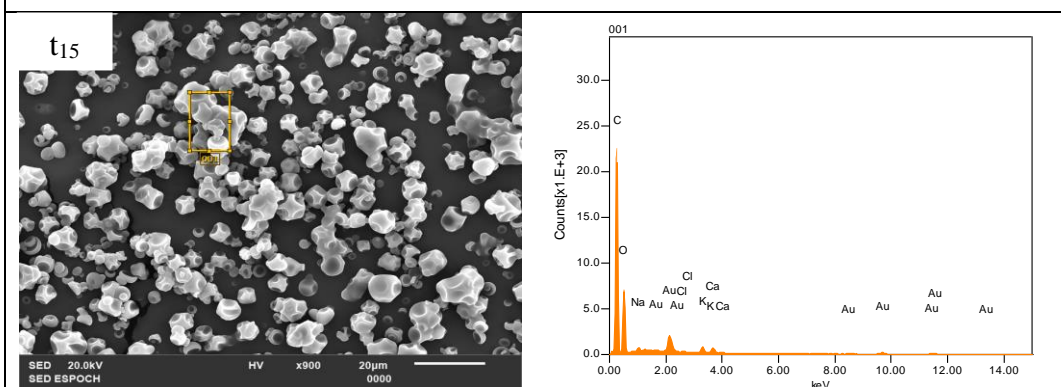
t₁₂: Tratamiento 12 (con 0.6% M y 6.5% GA a 145°C)



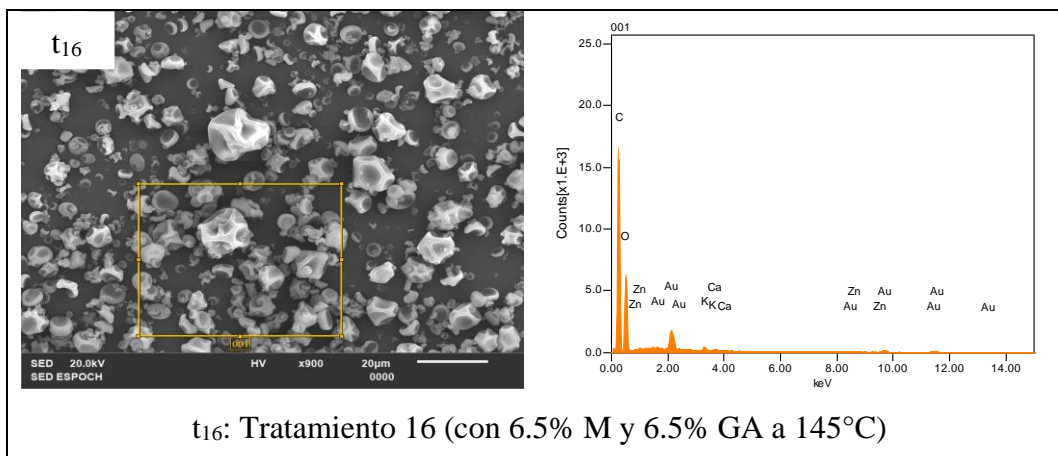
t13: Tratamiento 13 (con 12.386% M y 6.5% GA a 145°C)



t14: Tratamiento 14 (con 6.5% M y 0.614% GA a 145°C)



t15: Tratamiento 15 (con 6.5% M y 12.386% GA a 145°C)



Nota: Micrografías y espectro EDS de los encapsulados con goma arábiga (GA) y maltodextrina (M).

Fuente: Elaboración propia

La composición elemental de los encapsulados, se muestra en el espectro EDS (Figura 10), en todos los tratamientos existe presencia de carbono (C), oxígeno (O) y potasio (K), el elemento zinc (Zn) se evidencia en las corridas experimentales t₁, t₂, t₅, t₈, t₉, t₁₂ y t₁₆, el cloro (Cl) se encuentra presente en los encapsulados de los tratamientos t₇, t₉, t₁₀, y t₁₆, trazas de aluminio (Al) se muestra en las corridas experimentales t₂, t₄, t₅, t₆, y t₁₂, por otro lado, no se identifica el calcio (Ca) en el tratamiento 14, sodio (Na) en los tratamientos t₅ y t₁₄, resultados que concuerdan con el estudio de Rodrigues et al. (2022). Sin embargo, se diferencian al presentar aluminio y no fósforo en su composición, efecto posiblemente ocasionado por el tipo de suelo y fertilizantes utilizados durante la cosecha.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La Chillangua liofilizada (*Eryngium foetidum*) presentó bajo contenido de grasa (1.34%), buen contenido de proteína (17.47%), alto contenido de fibra (22.90%), cenizas (14.24%) a un pH de 6.88, clorofila *a* (3883.77 µg/g), clorofila *b* (1761.72

µg/g), carotenoides (889.19 µg/g), polifenoles totales (61.21 mg ácido gálico/g), flavonoides (0.02 mg/g), ácido ascórbico (1.29 mg/g), actividad antioxidante de 22.40 µmol trolox Eq/g y 91.60 µmol trolox/g por ABTS y DPPH respectivamente. Además, las hojas en estado fresco presentaron humedad de 71.76% y el haz de las hojas muestra similitud con el envés en cuanto a la tonalidad y luminosidad.

- La optimización máxima en el proceso de encapsulación de Chillangua (*Eryngium foetidum*) se alcanzó a 160°C con 3% de maltodextrina y 3% de goma arábiga, expresada en el contenido de polifenoles con 2.97 mg ácido gálico/g encapsulado, actividad antioxidante 12.79 µmol trolox Eq/g, clorofila *a* 3.61 µg/ml, y clorofila *b* 3.18 µg/ml encapsulado. La condición óptima global se alcanza al combinar 2.90% de maltodextrina con 1.06% de goma arábiga a una temperatura de 165.61°C, con ello se podría alcanzar la máxima conservación de compuestos funcionales como de la actividad antioxidante.
- Los encapsulados de Chillangua (*Eryngium foetidum*) se caracterizaron por presentar un tamaño de partícula promedio de 4.63±0.81 µm, morfología arrugada, irregular con abolladuras profundas. Los elementos que se encuentran en la superficie son carbono (C), oxígeno (O), potasio (K), zinc (Zn), cloro (Cl), trazas de aluminio (Al), calcio (Ca), y sodio (Na).
- La encapsulación de la Chillangua (*Eryngium foetidum*) permitió estabilizar 2.63% clorofila *a*, 5.96% clorofila *b*, 1.24% carotenoides, 3.27% polifenoles totales, 50.00% flavonoides, 68.22% vitamina C, 45.98% de actividad antioxidante determinada por ABTS+ y 4.20% por DPPH en comparación con la Chillangua liofilizada, de esta manera se acepta la hipótesis alternativa al comprobar que las condiciones de encapsulación influyeron sobre las propiedades funcionales y capacidad antioxidante de *Eryngium foetidum*.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios incorporando el encapsulado de Chillangua (*Eryngium foetidum*) en la industria alimenticia, como aditivo alimentario en el

