



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA MENCIÓN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de
sunfo (*Clionopodium nubigenum Kunth Kuntze*), mediante
secado por aspersion.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Agroindustria
mención Tecnología de Alimentos

Autor

Pérez Sánchez Christian Fabián

Tutor

Rojas Molina Jaime Orlando Quím. Mg.

LATAACUNGA –ECUADOR

2022

APROBACIÓN DEL TUTOR.

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el título: “Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersión”, presentado por Pérez Sánchez Christian Fabián para optar por el título de magister en Agroindustrias con mención en Tecnología de los Alimentos.

CERTIFICO

Que el presente trabajo investigativo ha sido revisado en todas sus partes y se considera 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, 30 de agosto del 2022



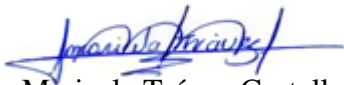
Quím. Mg. Jaime Orlando Rojas Molina

CC: 050264543-5

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de titulación: Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersión, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Agroindustrias; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, 07 de octubre del 2022



Ana Maricela Trávez Castellano Mg. C

0502270937

Presidente del tribunal



Zoila Eliana Zambrano Ochoa Mg. C.

0501773931

Lector 2



Mg. Edwin Ramiro Cevallos Carvajal Mg. C.

0501864854

Lector 3

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haber brindado a través de sus distinguidas autoridades la oportunidad de crecer en el aspecto profesional y humanitario. De la misma manera extendiendo el agradecimiento a cada uno de los docentes que supieron impartir su cátedra de tal manera que pese a la situación presentada por la pandemia se pudo cubrir todas las necesidades mediante el uso de plataformas y otros medios tecnológicos, así como físicos. Al Químico Magister Jaime Orlando Rojas por los conocimientos puestos a disposición para el desarrollo de esta investigación, su calidad humana, paciencia, tiempo y dedicación a la enseñanza.

Christian Pérez

DEDICATORIA

El esfuerzo puesto para la realización de esta investigación es gracias a la ayuda, constancia y confianza de mis padres e hijo, por tal motivo todo el mérito fruto de este trabajo está dedicado a ellos como un pilar más, que será base en mi vida profesional y humanitaria. Sin embargo, detrás de todo esfuerzo hay una fuente que nos brinda la fuerza, los ánimos y los medios necesarios para cumplir nuestros sueños en todo aspecto de nuestras vidas, esa fuente es Dios y nuestra madre la Virgen María.

Christian Pérez

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo Christian Fabián Pérez Sánchez, con cédula de ciudadanía No. 180446598-5, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersion”, siendo el Químico Mg. Jaime Orlando Rojas Molina, tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 30 de agosto 2022


Christian Fabián Pérez Sánchez
C.C: 1804465985

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, octubre 04 del 2022


Christian Fabián Pérez Sánchez
180446598-5

AVAL DEL PRESIDENTE

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersion, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, octubre 07 del 2022



Ana Maricela Trávez Castellano Mg. C.

0502270937

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

TÍTULO: “MICROENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE LA PLANTA DE SUNFO (*CLIONOPODIUM NUBIGENUM KUNTH KUNTZE*), MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN.”

AUTOR: Pérez Sánchez Christian Fabián

TUTOR: Rojas Molina Jaime Orlando Quím. Mg.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como principal objetivo optimizar el proceso de microencapsulación de los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*) mediante secado por aspersion. Para este fin se planteó un diseño experimental de superficie respuesta mediante el método de optimización numérica, con los factores de estudio (A) temperatura del aire de entrada (130; 140; 150 °C) y (B) velocidad de flujo de alimentación (500; 600; 700ml/h). Los materiales utilizados como material de pared para formar la matriz polimérica fueron goma arábica y maltodextrina. En función de las corridas experimentales arrojadas por el diseño se determinaron los datos para cada variable respuesta (% humedad; % rendimiento; % eficiencia de microencapsulación), dando como resultado que el proceso de microencapsulación se optimiza con una temperatura de entrada de aire igual a 150° C y una velocidad de flujo de alimentación igual a 500 ml/h, parámetros en los cuales se obtiene un rendimiento del 92,14%, una eficiencia de microencapsulación de 91,34% y una humedad del 2,14%, indicando el éxito del proceso. Dichos parámetros optimizados muestran que el factor A influye de manera más significativa que el factor B durante el proceso de microencapsulación, pues a media que la temperatura es mayor se produce una eliminación casi instantánea del agua presente en la emulsión, quedando así el compuesto bioactivo atrapado dentro de la microcápsula.

Palabras clave: microencapsulación, sunfo, secado por aspersion, polifenoles, compuestos bioactivos, eficiencia.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

TITLE: “MICROENCAPSULATION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM THE SUNFO PLANT (*CLIONOPODIUM NUBIGENUM KUNTH KUNTZE*), THROUGH SPRAY DRYING

AUTHOR: Pérez Sánchez Christian Fabián.

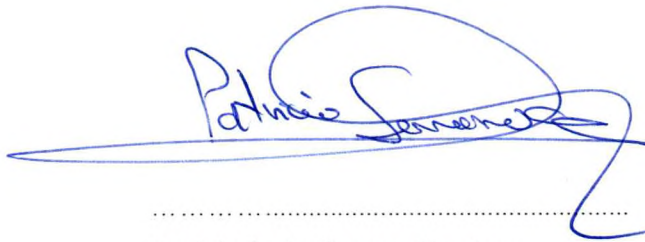
TUTOR: Rojas Molina Jaime Orlando Chemist, Mg.

ABSTRACT

The main objective of this research work was to optimize the microencapsulation process of the phenolic compounds present in the sunfo plant (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*) by spray drying. For this purpose, an experimental response surface design was proposed using the numerical optimization method, with the study factors (A) inlet air temperature (130; 140; 150 °C) and (B) feed flow rate (500; 600; 700ml/h). The materials used as wall material to form the polymeric matrix were gum arabic and maltodextrin. Based on the experimental runs produced by the design, the data for each response variable (% humidity; % yield; % microencapsulation efficiency) were determined, resulting in the microencapsulation process being optimized with an air inlet temperature equal to 150° C and a feed flow rate equal to 500 ml/h, parameters in which a yield of 92.14%, a microencapsulation efficiency of 91.34% and a humidity of 2.14% are obtained, indicating the success of the process. Said optimized parameters show that factor A has a more significant influence than factor B during the microencapsulation process, since as the temperature increases, an almost instantaneous elimination of the water present in the emulsion occurs, thus leaving the bioactive compound trapped inside the microcapsule.

Keywords: microencapsulation, sunfo, spray drying, polyphenols, bioactive compounds, efficiency.

Patricio Javier Serrano Escobar con cédula de identidad número: 1707257083 Master of Arts in TESOL y Traductor Profesional Certificado en el idioma inglés < > español en los Estados Unidos, con Número de Registro de la SENESCYT: SETEC_MDT-3104-CCL-252641; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: “MICROENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE LA PLANTA DE SUNFO (*CLIONOPODIUM NUBIGENUM KUNTH KUNTZE*), MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN” de Pérez Sánchez Christian Fabián aspirante a Magíster en Agroindustrias mención Tecnología de Alimentos



.....
Patricio Javier Serrano Escobar
C.C. 1707257083



Quito, octubre, 05, 2022

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
APROBACIÓN TRIBUNAL	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	vi
RENUNCIA DE DERECHOS.....	vii
AVAL DEL PRESIDENTE.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación.....	5
1.3 Planteamiento del problema.....	6
1.4 Hipótesis.....	7
1.4.1 Hipótesis nula.....	7
1.4.2 Hipótesis alternativa.....	7
1.5 Objetivos de la Investigación.....	8
1.5.1 Objetivo general.....	8
1.5.2 Objetivos específicos.....	8
1.6 Actividades.....	8
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	10
2.1 Descripción del sunfo (<i>Clionopodium nubigenum Kunth Kuntze</i>).....	10
2.2 Descripción taxonómica.....	11
2.3 Compuestos fenólicos y su clasificación.....	12
2.4 Métodos de acción de los antioxidantes.....	13

2.5	Métodos para determinar la capacidad antioxidante.....	14
2.6	Microencapsulación.	14
2.7	Materiales encapsulantes.....	15
2.8	Secado por aspersion.....	16
	CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1	Modalidades de investigación aplicadas.	18
3.2	Tipos de investigación.....	18
3.2.1	Investigación experimental.....	18
3.2.2.	Investigación bibliográfica.	18
3.3	Método de investigación aplicado.....	19
3.3.1	Método Científico.....	19
3.4.	Técnicas de Investigación	19
3.4.1.	Cuantitativa.	19
3.4.2.	Experimental.	19
3.5	Materiales.....	19
3.6	Reactivos.....	20
3.7	Equipos.....	21
3.8	Metodología	21
3.8.1	Tratamiento de la muestra vegetal.....	21
3.8.2	Obtención del extracto vegetal	22
3.8.2.1	Preparación del extracto hidroalcohólico.	22
3.8.3	Análisis de los extractos obtenidos.....	23
3.8.3.1	Humedad.....	23
3.8.3.2	Ensayo de actividad antioxidante	23
3.9	Análisis estadístico.....	24
3.10	Obtención de microcápsulas mediante secado por aspersion	25
3.11	Rendimiento del microencapsulado.	26
3.12	Determinación de polifenoles.	27
	CAPÍTULO IV. APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA	28
4.1	Resultados y discusión.	28
4.1.1	Caracterización fisicoquímica del extracto acuoso de sunfo.....	28

4.1.2 Optimización del proceso de microencapsulación del extracto rico en polifenoles provenientes de la planta de sunfo.....	30
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5.1 CONCLUSIONES	39
5.2 RECOMENDACIONES	40
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
CAPÍTULO VII. ANEXOS	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze</i>	12
Ilustración 2. Mecanismos de acción antioxidante	13

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Superficie de respuesta para el rendimiento de microencapsulación... 33	
Gráfica 2. Superficie de respuesta para el porcentaje de humedad..... 34	
Gráfica 3. Superficie de respuesta para la eficacia de microencapsulación..... 36	
Gráfica 4. Superficie de respuesta para capacidad antioxidante del microencapsulado..... 37	

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Actividad antioxidante	23
Ecuación 2. Rendimiento	26
Ecuación 3. Eficiencia de microencapsulación..... 26	
Ecuación 4. Polifenoles totales	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conjunto de tareas o actividades..... 8	
Tabla 2. Descripción taxonómica de la planta de sunfo..... 11	
Tabla 3. Factores y variables respuesta..... 24	
Tabla 4. Matriz experimental para la microencapsulación de compuestos fenólicos 25	
Tabla 5. Análisis fisicoquímico del extracto..... 28	
Tabla 6. Datos obtenidos para las variables respuesta de microencapsulado. 31	
Tabla 7. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento..... 31	
Tabla 8. Parámetros del modelo codificado para humedad	33
Tabla 9. Parámetros del modelo codificado para la eficacia de microencapsulación 35	
Tabla 10. Parámetros del modelo codificado para la capacidad antioxidante 36	
Tabla 11. Parámetros de microencapsulación optimizados. 38	

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

La gran disponibilidad de especies vegetales ha permitido desde los inicios de la humanidad su uso y aprovechamiento en diversas áreas, principalmente en la alimentación y como una potencial fuente medicinal frente a diversas afecciones en el ser humano. Actualmente a nivel mundial un elevado porcentaje de la población continúa empleando las plantas con fines medicinales para asistir necesidades de salud primaria, debido a la presencia de compuestos con capacidades vasodilatadoras, vasoprotectoras, así como antitrombóticas, antiarteroscleróticas, antiinflamatorias, antiapoptóticas, analgésicas, antimicrobianas, cicatrizantes y principalmente antioxidantes las cuales son las más estudiadas por la comunidad científica. (Navarrete, 2008)

En el reino vegetal se distingue 4 grupos principales con composición bioactiva, entre los que se destacan compuestos de distintas familias químicas, como nitrogenados, compuestos azufrados, compuestos terpénicos y los más estudiados aquellos de composición fenólica. Las sustancias de composición nitrogenada por lo general presentan una alta actividad biológica por lo que pueden conllevar a problemas de toxicidad inclusive en cantidades pequeñas, como por ejemplo la solanina presente en las patatas al ser expuestas al sol. Los compuestos azufrados por su parte se hallan en cantidades mayores en verduras, principalmente cebollas, col y ajos. Y por último tanto los compuestos terpénicos y fenólicos predominan en frutas y varias especies vegetales, en donde están ligadas íntimamente con sus características principales como color, olor y sabores distintivos. (Yunga, 2022)

Un ejemplo son las antocianinas cuyo papel es el brindar coloraciones rojizos-azulados, los flavonoles que brindan ciertas tonalidades amarillentas, por otro lado están compuestos relacionados con el amargor en cítricos como la naringina y el

limoneno, o neohesperidina en naranjas amargas, el aroma por su parte está relacionado con compuestos como el eugenol en plátanos, y una larga lista como aquellos sintetizados a partir de los ácidos hidroxicinámicos susceptibles a sufrir reacciones de oxidación por enzimas de tejidos vegetales dando lugar a coloraciones pardas en los mismos. (Azcona, 2017).

De estos cuatro grupos los compuestos de mayor interés son los fenólicos debido a las características y beneficios que presentan, principalmente su capacidad antioxidante. Los compuestos fenólicos, están presentes principalmente en frutos rojos y cítricos, se los puede dividir en flavonoides, fenilpropanoides (derivados de ácidos hidroxicinámicos, como el cumárico), estilbenoides como el resveratrol y derivados del ácido benzoico como el ácido gálico. De estos compuestos bioactivos, los flavonoides abarcan más de 5.000 sustancias distintas.

Los beneficios de la ingesta de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante son innumerables sin embargo se puede destacar:

- Evitar el estrés oxidativo de las células provocado por radicales libres o especies reactivas de oxígeno y nitrógeno principalmente.
- Prevenir la apoptosis celular provocada por reacciones de oxidación.
- Prevención de sobrepeso y alto poder antiinflamatorio, principalmente los flavonoides presentes en frutos rojos, té negro y vino tinto.
- Prevenir enfermedades degenerativas, problemas del sistema nervioso y enfermedades cardiovasculares.