procesamiento de carnes y embutidos, para crear productos con mejores cualidades organolépticas.

- Es necesario continuar con la investigación y determinar el poder tóxico, antidiabético, anticancerígeno y antilarvario en matrices alimentarias con diferentes concentraciones de la planta fresca o del encapsulado de Chillangua (*Eryngium foetidum*).
- Se recomienda realizar estudios de vida útil de los encapsulados aplicando diferentes tipos de empaque (fundas aluminizadas, fundas de polipropileno, frascos, etc.) en diferentes condiciones (ambiente, refrigeración, etc.).
- Al existir poca información de la actividad antimicrobiana la Chillangua (*Eryngium foetidum*) contra patógenos, es necesario desarrollar investigaciones enfocadas en esta línea de investigación.
- Previo al proceso de encapsulación se podría ensayar diferentes solventes en estado puro y en solución (etanol, metanol, acetona o cloroformo), estos podrían ser usados para la extracción de compuestos con el fin de determinar si son aptos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, A. (2010). Biosíntesis de compuestos fenólicos y vitaminas hidrosolubles en plántulas de Culantro (*Eryngium foetidum* L.) afectadas por bajas dosis de radiación gamma. *Analele Universitatii Din Oradea-Fascicula Biologie*, 17, 356-361. <https://bioresearch.ro/2010-2/356-361%20-%20ALY%20A.A.%20-%20N.C.R.R.T.Cairo.Eg.%20-%20Biosynthesys%20of%20phenolic.pdf>
- Akdeniz, B., Sumnu, G., y Sahin, S. (2017). The effects of maltodextrin and gum Arabic on encapsulation of onion skin phenolic compounds. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1891-1896. <https://doi.org/10.3303/CET1757316>
- Aragüez, Y., Pino, J. A., Sadai, I., y Roncal, E. (2018). Influencia del contenido de maltodextrina - goma arábica y la temperatura del aire de entrada en el secado por atomización de jugo concentrado de naranja. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(3), 27-33. <https://www.revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/34/30>
- Asociación de Comunidades Analíticas [AOAC]. 2012. *Official Method 2003.05 Crude Fat in Feeds, Cereal Grains, and Forages. AOAC Official Methods of Analysis*.
- Asociación de Comunidades Analíticas [AOAC]. 2000. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, 17th edn. Arlington, VA: AOAC*.
- Asociación de Comunidades Analíticas [AOAC]. 1980. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, 17th edn. Arlington, VA: AOAC*.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. En *Química de los alimentos* (4.^a ed.). Pearson.
- Bassolino, L., Petroni, K., Polito, A., Marinelli, A., Azzini, E., Ferrari, M., Ficco, D. B. M., Mazzucotelli, E., Tondelli, A., Fricano, A., Paris, R., García-Robles, I.,

- Rausell, C., Real, M. D., Pozzi, C. M., Mandolino, G., Habyarimana, E., y Cattivelli, L. (2022). Does plant breeding for antioxidant-rich foods have an impact on human health? *Mdpi*, 11(4), 1-32. <https://doi.org/10.3390/antiox11040794>
- Borah, J., Singh, K., Mondal, S. y Dutta, S. (2020). Análisis fitoquímico e interacción sinérgica de extractos de plantas con aislados bacterianos y fúngicos. *Revista Internacional de Investigaciones Académicas Recientes*, 2 (4), 618-623.
- Blair, S., y Madrigal, B. (2005). *Plantas antimaláricas de Tumaco: costa pacífica colombiana*. Universidad de Antioquia. <https://n9.cl/sjuqh>
- Cachay-Morante, J., Chacpi-Vasquez, M., Castillo-Sebastian, G., y Huamani-Calle, D. (2022). Caracterización fisicoquímica, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del jugo y harina de cladodios secundarios de *Opuntia ficus-indica*. *Agroindustrial Science*, 12(2), 191-198. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.02.09>
- Campos, R., Junior, S., Gonçalves, G., Neves, L., de Gusmão, S., Vianello, F., y Lima, G. (2019). Cambios en compuestos bioactivos en hojas de cilantro espinoso en respuesta a la poda de inflorescencias en diferentes etapas de crecimiento. *Scientia Horticulturae*, 245, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.033>
- Chen, L., Gnanaraj, C., Arulselvan, P., El-Seedi, H., y Teng, H. (2019). A review on advanced microencapsulation technology to enhance bioavailability of phenolic compounds: Based on its activity in the treatment of Type 2 Diabetes. *Trends in Food Science and Technology*, 85, 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.026>
- Fitzpatrick, J., Barringer, S., y Iqbal, T. (2004). Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. *Food Engineering*, 61, 399-405. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00147-X)
- Food and Drug Administration [FDA]. 2022. *CFR - Código de Regulaciones Federales*

<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=184.1444>

Flores, L., Ruiz, A., y Oscanoa, A. (2021). Protocolo para determinación de humedad en microalgas liofilizadas. *Inf Inst Mar Perú*, 48(1), 8-10. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/IMAR_0ddf177028bd519855cdf78d835c5194

García-Cárdenas, J., Ciro-Velásquez, H., y Largo-Ávila, E. (2015). Encapsulación de un sabor cítrico de mandarina usando tecnología de secado por aspersión y diferentes materiales de cobertura. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 18(1), 251-260.