A nivel nacional el número de especies vegetales cuyas características fitoquímicas las han hecho aptas para su estudio y aprovechamiento por sus altos contenidos de compuestos con principios activos es muy amplio, sin embargo, se evidencia un predominio de las mismas en la región Sierra frente al resto de regiones. Especies como llantén, cedrón, cola de caballo, ortiga, verdolaga, romero, amaranto, diente de león, mashwa, ruda y sunfo son ejemplos dentro de una amplia lista a disposición. (Chasipanta, 2016)

El sunfo (*Clinopodium nubigenum* (Kunth) Kuntze) se ha utilizado desde mucho tiempo atrás en la medicina ancestral gracias a sus potenciales propiedades en

farmacología como: antidisentérica, digestiva, antivomitiva, fortificante, expectorante, antiinflamatorio, antibacterial, antiespasmódica y antioxidante. Así mismo en base a encuestas aplicadas en la provincia de Carchi, comunidad San Cristóbal, indican que el sunfo se utiliza como infusión en el tratamiento de problemas gastrointestinales en un 50%, malestares generales en un 8%, y con el fin de aumentar el calor corporal en un 42%. (Chasipanta, 2016)

En la actualidad se ha logrado identificar más de 70 compuestos bioactivos dispuestos en dicha matriz vegetal, principalmente en su aceite esencial, presentando cada uno de estos, diferentes propiedades farmacológicas como la actividad antiploriferativa del ácido valérico y butírico que se podría aplicar en tratamientos anticancerígenos evitando la multiplicación de células malignas (Chasipanta, 2016)

1.1 Antecedentes.

Para el desarrollo del presente estudio se trabajará bajo la línea de investigación “DESARROLLO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA Y PROCESOS INDUSTRIALES” con la sub línea “INVESTIGACIÓN-INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTOS (Desarrollo de nuevos productos y productos mínimamente procesados, modelación, intensificación y reconversión de industrias, etc.)”

En relación al desarrollo de nuevos productos bajo la modalidad de microencapsulación mediante secado por aspersion se ha llevado a cabo un sinnúmero de estudios, principalmente para el desarrollo de fármacos, sustancias oleosas, probióticos y compuestos bioactivos de origen vegetal.

Tal es el caso del estudio realizado por (Ramos, 2019) en la “Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de col morada (*Brassica oleracea L.*), utilizando etanol y ácido clorhídrico en relación 85:15 como disolventes y goma arábica y maltodextrina como materiales encapsulantes, obteniendo una eficiencia de encapsulación de 90,78 %.

En el estudio “Influencia del proceso de microencapsulación sobre el efecto farmacológico de los lípidos presentes en las semillas de *cucurbita pepo L.*”,

presentado por (López et al., 2010), se muestra también la metodología de secado por aspersion usando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared, concluyendo un incremento notable en la biodisponibilidad a través del tiempo de su extracto lipídico con fines farmacológicos probados en animales.

Así también en relación a la obtención, aplicaciones y tratamientos que se debe realizar a las muestras vegetales previo a la extracción de sus componentes bioactivos se ha identificado varios estudios en donde nos sugieren alternativas viables en esta investigación. Tal es el caso de (Gilardoni et al., 2011), que en su estudio “Phytochemical researches and antimicrobial activity of (*Clinopodium nubigenum* Kunth Kuntze) raw extracts”, menciona que el sunfo es una vía de medicina tradicional en la población indígena principalmente en el pueblo Saraguro, donde se utiliza en infusión para tratar afecciones como gripes, resfríos y dolores estomacales, mientras que la Sierra los pueblos Quechuas utilizan su cocción para mermar problemas urinarios como infecciones e incontinencias, en las provincias de Azuay, Tungurahua y Chimborazo, se utiliza con fines gastronómicos, digestivos, tónicos y como tratamiento para la disentería.

Por otro lado (Lagua, 2017), en su estudio, “Diagnóstico del potencial agroindustrial de sunfo (*Clinopodium nubigenum*) y eneldo (*Anethum graveolens*)”, menciona que “el cultivo más amplio de sunfo dentro del Ecuador se lo realiza principalmente en la provincia del Cañar, gracias a las condiciones ambientales de la región norte del Ecuador que son las más apropiadas para el cultivo de esta esta especie vegetal.

(Caicedo Álvarez & Otavalo Mira, 2011), en su estudio “Determinación de temperatura y tiempo de deshidratación para la elaboración de té de sunfo, (*clinopodium nubigenum kunth Kuntze*)”, menciona que el rango ideal de temperatura para realizar su deshidratación varía entre los 39- 45°C y los 46- 50°C. Además añade que la materia prima para el té puede ser adquirida fácilmente durante cualquier temporada del año en toda la serranía ecuatoriana.

Según (Bayas, 2020), en su investigación “Estudio del perfil fitoquímico y posibles aplicaciones de los extractos alcohólicos, etéreo y acuoso del sunfo (*Clinopodium*

nubigenum kunth kuntze),”menciona que el tiempo óptimo de secado del sunfo con fines industriales es de 24 a 48 horas, pues basado en tratamientos anteriores con tiempos de secado menores el contenido de humedad aun alcanzaba un 10%.

1.2 Justificación.

La abundante presencia de compuestos bioactivos de importancia biológica en la planta de sunfo como flavonoides y taninos que forman parte de los polifenoles y actúan como antioxidantes, terpenos y terpenoides que brindan su olor característico y sabor a la planta, saponinas con acción emoliente, y mucilagos con actividad antiinflamatoria, ha conllevado a que cada vez el estudio de dicho vegetal se extienda, con el fin de aprovechar sus metabolitos secundarios.

El enfoque de esta investigación se basa en optimizar los parámetros de microencapsulación del extracto rico en polifenoles, permitiendo aprovechar los recursos biodisponibles en especie vegetal, mediante una extracción hidroalcohólica, teniendo en cuenta los cuidados necesarios al momento de extraerlos como al momento de procesarlos, pues su biodisponibilidad puede ser fácilmente afectada por mala manipulación física y por reacciones con el medio que lo rodea.

Existen varios métodos para evitar la degradación de compuestos bioactivos de interés, uno de los principales es la microencapsulación mediante secado por aspersión cuyo objetivo principal es el impedir que el compuesto de interés sufra reacciones con otros compuestos, se oxide por factores externos como la luz y oxígeno, además de aislarlo del ambiente. (López, 2010) Se debe mencionar también otras ventajas como por ejemplo, el enmascarar olores y sabores no deseados, aumentar su biodisponibilidad y permitir una liberación controlada en el tiempo del ingrediente activo encapsulado. (Guevara, 2016)

Se han presentado varias técnicas para realizar el proceso de microencapsulación, sin embargo la elección de la más adecuada depende de factores como, propiedades fisicoquímicas tanto del ingrediente activo como del material de pared, la biocompatibilidad de los componentes y degradabilidad esperada, así como costo del proceso. (Guevara, 20016).

Investigaciones realizadas por Guevara (2016), durante la encapsulación de sustancias lipofílicas usando maltodextrina, goma arábica, y almidón modificado muestran un índice de protección más eficaz ante posibles degradaciones, menciona además que dicho proceso va a depender del tipo del material de pared, pH de la emulsión y temperaturas de entrada y salida en el proceso.

1.3 Planteamiento del problema.

El índice de enfermedades degenerativas ha incrementado a nivel mundial debido a los malos hábitos de alimentación, consumo excesivo de comida chatarra y un estilo de vida sedentario. Enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer y pulmonares son las de principal afección en el ser humano. Por tal motivo el consumo de productos naturales de origen vegetal se ha presentado como una alternativa viable para disminuir e incluso anular los efectos adversos de dichas enfermedades, esto debido a la presencia de innumerables compuestos bioactivos como minerales, ácidos grasos y vitaminas, entre muchos otros.