González, E., Martínez, O., y Rutiaga-Quiñones, O. M. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180-192. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176006>

González, C. (2018). Frutas y verduras perdidas y desperdiciadas, una oportunidad para mejorar el consumo. *Editorial*, 4067. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000400198>

Gutiérrez-del-Río, I., López-Ibáñez, S., Magadán-Corpas, P., Fernández-Calleja, L., Pérez-Valero, Á., Tuñón-Granda, M., Miguélez, E. M., Villar, C. J., y Lombó, F. (2021). Terpenoids and polyphenols as natural antioxidant agents in food preservation. *Antioxidants*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/antiox10081264>

Gutiérrez, H., y Salazar, R. (2016). Análisis y diseño de experimentos. En *Turkish Journal of Medical Sciences* (Vol. 46, Número 5). <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>

Iturri, M., Calado, C., y Prentice, C. (2021). Microparticles of *Eugenia stipitata* pulp obtained by spray-drying guided by DSC: An analysis of bioactivity and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 334, 127557.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127557>

Jamanca, N., y Alfaro, S. (2017). *Antioxidantes en los alimentos*. Universidad Nacional de Barranca.

https://repositorio.unab.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12935/17/NC_Antiox_Nicodemo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jaramillo, B., Duarte, E., y Martelo, I. (2011). Composición química volátil del aceite esencial de *Eryngium foetidum* L. colombiano y determinación de su actividad antioxidante. *Revista cubana de plantas medicinales*, 16 (2), 140-150.

Jideani, A., Silungwe, H., Takalani, T., Omolola, A., Udeh, H., y Anyasi, T. (2021). Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 41-67. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1866597>

Kalušević, A., Lević, S., Čalija, B., Pantić, M., Belović, M., Pavlović, V., Bugarski, B., Milić, J., Žilić, S., y Nedović, V. (2017). Microencapsulation of anthocyanin-rich black soybean coat extract by spray drying using maltodextrin, gum Arabic and skimmed milk powder. *Journal of Microencapsulation*, 34(5), 475-487. <https://doi.org/10.1080/02652048.2017.1354939>

Kambarova, A., Nurgazezova, A., Nurymkhan, G., Atambayeva, Z., Smolnikova, F., Rebezov, M., Issayeva, K., Kazhibayeva, G., Asirzhanova, Z., y Moldabaeva, Z. (2021). Improvement of quality characteristics of turkey pâté through optimization of a protein rich ingredient: Physicochemical analysis and sensory evaluation. *Food Science and Technology (Brazil)*, 41(1), 203-209. <https://doi.org/10.1590/fst.00720>

Kuck, L., y Noreña, C. (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 194, 569-576. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.066>

Kurek, M., Benaida-Debbache, N., Elez, I., Gali, K., Avallone, S., Voilley, A., y

- Waché, Y. (2022). Antioxidants and bioactive compounds in food : critical review of issues and prospects. *Antioxidants*, 11(742), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/antiox11040742> Academic
- Llauce, T., Paredes, A., y Martinez, W. (2015). Evaluación del zumo de aguaymanto (*Physalis Peruviana*) secado por atomización. *Revista Científica INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(1), 73.
- Loizzo, M., y Tundis, R. (2022). Impact of Processing on Antioxidant Rich Foods. *Antioxidants*, 11(797), 1-5. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/antiox11050797>
- Londoño, J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. In *Desarrollo y transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia*. Corporación Universitaria Lasallista.
- López, A., Deladino, L., Navarro, A., y Martino, M. (2012). *Encapsulación de compuestos bioactivos con alginatos para la industria de alimentos for the food industry. 1*, 18-27.
- Morales, J. (1995). *Cultivo de cilantro, cilantro ancho y perejil*. Fundación de desarrollo agropecuario, INC.
- Muhamad, I., Jusoh, Y., Nawi, Aziz, A., Padzil, A., y Lian, H. (2018). Advanced Natural Food Colorant Encapsulation Methods: Anthocyanin Plant Pigment. En *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811518-3.00015-6>
- Nava, E., Michelena, G., Lliná, A., y Hernández, J. (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 23(66), 64-70. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67446014009>
- Nguyen, T., Le, T., Dang, N., Nguyen, D., Nguyen, P., Tran, T., Nguyen, Q., Bach, L., y Thuy Nguyen Pham, D. (2021). Microencapsulation of Essential Oils by Spray-Drying and Influencing Factors. *Journal of Food Quality*, 2021.

<https://doi.org/10.1155/2021/5525879>

- Oberoi, D., y Sogi, D. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.024>
- Önder, A. (2021). Antioxidant and health. En *Research y Reviews in Science and Mathematics - II* (Número January, pp. 81-97). <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/357832123>
- Ortiz-Romero, N., Ochoa-Martínez, L., González-Herrera, Rutiaga-Quiñones, O. M., y Gallegos-Infante, J. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica : una revisión sistemática. *TecnoLógicas*, 24(52), 2-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1962>
- Pataro, G., Sinik, M., Capitoli, M. M., Donsì, G., y Ferrari, G. (2015). The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.003>
- Popovic, D., DuMilin, D., Pesic, M., Kalusevic, A., Tesic, Z., y Nedovi, V. (2019). *Encapsulation technologies for polyphenol-loaded microparticles in food industry*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815353-6.00012-4>
- Quek, S., Chok, N., y Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>
- Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., Cazin, M., Cazin, J.-C., Bailleul, F., y Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour Christel. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35-42. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874100001963>
- Ramakrishnan, Y., Adzahan, N., Yusof, Y., y Muhammad, K. (2018). Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of

- bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. *Powder Technology*, 328, 406–414. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.018>
- Raunelli, P., Liviac, D., Alvis, R., Puente, S., Best, I., y Reátegui, O. (2019). Cytoprotective Effect of the *Eryngium foetidum* “Sacha Culantro” Methanolic Leaf Extract versus Sodium Fluoride Exposed Mice using the Micronucleus Test and the Comet Assay. *Pharmacognosy Journal*, 11(3), 461-465. <https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.72>
- Restrepo, M., Quintero, P., y Fraume, N. (2005). *El milagro de las plantas: aplicaciones medicinales y orofaríngeas*. San Pablo. <https://n9.cl/zxf2p>
- Rivero-Guerra, A. (2021). *Uso tradicional de especies de plantas en trece provincias de Ecuador*. 1-4.
- Roca, E., Felices, E., Ventura, P., y Arroyo, J. (2020). Efecto hepatoprotector y actividad antioxidante del extracto hidroalcohólico del fruto de dos variedades de *Opuntia megacantha* “Tuna”. *Unidad de Investigación e Innovación de Ciencias de la salud*, 23, 252-259. <https://doi.org/https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.28.2.2020.416>
- Rodrigues, T., Silva, M., Gurgel, E., Oliveira, M., y Lucas, F. (2022). *Eryngium foetidum* L. (Apiaceae): A Literature Review of Traditional Uses , Chemical Composition , and Pharmacological Activities. *Hindawi*, 2022, 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/2896895> Review
- Rojas, J., Trávez, A., Castellano, Zambrano, Z., Iglesias, L., y Pichucho, P. (2022). Microencapsulación del extracto acuoso de cedrón (*Aloysia citrodora*) mediante secado por aspersión Microencapsulation of the aqueous extract of cedron. *UTCiencia*, 9(2), 99-112.
- Rosero-Gómez, C., García, K., y Viracocha, L. (2020). Nomenclatura y usos del culantro de monte (*Eryngium foetidum* L) en la comunidad San Antonio de Padua, cantón Quinsaloma, Provincia de Los Ríos Ecuador. *Bol. latinoam. Caribe plantas med. aromát*, 19(3), 334-343.

<https://doi.org/https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.3.21> 334

- Sandoval-Peraza, V., Cu-Cañetas, T., Peraza-Mercado, G., y Acereto-Escoffié, P. (2017). Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas. En *Alimentos Funcionales de hoy* (Número February, pp. 181-218). OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms358>
- Sandoval, A., Rodríguez, E., y Ayala, A. (2004). Encapsulación de aditivos para la industria de alimentos. *Universidad del Valle*, 5, 73-81.
- Sarabandi, K., Jafari, S., Mahoonak, A., y Mohammadi, A. (2019). Application of gum arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.133>
- Sharma, N., y Singhvi, R. (2018). Consumers perception and Behaviour towards organic food: A systematic review of literature. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 2152-2155.
- Sharma, S., Mulvaney, S., y Rizvi, S. (2003). *Ingenieria de Alimentos - Operaciones Unitarias y Practicas de Laboratorio*. Limusa Wiley.
- Singh, S., Singh, D. R., Banu, S., y Salim, K. M. (2013). Determination of bioactives and antioxidant activity in eryngium foetidum L.: A traditional culinary and medicinal herb. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 83(3), 453-460. <https://doi.org/10.1007/s40011-012-0141-y>
- Sillerico, M., Evelyn, V., Borda, C., Cecilia, K., Mercado, R., Virginia, J., y Juan, A. (2016). Encapsulation, characterization and thermal stability of anthocyanins from Zea Mays L.(Purple Corn). *Revista Boliviana de Química*, 33(5), 183-189.
- Tashi Lepcha, T., Upadhyay, S., Manivannan, S., Diki Bhutia, K., Sharma, L., Ramana Muddarsu, V., y Tshering Tashi Lepcha, C. (2018). Proximate and nutritional analysis of Culantro (Eryngium foetidum). ~ 3129 ~ *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1.

- Teixeira, S., Leitão, C., Siqueira, F. C., Sousa, H., Mercadante, A., Campos, R., y Lopes, A. (2020). Amazonian *Eryngium foetidum* leaves exhibited very high contents of bioactive compounds and high singlet oxygen quenching capacity. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1452-1464. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1811311>
- Thi, N., An, T., Nguyen, O., Dung, L., Minh, L., y Nhan, L. (2020). Phytochemical Content and Antioxidant activity in aqueous and ethanolic extracts of *Eryngium foetidum* L. *Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012026>
- Tolun, A., Altintas, Z., y Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>
- Tolun, A., Artik, N., y Altintas, Z. (2020). Effect of different microencapsulating materials and relative humidities on storage stability of microencapsulated grape pomace extract. *Food Chemistry*, 302(August 2019), 125347. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125347>
- Thomas, P., Essien, E., Ntuk, S., y Choudhary, M. (2017). Aceites esenciales de *Eryngium foetidum* L.: composición química y capacidad antioxidante. *Medicamentos*, 4 (2), 24. <https://www.mdpi.com/2305-6320/4/2/24>
- Vidal, D., Torres, J., y González, L. O. (2014). Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar. *Momento*, (48E), 14-23.
- Vega, M. (2001). *Etnobotánica de la Amazonia peruana*. Abya Yala. <https://n9.cl/n7aof>
- Vega, O., y Montañó, D. F. (2020). Biopolímeros , definiciones , caracterización y aplicaciones Resumen. *Aportes en investigación para la ingeniería*, 190-213. <https://www.researchgate.net/publication/343268488%0ABiopolímeros>.

Vera, J., y Schmalko, M. (2019). *Encapsulación de antioxidantes del concentrado de Yerba Mate : Influencia de las condiciones de secado conditions*. 48-55.

Yamashita, C., Chung, M., dos Santos, C., Mayer, C., Moraes, I., y Branco, I. (2017). Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. *Lwt*, 84, 256-262.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.063>