Algunos ejemplos de los beneficios que aporta la ingesta de los compuestos bioactivos de origen vegetal son la mejora de las funciones gastrointestinales, modificación del metabolismo mediante la inducción de enzimas, regulación hormonal, fortalecimiento del sistema inmune, así como el aporte al sistema redox y antioxidante, (Cruz et al., 2013).

En este enfoque el estudio del uso de especies vegetales como una vía nutricional e incluso medicinal, debido a la presencia de varios principios activos con actividad analgésica, antimicrobiana y antioxidante, nos ha permitido conocer beneficios y aplicaciones potenciales en las distintas industrias a nivel mundial, sin embargo hay un sin número de especies vegetales cuyo estudio ha sido muy poco explotado o a su vez nulo, desaprovechando compuestos de interés.

Tal es el caso del sunfo, una planta herbácea presente en los páramos de nuestro país y sus cordilleras, cuyos beneficios van desde actuar como un alimento funcional por sus propiedades intrínsecas, hasta su potencial uso en el sector de la salud gracias a la presencia de compuestos como el ácido valérico, ácido acético,

borneol, ácido butírico, geraniol, además de su alto contenido de polifenoles. (Lagua, 2017).

Por tal motivo es de interés social el estudio, la explotación y el aprovechamiento de los compuestos bioactivos presentes dicha planta, así como la búsqueda de alternativas que permitan proteger y conservar dichos compuestos al extraerlos de su matriz. Gracias a sus características estos pueden ser incluidos como ingrediente principal en la formulación de nuevos productos alimenticios con características funcionales o a su vez ser incluidos en formulaciones farmacéuticas como ingredientes activos.

En este mismo ámbito, la búsqueda de vías funcionales que permitan evitar posibles degradaciones de los compuestos bioactivos presentes en la planta de sunfo, ya sea por oxidación u otros tipos de reacciones no deseadas con el medio que lo rodea, nos ha llevado al desarrollo y optimización de tecnologías como es el caso de la microencapsulación, la cual evita un impacto directo en la calidad y disminución de la vida útil del producto deseado, al mejorar sus propiedades funcionales, estabilidad y por ende su biodisponibilidad del compuesto activo.

1.4 Hipótesis.

1.4.1 Hipótesis nula.

La velocidad de flujo de alimentación y la temperatura de secado no influye directamente en la retención de los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo durante el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión.

1.4.2 Hipótesis alternativa.

La velocidad de flujo de alimentación y la temperatura de secado si influye directamente en la retención de los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo durante el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión.

1.5 Objetivos de la Investigación.

1.5.1 Objetivo general.

- Microencapsular los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersion.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Extraer los compuestos fenólicos de la planta de sunfo mediante extracción hidroalcohólica.
- Optimizar el proceso de microencapsulación de los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo, en función de los factores: temperatura de aire de entrada y velocidad de flujo de alimentación.
- Caracterizar la microcápsula optimizada en función a la humedad, rendimiento, eficiencia de la microencapsulación, y capacidad antioxidante.

1.6 Actividades.

Tabla 1. Conjunto de tareas o actividades.

Objetivo	Actividad (tareas)
<ul style="list-style-type: none">• Extraer los compuestos fenólicos de la planta de sunfo mediante extracción hidroalcohólica.	1. Revisión bibliográfica de los métodos analíticos a aplicarse.
	2. Selección de la metodología para la extracción hidroalcohólica.
	3. Compra de insumos y reactivos.
	4. Obtención y pretratamiento de la muestra vegetal.
	5. Extracción de compuestos fenólicos mediante solventes orgánicos
	6. Análisis fisicoquímicos de extracto obtenido.
<ul style="list-style-type: none">• Optimizar el proceso de microencapsulación de los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo, en función	1. Determinar los porcentajes de humedad para cada muestra del extracto rico en compuestos fenólicos.

a la humedad, rendimiento y eficiencia de la microencapsulación.	2. Relacionar la concentración de compuestos fenólicos presentes en el interior de las microcápsulas y en la superficie al diluir en etanol y en agua respectivamente el microencapsulado.
	3. Determinar la eficiencia de microencapsulación.
<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar la microcápsula optimizada en función a la humedad, rendimiento, eficiencia de la microencapsulación, y capacidad antioxidante. 	1. Determinar los porcentajes de humedad para diferentes muestras de microencapsulado.
	2. Determinar rendimiento y eficiencia de microencapsulación.

Elaborado por: (Pérez C)

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

Existe una amplia variedad de especies vegetales que se caracterizan por sus altos contenidos de diferentes compuestos fitoquímicos, cuyo uso potencial radica principalmente en la industria alimenticia y farmacéutica, en donde las plantas son la fuente principal de materia prima para la obtención de compuestos bioactivos de interés. Compuestos como polifenoles, fitoestrógenos, isoprenoides, ácidos grasos esenciales, y monoterpenos son algunos ejemplos de fitoquímicos de interés. (Guevara, 2016).

2.1 Descripción del sunfo (*Clionopodium nubigenum* Kunth Kuntze).

El sunfo es una planta aromática propia de los Andes de Ecuador, cuyo nombre se atribuye a la forma de su cáliz que se halla dividido en dos partes en forma de labios, presenta flores hermafroditas, con frutos de cuatro aquenios o núculas. Pertenece a la familia Lamiaceae que abarca árboles, arbustos y hierbas, con tallos generalmente cuadrangulares. En el país se han registrado 27 géneros y 219 especies, en donde el 13% son endémicas. (León, 2011).

Su desarrollo y reproducción se da entre los 3200 hasta los 4300 msnm, razón por la cual también se la puede encontrar en países vecinos como Venezuela, Colombia y Perú. Dentro de esta familia podemos encontrar a otras plantas conocidas como el romero, el orégano, la albahaca, menta, mejorana, entre otras. (Chasipanta, 2016).

En nuestro país su distribución se acentúa en todos los pajonales de las provincias de Azuay, Napo, Loja, Chimborazo, Cañar, Cotopaxi, Imbabura, Carchi, Pichincha y Tungurahua.

Según (Gilardoni et al., 2011), en su investigación del perfil químico del aceite esencial del sunfo, menciona que se han logrado identificar alrededor de 70 compuestos distintos, entre los que destacan con una proporción mayoritaria el limoneno, pulegona, isopulegona, piperitenona, p-cimeno, mentofurano, α -copaeno, 1- octen - 3 - il acetado, β -pineno, cuyos compuestos presentan capacidad antimicrobiana frente al desarrollo de *Candida albicans*.

(Ruiz et al., 2010), en su estudio “Composition of the Essential Oils of *Artemisia sodiroi* Hieron., *Siparuna eggersii* Hieron., *Tagetes filifolia* Lag. and *Clinopodium nubigenum* (Kunth) Kuntze from Loja Ecuador”, menciona que en una especie de sunfo proveniente de Loja el acetado de carvacrol es el metabolito secundario mayoritario, cuyo uso tiene potencial actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus*.

2.2 Descripción taxonómica.

Tabla 2. Descripción taxonómica de la planta de sunfo.