ANEXOS

Anexo A. Equipos utilizados



Microscopio electrónico de barrido



Equipo de Kjeldahl



Cámara extractora de gases



Molino de centrifugación ultra



Estufa de aire forzado



Congeladora



Liofilizador



Balanza



Medidor de la actividad de agua



Phmetro



Vortex y agitador electromagnético



Selladora al vacio



Mufla



Estufa



Buchi Mini Spray Dryer B -290



Centrifugadora



Espectrofotómetro



Denton Vacuum

Anexo B. Análisis fisicoquímicos de la Chillangua



Medición del pH



Medición de humedad



**Hojas seleccionadas para determinar
el color**



Determinación del color



Determinación de fibra



Determinación de grasa



Determinación de proteína



Determinación de cenizas

Anexo C. Extracción del principio activo



¹Muestra seca



²Pesaje del triturado



³Muestra seca más agua destilada



⁴Tamizaje de la solución



⁵Mezcla de extractos



⁶Almacenamiento del extracto

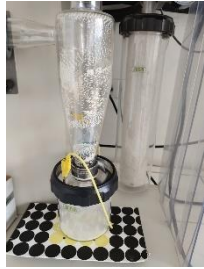
Anexo D. Procesamiento de encapsulados



**¹Mezcla de goma arábica y
maltodextrina**



²Procesamiento operacional



³Recolección de polvos



⁴Resultados de la encapsulación



⁵Medición para humedad



⁶Medición de la actividad de agua



⁷Sellado al vacío



⁸Almacenamiento de los encapsulados

Anexo E. Medición de parámetros funcionales y actividad antioxidante



Primera extracción del principio activo



Residuos de la extracción



Segunda extracción del principio activo



Resultados de polifenoles totales



Medición en el espectrofotómetro



Determinación de flavonoides



Determinación de carotenoides



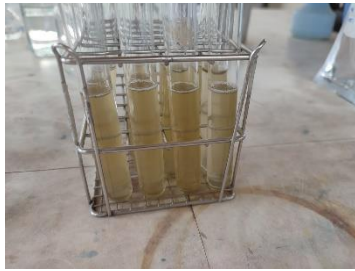
Determinación de clorofila



Actividad antioxidante por ABTS



Actividad antioxidante por DPPH

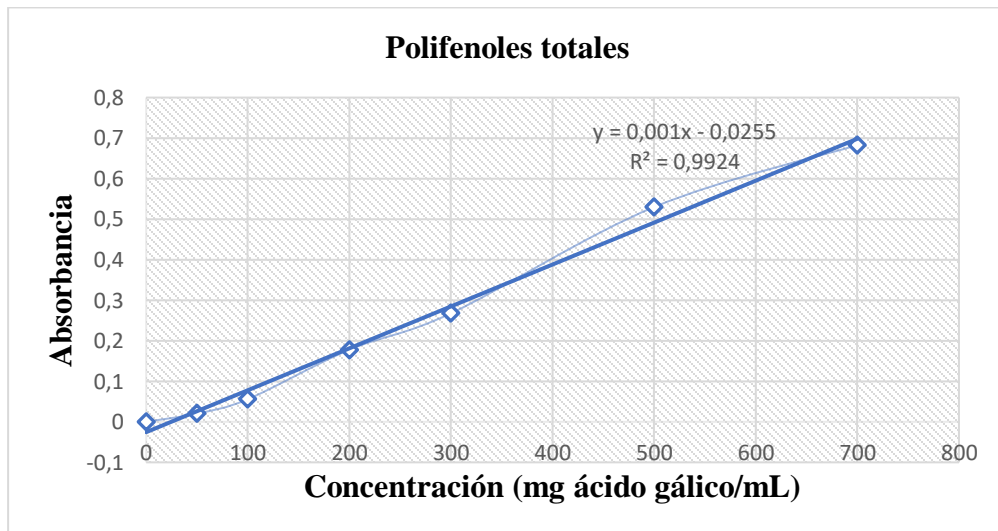
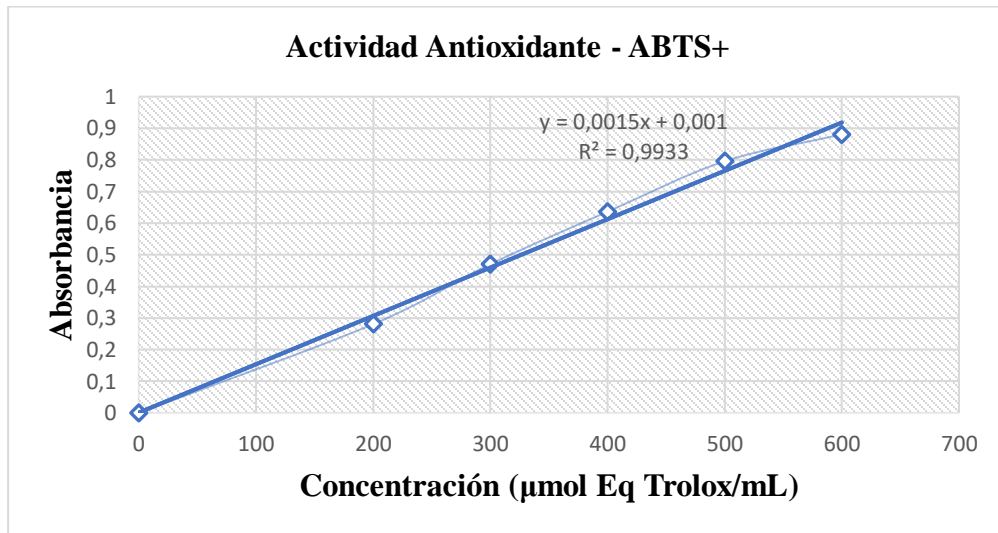


Disolución

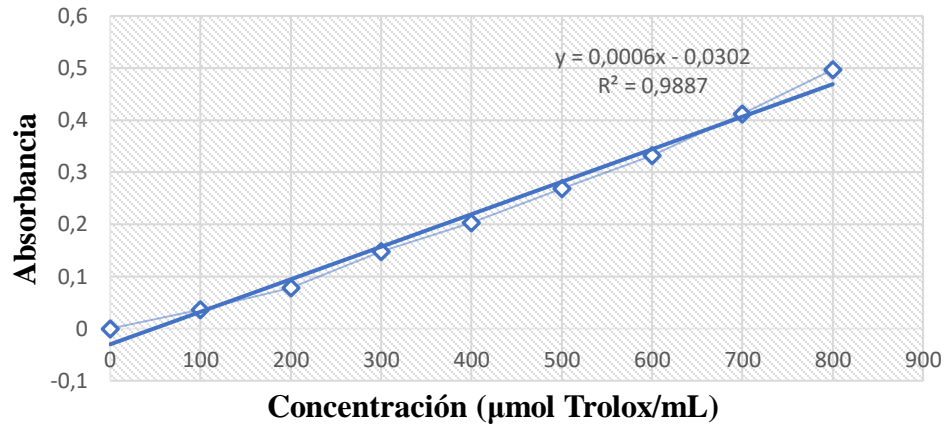


Determinación de Vitamina C

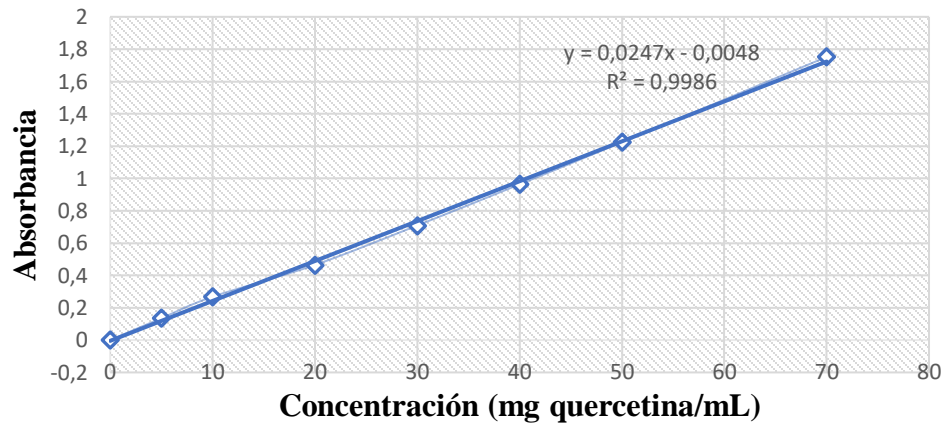
Anexo F. Curvas de calibración



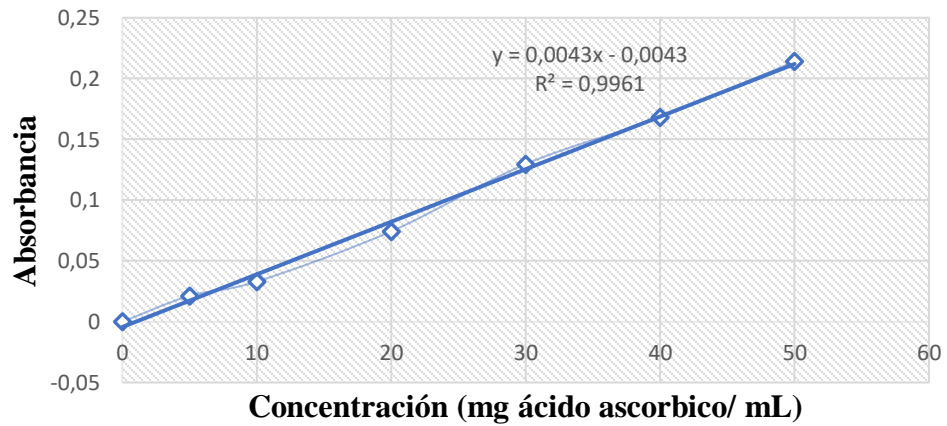
Actividad Antioxidante - DPPH



Flavonoides



Vitamina C



Anexo G: Superficies de respuesta para las variables no significativas

El ANOVA obtenida de la variabilidad del contenido de Carotenoides, Prueba de disolución, Actividad antioxidante por DPPH, Vitamina C, Humedad, Actividad de agua y los parámetros de color C*, H° y b*, prueban la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En todos los casos, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0,05.

Tabla 18.