Reino	Plantae
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht
Orden	Lamiales Bromhead
Familia	Lamiaceae Martinoc
Genero	<i>Clinopodium</i> L
Especie	<i>C. nubigenum</i>
Nombre científico	<i>Clinopodium nubigenum</i> <i>Kunth Kuntze</i>
Nombre común	Sunfo, sunfillo, surumba

Fuente: (Lagua, 2017)



Ilustración 1 *Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*

Fuente: (Fonseca, 2016)

2.3 Compuestos fenólicos y su clasificación.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios sintetizados y regulados genéticamente por la planta con diferentes fines, actúan como agentes antifúngicos y bactericidas ante una herida de la planta, o a su vez está presente en la coloración característica de cada especie vegetal. Están también relacionados con las características organolépticas de alimentos al actuar como antioxidantes, colorantes y otorgar sus sabores característicos (Bonilla et al., 2022).

La característica más sobresaliente de los compuestos fenólicos es su capacidad antioxidante, pues son muy sensibles a sufrir oxidación y además pueden impedir reacciones de oxidación catalizadas por metales. Al existir la unión de los grupos OH a un anillo bencénico, es posible una interacción entre el doblete del átomo del oxígeno con los electrones del anillo. También pueden actuar como agentes quelantes formando complejos con metales, principalmente los fenoles no flavonoides (Bonilla et al., 2022).

La clasificación de los polifenoles según su estructura química los divide en no flavonoides y flavonoides, los que a su vez presentan subgrupos. En el primer grupo tenemos a los fenoles no carboxílicos y a los ácidos fenoles, mientras que en el grupo de los flavonoides se encuentran: antocianatos, flaonas, flavonolas, flavonoles, flavononoles, taninos condensados y lignanos. (Bonilla et al., 2022).

2.4 Métodos de acción de los antioxidantes.

Los antioxidantes pueden actuar de diferentes formas, incrementando la eliminación de las especies reactivas de oxígeno (ROS), inhibiendo la aparición de dichas especies, y revirtiendo el daño causado por el estrés oxidativo. La eliminación de ROS es el método más conocido y hace referencia a la capacidad de los antioxidantes para estabilizar o apagar especies reactivas del oxígeno (ROS).

Para los radicales libres dicha estabilización se logra mediante la transferencia de un electrón a las ROS, conocido como mecanismo SET (single electron transfer). Como resultado el antioxidante al ceder un electrón queda convertido en radical libre oxidándose en una forma de reactividad baja o nula.

Otro mecanismo es la transferencia de un átomo de hidrógeno (electrón con su protón), conocido como “HAT” (hydrogen atom transfer). Los antioxidantes que presentan los mecanismos SET o HAT son en su mayoría compuestos no enzimáticos, normalmente biosintetizados en nuestro organismo, o que a su vez por ingesta directa. (Huet, 2017)

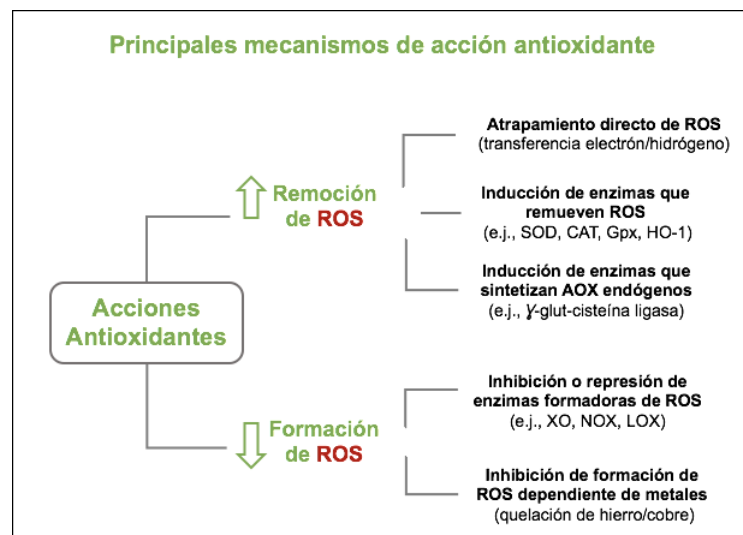


Ilustración 2. Mecanismos de acción antioxidante
Fuente: (Huet, 2017)

2.5 Métodos para determinar la capacidad antioxidante.

Existen diferentes metodologías para medir capacidad antioxidante, entre las más utilizados tenemos: la técnica ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity o Capacidad de absorción de radicales de oxígeno), la cual aplica un método fluorimétrico, posee especificidad alta y responde a varios antioxidantes en muestra de plasma y suero. Sin embargo, el principal inconveniente frente a otras metodologías es su mayor tiempo para cuantificar resultados. (Huet, 2017)

El poder de captación de radicales totales TRAP (Total radical trapping power), es otro método para cuantificar actividad antioxidante de un compuesto. De manera similar a la metodología anterior ORAC, usa un azo-iniciador como AAPH o ABAP para producir radicales peroxilos, midiendo el oxígeno consumido durante la reacción en lugar de la fluorescencia.

El ensayo de transferencia de electrones es la capacidad antioxidante de equivalentes al Trolox TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity). Dicho ensayo aplica espectrofotometría basada en la inhibición por los antioxidantes de la absorbancia del catión radical de ABTS (2,2'azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato), permitiéndonos medir la capacidad antioxidante de un compuesto en función al estándar de trolox. (Prior & Cao, 2018)

El método FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power o Capacidad antioxidante para reducir el ion Férrico) es uno de los ensayos espectrofotométricos más utilizados. Mide el poder que tiene una sustancia para generar la reducción de un complejo formado entre un cromógeno, (2, 4, 6-tripiridil-s-triazina) (TPTZ), y un ión férrico (Fe^{3+}) incoloro a un complejo ferroso (Fe^{2+}). Las ventajas de este método son su bajo costo, baja complejidad y fácil aplicabilidad para antioxidantes no enzimáticos. (Prior & Cao, 2018)

2.6 Microencapsulación.

La microencapsulación consiste en generar finas gotas mediante atomización controlada a partir de una emulsión preparada entre el material a ser encapsulado y la matriz polimérica en una corriente de gas a temperaturas superiores a los $100^{\circ}C$, dando como resultado pequeñas partículas de entre $20\ \mu m$ y $200\ \mu m$ de diámetro.

(López, 2010). Aparece entre los años 1930 y fue desarrollado por primera vez en la elaboración de tintes utilizando gelatina como material encapsulante.

Entre los principales métodos utilizados para generar ingredientes microencapsulados tenemos, secado por aspersion, spray cooling/chilling, expansión de fluido supercrítico, lecho fluidizado, separación por suspensión centrífuga, polimerización en emulsión, evaporación de solvente, separación de fase (coacervación), polimerización interfacial (policondensación), atrapamiento de liposoma, liofilización, gelación, cocrystalización y extrusión.

2.7 Materiales encapsulantes.

Los materiales de pared o polímeros más utilizados en dicho procedimiento son la maltodextrina y la goma arábica, por su capacidad para generar esferas con mayor estabilidad. (Pérez, 2019).

La goma arábica se presenta como un compuesto de coloración blanca, viscosa al paladar y no presenta olor, se disuelve con facilidad por agitación en agua. Está formada por dos fracciones, la primera son cadenas de polisacáridos con escaso material nitrogenado y representa el 70% de la misma, mientras que la segunda fracción posee moléculas de mayor peso molecular con proteínas como parte integral de su estructura.

Entre sus propiedades se presenta como un excelente estabilizador en emulsiones, puede formar capas macromoleculares gruesas coadyuvando una estabilidad estérica. Sus emulsiones se pueden someter a un secado controlado dando lugar a presentaciones en forma de polvo. Presenta también fácil dispersión y liberación de los compuestos encapsulados sin afectar la viscosidad del producto. Gracias a las propiedades mencionadas se ha expandido su uso como un agente encapsulante de elección primaria en la retención y protección de compuestos de interés. (Carpio & Figueroa, 2017)

La maltodextrina por su parte se presenta como un polisacárido, cuyos polímeros de glucosa son derivados de la hidrólisis del almidón, se encuentran unidos por

enlaces glucosídicos α 1,4 y en conjunto representan el contenido de azúcares reductores expresados como equivalente de dextrosa (DE)

Tiene la capacidad de formar películas adhesivas por lo que se emplea en la elaboración de productos secos, caramelizados y golosinas. Se usa también como agentes de relleno, encapsulantes y portadores de aromas, especialmente si se presentan en polvo. (Carpio & Figueroa, 2017)

2.8 Secado por aspersion.

Aunque la cantidad de técnicas disponibles es extensa, la más utilizada en la industria alimenticia y farmacéutica es el secado por aspersion, gracias a sus ventajas como costos bajos y disponibilidad de equipamiento necesario de fácil manejo, transporte y almacenamiento del producto final, así como disponer de una solubilidad instantánea de las microcápsulas. Otras razones para la aplicabilidad del secado por aspersion son:

- Fácil manejo del producto al momento de modificar sus características físicas.
- Aromas y sabores no deseados del compuesto de interés enmascarados.
- Disponibilidad en pequeñas cantidades.
- Aislar el compuesto de interés de factores ambientales.
- Liberación controlada en el tiempo del compuesto de interés.

Este proceso consiste en atomizar ya sea una solución, suspensión o emulsión a través de un lecho de gas caliente, generalmente aire o a su vez un gas inerte como nitrógeno, en el cual se evapora el contenido de agua y en dependencia de la materia prima alimentada y las condiciones de operación se obtiene como resultado un polvo instantáneo en cuyo núcleo se halla presente el compuesto activo.

Las características del microencapsulado resultante depende de: la velocidad de flujo de la solución alimentada, así como su viscosidad; el gas de secado en donde intervienen variables como su temperatura, su flujo y presión; el flujo de las corrientes de aire las cuales pueden ser contracorriente o a su vez paralelas, así como también el tipo de equipo utilizado.

El proceso se considera eficiente cuando el compuesto de interés o el ingrediente activo ha quedado atrapado dentro de la matriz polimérica presentando buena estabilidad frente a una posible degradación o pérdida y por lo tanto biodisponibilidad a través del tiempo, por lo que es de particular interés conocer detalladamente las características físicas y químicas del material a encapsular como aquellas propias del producto deseado.

En dicho proceso se puede evidenciar varias etapas como:

- Atomización.
- Contacto aire caliente – gota.
- Evaporación de agua.
- Separación de producto libre de agua y aire húmedo.

La eficiencia y rendimiento de microencapsulación va a depender de factores como el tamaño de partícula, viscosidad de emulsión, contenido de sólidos en la emulsión, así como, propiedades de los materiales de pared, condiciones de operación del secador como flujo de alimentación, temperatura de aire de entrada y salida.

Al controlar todos los aspectos mencionados el compuesto de interés quedará encerrado dentro de las microcápsulas y se considerará un proceso exitoso. Por otro lado el rendimiento se calcula en función del peso del material inicial alimentado en el equipo y el peso del producto resultante. (López, 2010)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Modalidades de investigación aplicadas.

En esta investigación se trabajará bajo la modalidad de “Informe de investigación experimental”, pues se estudiará la influencia de ciertas modificaciones en las siguientes variables cuantitativas independientes de estudio: velocidad de flujo de alimentación y temperatura de secado durante el proceso de microencapsulación, sobre las variables respuesta: humedad, rendimiento, eficiencia de la microencapsulación, contenido de polifenoles, y capacidad antioxidante.

3.2 Tipos de investigación.

3.2.1 Investigación experimental.

Dicha investigación se basa en el enfoque científico-técnico, el cual depende de las decisiones tomadas por el investigador para llevar a cabo sus experimentos con el fin de controlar, manipular y observar las variables de estudio planteadas (Tapia, 2014). Es así que para esta investigación dichas variables independientes son la velocidad de flujo de alimentación y la temperatura de aire de entrada, con el fin de optimizar el proceso de microencapsulación en función de las variables respuesta ya mencionadas.

3.2.2. Investigación bibliográfica.

Este tipo de investigación permite el acceso a un conocimiento y entendimiento más amplio del tema objetivo, mediante el uso de fuentes como libros, artículos científicos, sitios web, documentales entre otros. Mediante la aplicación de la misma se recolectó información importante sobre: material vegetal y su composición bioactiva, temas relacionados con microencapsulación y sus aplicaciones, así como el uso de paquetes estadísticos, entre muchos otros.

3.3 Método de investigación aplicado.

3.3.1 Método Científico.

Este sistema nos permite generar algún tipo de conocimiento científico mediante comprobación empírica de hechos y fenómenos siguiendo una serie de pasos establecidos. En el mismo se aplica una observación previa con el fin de proponer una hipótesis a comprobar con ayuda de la experimentación (Tapia, 2014).

Mediante este método se dará sustento a la información recopilada durante la investigación bibliográfica expuesta en el anterior apartado, por ejemplo, la caracterización físico-química del sunfo, los rangos para el porcentaje y eficiencia de microencapsulación, entre otros datos basado en investigaciones previas.

3.4. Técnicas de Investigación

3.4.1. Cuantitativa.

Este tipo de técnica nos permite recolectar y analizar datos numéricos obtenidos de diversas fuentes. Es un método ideal para la realizar predicciones, identificar tendencias y promedios con la finalidad de comprobar relaciones entre una diversidad de resultados. Se realiza mediante herramientas matemáticas y estadísticas con la finalidad de cuantificar datos de la investigación. (Tapia, 2014). Por tanto el presente trabajo también se enmarca dentro de este tipo de investigación, pues se hizo uso de paquetes estadísticos y matemáticos que nos permiten generar un análisis de los fenómenos ocurridos durante el proceso de microencapsulación en función de los factores y variables de estudio mencionados.

3.4.2. Experimental.

Esta técnica es utilizada como parte de un experimento, en el estudio de fenómenos, en su mayoría con condiciones de operación controlada con la finalidad de comprobar una hipótesis. En esta investigación se aplica dicha técnica en el control de los factores de estudio: flujo de alimentación y temperatura de entrada de aire al equipo.

3.5 Materiales.

- Material vegetal de la planta de sunfo.

- Material de vidrio PYREX-GLASSCO.
- Toallas de papel.
- Magnetos.
- Papel Aluminio.
- Papel filtro.
- Gradilla.
- Termómetro.
- Guantes.
- Mascarilla.
- Fundas plásticas.
- Estilete.
- Gafas de protección.
- Lienzo.
- Papel filtro.