Análisis de varianza para las 9 variables de respuesta

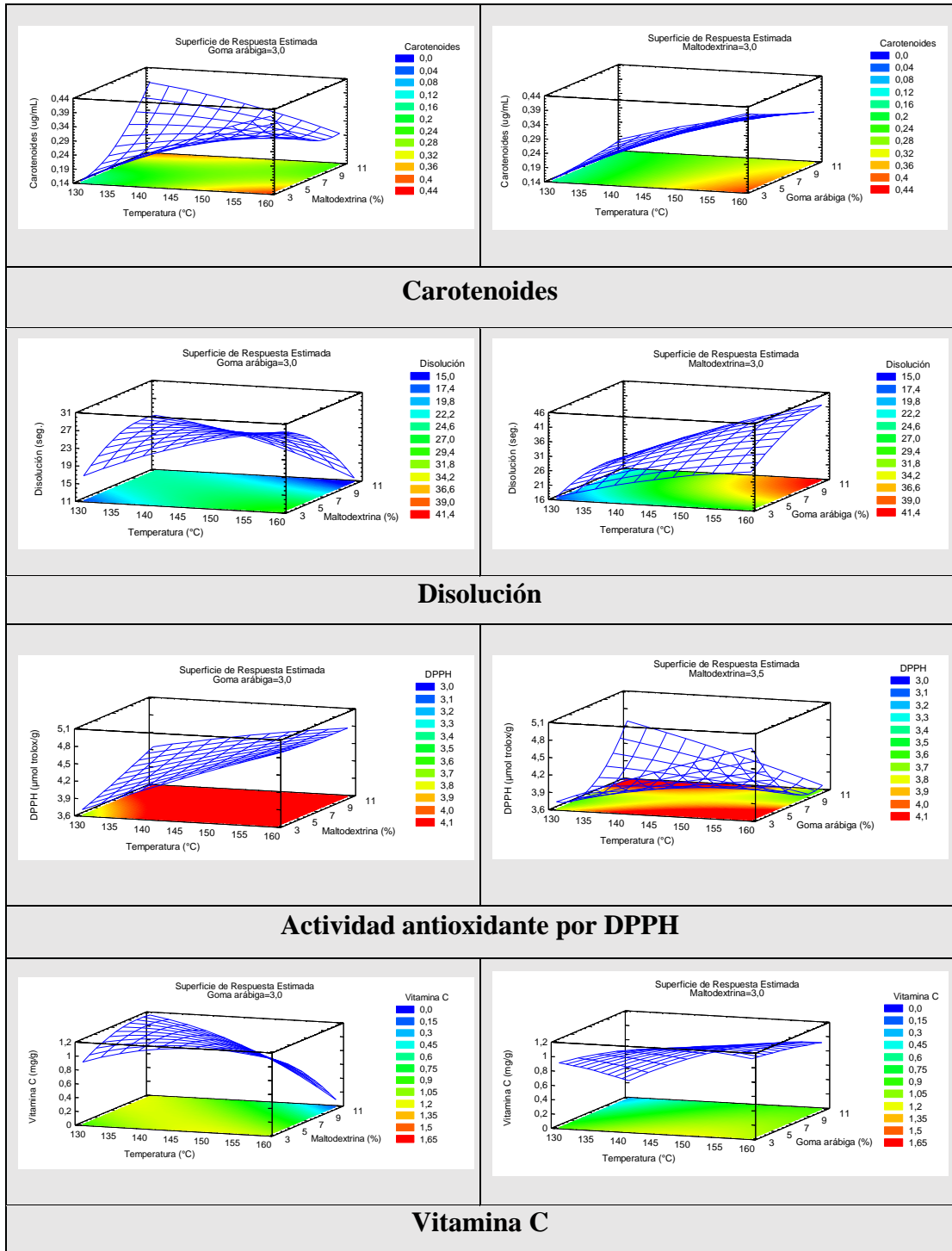
Fuente	Carotenoides	Disolución	DPPH	Vitamina C	Humedad	aw	C*	H°	b*
A: Temperatura	0,7154	0,3401	0,9647	0,5114	0,2498	0,5470	0,3304	0,2467	0,2490
B: Maltodextrina	0,3034	0,2730	0,2509	0,8778	0,7622	0,2869	0,5865	0,1755	0,4347
C: Goma arábica	0,1474	0,4301	0,0693	0,8290	0,8077	0,9094	0,2128	0,2226	0,1643
AA	0,7348	0,6419	0,8954	0,2320	0,7070	0,1857	0,5767	0,9058	0,6602
AB	0,1107	0,2081	0,6413	0,0862	0,5903	0,6081	0,2924	0,1829	0,1971
AC	0,5610	0,6104	0,1729	0,4752	0,2414	0,2850	0,2671	0,1777	0,1811
BB	0,3995	0,5757	0,9556	0,5560	0,4366	0,1557	0,4749	0,9615	0,4605
BC	0,3630	0,6549	0,2301	0,2963	0,3804	0,3290	0,7510	0,2163	0,5200
CC	0,9409	0,6083	0,2650	0,9190	0,9106	0,5871	0,6400	0,9112	0,7253
R ²	63,6615%	50,9338	68,4825	59,2544	47,7083	57,6927	58,0843	67,3584	65,4619
R ² (ajustada por g.l.)	9,15372%	0,0	21,2063	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3959	13,6549
Error estándar del est	0,135063	10,5294	0,813462	0,386971	2,16217	0,0584449	1,35171	9,57528	1,46038
Estadístico Durbin-Watson (Valor-P)	0,8710	0,1477	0,3692	0,8710	0,2031	0,1093	0,0732	0,8051	0,1423

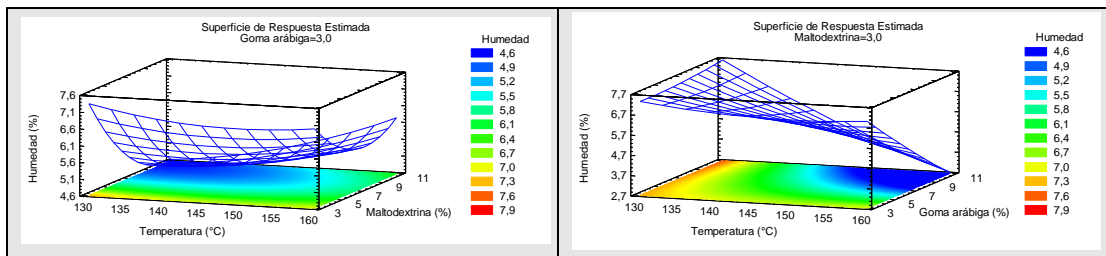
Nota: Carotenoides (µg/mL), Prueba de disolución (seg.), Actividad antioxidante por DPPH (µmol trolox/g), Vitamina C (mg/g), Humedad (%), **aw**= Actividad de agua, **C***, **H°**, **b*** = parámetros de color.

Fuente: Elaboración propia

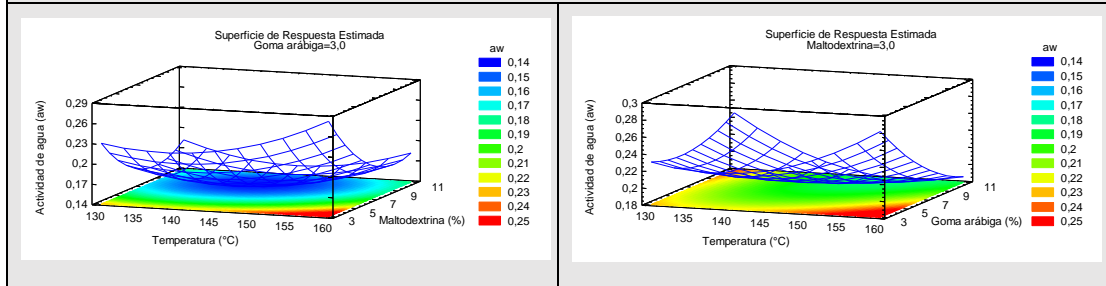
Figura 14.

Superficie de respuesta para las variables no significativas

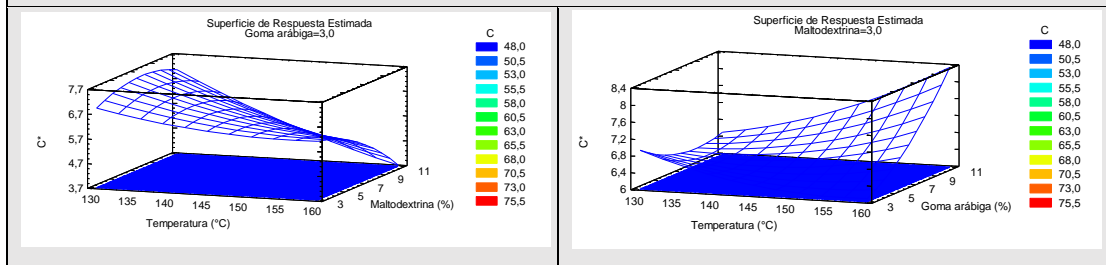




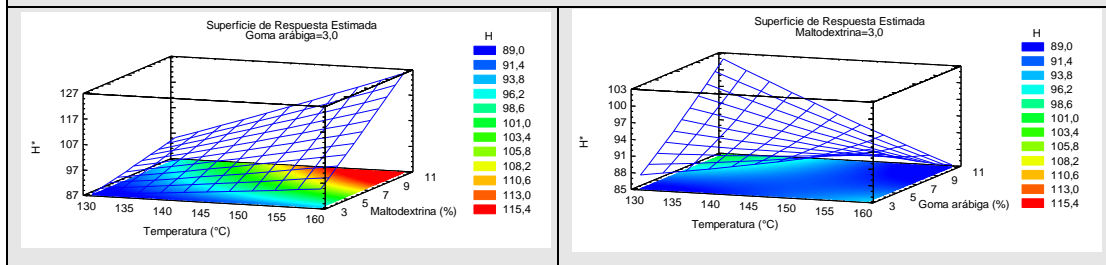
Humedad



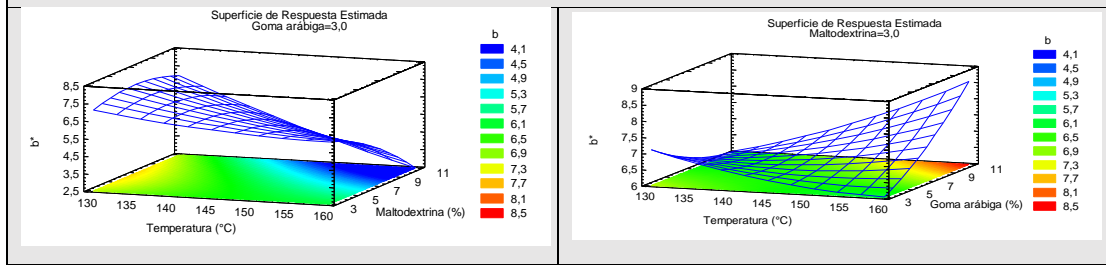
Actividad de agua



Color parámetro C*



Color parámetro H°



Color parámetro b*

Fuente: Elaboración propia

Anexo H: Datos utilizados para los análisis

Tabla 19.

Datos de la investigación

Fila	Carotenoides	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Disolución	Polifenoles	ABTS	DPPH	Flavonoides	Vitamina C	Humedad	aw	L*	C*	H*	a*	b*
1	0,2443	0,828	0,5406	36,0	1,2799	10,0486	3,0833	0,0098	0,7167	4,8028	0,1217	48,1022	8,67	94,5311	-0,6888	8,6411
2	0,0116	1,3755	1,9359	24,0	2,8086	11,6528	2,8924	0,0216	1,1624	5,971	0,1703	39,34	6,9089	93,7111	-0,4604	6,8917
3	0,5115	3,6112	3,1781	38,0	2,9674	12,7986	5,3576	0,0206	1,2205	7,5259	0,3	40,8322	6,3567	93,0556	-0,3408	6,3473
4	0,4118	2,7573	2,4561	22,0	1,6523	8,5417	4,8194	0,0122	1,457	6,0667	0,1935	52,4378	6,9111	93,9867	-0,464	6,8933
5	0,1809	1,9623	2,1599	21,0	1,9076	9,375	4,3854	0,013	0,3756	4,5607	0,1415	52,3011	3,9211	135,14	-0,6043	2,3264
6	0,2839	2,2544	2,1921	22,0	2,5664	13,2431	4,5764	0,0143	0,3019	7,6188	0,234	51,7967	6,6511	91,4611	-0,1734	6,6483
7	0,2926	2,2435	2,0413	50,0	1,957	10,1319	2,9271	0,0118	0,7593	0,3997	0,1297	48,7733	8,2056	91,5589	-0,2011	8,2009
8	0,1224	2,9493	3,6387	19,0	1,7331	8,125	2,6319	0,0111	1,205	5,8092	0,208	51,4578	7,0567	94,45	-0,545	7,034
9	0,1477	1,587	1,7755	20,0	1,6341	8,5486	2,7535	0,0107	0,5578	5,1283	0,196	54,26	6,6367	93,5089	-0,3875	6,6179
10	0,1573	1,7837	2,03	20,0	1,8008	8,3819	3,8125	0,0131	0,5112	7,6093	0,285	50,1822	8,1733	91,1878	-0,1713	8,171
11	0,0906	1,4241	1,7592	19,0	1,8737	10,9861	3,4306	0,0113	0,6391	6,2256	0,226	54,6467	6,46	94,6089	-0,5065	6,4389
12	0,3789	2,6148	2,2488	17,0	2,7956	12,3333	4,559	0,0161	0,8058	8,5667	0,3093	46,4844	5,4022	90,1556	-0,0284	5,3996
13	0,1857	1,7273	1,8827	20,0	1,3659	7,3819	2,9792	0,0095	0,8523	7,0324	0,2157	55,7267	5,8344	94,3411	-0,44	5,816
14	0,3449	2,4714	2,1961	11,0	2,0794	11,9028	5,2708	0,0095	0,6973	5,4281	0,1867	47,5256	6,4478	93,7933	-0,4102	6,4325
15	0,0115	2,1503	2,8686	27,0	1,8789	10,0	4,0382	0,0107	1,3329	7,2928	0,2243	53,9689	7,94	91,8778	-0,2474	7,9223
16	0,1598	0,9353	0,9083	24,0	1,7591	11,3194	4,0382	0,0119	1,5112	5,1204	0,1603	54,4111	4,2933	96,8189	-0,474	4,2642

Nota: Carotenoides y clorofilas ($\mu\text{g/mL}$), Prueba de disolución (seg.), Actividad antioxidante por DPPH ($\mu\text{mol trolox/g}$) y ABTS ($\mu\text{mol trolox Eq/g}$), Polifenoles, flavonoides, Vitamina C (mg/g), Humedad (%), **aw**= Actividad de agua, **C***, **H°**, **b*** = parámetros de color.

Fuente: Elaboración propia