3.6 Reactivos.

- Etanol grado analítico 99.8%.
- Hipoclorito de sodio 0.1%.
- 2,4,6-tri (2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ, , Sigma-Aldrich, Buchs, Suiza).
- HCl 40mM.
- FeCl₃ 20 mM
- Buffer acetato pH= 3,7
- Sal de Mohr [Fe (NH₄)₂SO₄].
- Reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich).
- Na₂CO₃ al 8.5%
- Goma arábica.
- Maltodextrina.
- Agua destilada.

3.7 Equipos.

- Horno de convección Memmert modelo universal 30.
- Molino de cuchillas INOX-EQUIP.
- Bomba de vacío Rocker-300
- Rota evaporador SHB-III.
- pH metro.
- Balanza de humedad Citizen MB 200.
- Espectrofotómetro UV-VIS
- Balanza analítica Adventurer Pro.
- Homegenizador.
- Mini Spray Dryer BUCHI-B290.
- Computadora Dell Inspiron 15 R.
- Plancha de agitación MULTI-PLACE.
- Refrigerador Indurama.
- Pipeta automática Thermo Scientific, Dinamarca.
- Software estadístico Design Expert 8.0.6 (Stat Inc., Minneapolis, EE.UU).

3.8 Metodología

3.8.1 Tratamiento de la muestra vegetal

La especie vegetal fue recolectada de los páramos de la provincia de Tungurahua, sector Laguna Mula Corral, se trasladó hasta los laboratorios de CAREN pertenecientes a la Universidad Técnica de Cotopaxi para su posterior pretratamiento, extracción de sus compuestos bioactivos y análisis establecidos para su estudio. El peso recolectado fue de 2 Kg.

El material vegetal fue clasificado, lavado y desinfectado con solución de hipoclorito de sodio cuya concentración fue del 0.1%, con la finalidad de retirar posibles impurezas. Posteriormente se colocó dentro de un horno con circulación de aire continuo marca Memmert (modelo universal 30) a 40°C por 48 horas, hasta conseguir un producto con un porcentaje mínimo de humedad lo que facilita la extracción de los compuestos fenólicos.

El material seco resultante fue triturado en un molino de cuchillas INOX-EQUIP hasta obtener un producto pulverizado que provea una mayor superficie de contacto al momento de la extracción hidroalcohólica, obteniéndose una cantidad de material vegetal de 586 gramos. Según (Cardona et al., 2006) el material vegetal seco permite una penetración adecuada del disolvente y al estar en forma de polvo la superficie de contacto es mayor, facilitándose la extracción del material soluble de interés.

3.8.2 Obtención del extracto vegetal

3.8.2.1 Preparación del extracto hidroalcohólico.

El extracto hidroalcohólico se preparó siguiendo la metodología descrita por (Gavilanez, 2020), con la relación material vegetal/disolvente 1:10, es decir 586 g M.V/5.86 litros de etanol.

El producto vegetal pulverizado fue sometido a maceración en etanol grado analítico al 99.8% de pureza durante 24 horas y temperatura de 60°C, con la finalidad de obtener un extracto con la mayor cantidad de compuestos bioactivos, el cual se analizará en función de las siguientes variables cuantitativas: humedad, rendimiento de la extracción y eficacia de microencapsulación.

Según Cardona et al., (2006) se recomienda trabajar a temperaturas entre los 40 °C y 65 °C lo que provee a las sustancias lipofílicas una mayor solubilidad en el disolvente y por lo tanto la extracción de una mayor cantidad los compuestos fitoquímicos.

Transcurridas las 24 horas de maceración se realizó dos filtraciones al extracto, la primera a través de un lienzo con el propósito de eliminar los sólidos en suspensión, y la segunda a través de papel filtro con la ayuda de una bomba de vacío marca Rocker-300, recolectándose un volumen de 5.95 litros.

La disolución obtenida se alimentó en el rota vapor marca SHB-III con circulación de agua constante, agitación de 20 revoluciones por minuto, 55 °C, presión de 0,075 MPA, con la finalidad de eliminar el contenido de etanol mediante destilación a una temperatura inferior de su punto de ebullición igual a 78°C, evitando así la

degradación de los compuestos fenólicos. Obteniéndose un volumen final de 270 ml de extracto concentrado.

3.8.3 Análisis de los extractos obtenidos.

3.8.3.1 Humedad.

Se utilizó una balanza de humedad marca CTIZEN 200, agregando un peso inicial de 10 gramos y verificando la misma hasta obtener un producto libre de agua. Por otra parte los sólidos extraídos (%SST) se calcularon al restar al 100% el porcentaje de humedad anterior.

3.8.3.2 Ensayo de actividad antioxidante

Para cuantificar la actividad antioxidante se utilizó el método FRAP antes descrito, mediante el uso de 0,0078 g del reactivo 2,4,6-tri (2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ, Fluka, Sigma-Aldrich, Buchs, Suiza), disuelto con 2.5 mL de HCl 40mM, seguido se adicionó 2,5 mL de una disolución 20 mM de FeCl₃ y se agrega 25 mL de buffer acetato pH= 3,7. La solución se calentó durante 15 min a 37°C.

En un tubo de ensayo se adicionó 50 µL de etanol al 50 % junto con 50 µL del extracto, agregando 1.5 mL de reactivo FRAP. La solución se dejó en reposo por 30 min a 25°C. Se midió la absorbancia mediante el uso del espectrofotómetro a una longitud de onda de 593 nm y se cuantificó la actividad antioxidante mediante una curva de calibración patrón de Fe²⁺ usando sal de Mohr [Fe (NH₄)₂SO₄], según la ecuación 1 descrita por (Gavilanez, 2020)

$$AT = \frac{\left(\frac{A - a}{b}\right) * V * fd}{P.M} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

AT: Actividad antioxidante total.

A: Absorbancia del extracto.

a: Intercepto de la curva de calibración.

b: Pendiente de la curva de calibración.

V: Volumen del extracto (ml).

fd: Factor de dilución de la muestra

3.9 Análisis estadístico

Para el desarrollo del diseño experimental se utilizó el software estadístico Design Expert 8.0.6 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, EE.UU), mediante el método de optimización numérica de un diseño de superficie respuesta que permite analizar los resultados obtenidos en función de la modificación de los factores de estudio y describir el comportamiento del proceso en función de variación de sus condiciones, estableciéndose así 13 corridas experimentales.

El modelo matemático descrito para el método de superficie respuesta se muestra cómo:

$$Y = \eta + \varepsilon = f(x_1, x_2 \dots x_k) + \varepsilon$$

En donde la respuesta podría expresarse como función de varios factores más un ruido de carácter experimental.

Los factores de estudio planteados fueron: velocidad del flujo de alimentación en el proceso de microencapsulación (500 mL/h; 600 mL/h; 700 mL/h), y temperatura de secado (130 °C; 140 °C; 150 °C), sobre las variables respuesta: humedad, rendimiento y eficiencia de la microencapsulación.

Tabla 3. Factores y variables respuesta

Factores	Unidades
Temperatura de aire de entrada	° C
Velocidad de flujo de alimentación	mL/h
Variables respuesta	-
% humedad	
% rendimiento	
% eficiencia de encapsulación.	

Elaborado por: (Pérez C)

Tabla 4. Matriz experimental para la microencapsulación de compuestos fenólicos

Corrida	Temperatura de entrada de aire (TEA)	Velocidad del flujo de alimentación (VFA)
1	140	500
2	130	700
3	140	600
4	150	600
5	130	500
6	140	600
7	140	700
8	140	600
9	150	500
10	140	600
11	130	600
12	140	600
13	150	700

Elaborado por: (Pérez C)

3.10 Obtención de microcápsulas mediante secado por aspersión

Se realizó la emulsión entre el concentrado rico en compuestos fenólicos, agua destilada, goma arábica y maltodextrina como materiales de pared o matrices poliméricas durante el proceso de microencapsulación. Los polímeros más utilizados durante el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión son la goma arábica y los almidones, debido a su capacidad para crear formas esféricas (Pérez., 2019).

Según Guevara, (2016) el uso de goma arábica, almidón modificado y maltodextrina durante la microencapsulación de sustancias oleosas, provee una protección más eficaz ante cualquier posible degradación.

El proceso de microencapsulación se realizó en el equipo mini Spray Dryer BUCHI-B290, programado con una temperatura de entrada de aire igual a 150°C y

90°C de salida, con un flujo de alimentación de 500 mL/h, en donde se alimentará la emulsión. Al someter la emulsión pulverizada a altas temperaturas con el medio de secado, se evapora instantáneamente el agua y el compuesto de interés queda atrapado dentro del material de pared solidificado, formando así una microcápsula (Moser, 2017).

3.11 Rendimiento del microencapsulado.

El rendimiento fue calculado en porcentaje a partir de la relación entre la masa final de microencapsulado recolectado, sobre la cantidad inicial de sólidos totales alimentados en el equipo. Mediante la ecuación 2 propuesta por (Calero et al., 2008).

$$\% R = \frac{(MC + MCP) - MC}{MT} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

R: rendimiento (% masa/masa).

MC: masa del colector.

MCP: masa del microencapsulados.

MT: masa de sólidos totales alimentados.

El porcentaje de eficiencia de microencapsulación, se calculó mediante la relación entre la concentración de compuestos fenólicos presentes en las microcápsulas y en la superficie, obtenidas al diluir el producto encapsulado en etanol y agua mediante la ecuación 3.

$$E. E = \frac{CA - CE}{CA} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

CA= Concentración de polifenoles en la superficie.

CE= Concentración de polifenoles en las microcápsulas.

3.12 Determinación de polifenoles.

Los polifenoles totales se determinaron mediante la técnica descrita por Slinkard y Singleton (1997), utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu. Para preparar la muestra se realiza una solución a partir de 2,5 ml de solución Folin-Ciocalteu diluida 1:10, 1 gramo del material vegetal pulverizado, se agita y deja reposar durante 5 min. Se añadió 2,5 mL de disolución al 8,5 % (m/v) de Na₂CO₃. Se agita y deja reposar durante 2 horas, se lee la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm, y utilizando ácido gálico como patrón entre 100 y 900 mg/L se determina los fenoles totales expresados como ácido gálico de sunfo, a partir de la ecuación 4 descrita por (Gavilanez, 2020).

$$PT = \frac{\left(\frac{A - a}{b}\right) * V * \frac{fd}{100}}{P.M} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

PT: Polifenoles totales.

A: Absorbancia.

a: Intercepto en la curva de calibración.

b: Pendiente en la curva de calibración.

V: Volumen total del extracto.

fd: Factor de dilución de la muestra.

P.M: Peso de la muestra.

CAPÍTULO IV. APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA

4.1 Resultados y discusión.

4.1.1 Caracterización fisicoquímica del extracto acuoso de sunfo.

Tabla 5. Análisis fisicoquímico del extracto

Parámetro	Resultado
pH	4,54
Sólidos Totales (%)	4,80
Humedad (%)	95,20
Capacidad antioxidante reductor del hierro ($\mu\text{molFe}^{2+}/\text{g}$)	2524,2
Polifenoles (mg/g)	520,43

Elaborado por: (Pérez C)

Los resultados fisicoquímicos de la muestra hidroalcohólica presentan un pH de 4,54 ligeramente ácido. De acuerdo a (Espinosa, 2018) en su estudio “Estandarización fisicoquímica del extracto de caléndula (*Calendula officinalis*)” registra un pH igual a 4,77. El valor obtenido es similar al pH 4.38 que se reporta por (Paula Silva & Martins de Siqueira, 2019) en su estudio “Acción antibacteriana de extractos hidroalcohólicos de (*Rubus urticaefolius*)”.

El parámetro de solidos totales se obtuvo entre diferencias de peso inicial y final en función de la humedad de la muestra, registrando un valor de 4,80% lo que indica una cantidad mínima de sólidos en suspensión. Datos similares de solidos totales de 5,87% son reportados por (Sánchez, 2017) en su Estudio Estandarización Fitoquímica de Ishpink (*Ocotea quixos*) y por (Espinosa, 2018) con un 5.4% de

sólidos en su estudio “Estandarización fisicoquímica del extracto de caléndula (*Calendula officinalis*)”.

El extracto rico en polifenoles presenta una capacidad antioxidante reductora del hierro de 2524,2 ($\mu\text{molFe}^{2+}/\text{g}$), calculada mediante la ecuación 1, lo que indica una protección potencial muy alta frente a radicales libres. Esto debido a la presencia de alrededor de 70 compuestos distintos, entre los que destacan con una proporción mayoritaria el limoneno, pulegona, isopulegona, piperitenona, p-cimeno, mentofurano, α -copaeno, 1-octen-3-il acetado, β -pineno. Dichos resultados se pueden comparar con los expuestos por (Chamba, 2021) donde indican que el extracto acuoso de orégano presento una actividad antioxidante con un valor de 1902,45 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$ muestra.

La característica más destacable en compuestos fenólicos es su propiedad antioxidante la cual protege las células del ser humano de un poder oxidativo provocado por el oxígeno y las especies reactivas del mismo, como radicales hidroxilo, aniones superóxido entre otras especies reactivas del nitrógeno (Londoño, 2018).

El contenido de polifenoles totales fue de 520,43 (mg/g), dicho valor se reporta como mg de ácido gálico equivalente. El valor obtenido es superior en gran medida a datos reportados en varias investigaciones que muestran resultados en diferentes rangos, un ejemplo es el estudio realizado por Sun et al. (2013), el cual reporta 21,17 mg AGE/ g de cáscara del limón especie eureka; así mismo Irkin et al. (2015), reporta 5,35 mg AGE/g de material vegetal seco; Shie y Lay (2013), reporta que el contenido de polifenoles totales varía en función de la especie, en donde el limón flavado y albedo, reportó 50,22 y 50,94 $\mu\text{g AGE}/\text{mg}$ respectivamente.

En base a los datos presentados en dichas investigaciones podemos concluir que la planta de sunfo presenta una cantidad de polifenoles mucho más elevada y por ende una mayor protección antioxidante frente a otras especies vegetales estudiadas.

4.1.2 Optimización del proceso de microencapsulación del extracto rico en polifenoles provenientes de la planta de sunfo.

Con el propósito de determinar el mejor tratamiento en el cual se optimice las variables respuesta (rendimiento; humedad, y eficiencia de microencapsulación), en función de los factores de estudio: (A) Temperatura de aire de entrada y (B) Volumen de flujo de alimentación, durante el proceso de microencapsulación, se realizó un diseño de superficie respuesta mediante el método de optimización numérica el cual nos brinda una combinación de 13 corridas experimentales a ser evaluadas. Tabla 4

En la tabla 6 se muestran los datos obtenidos para cada una de las corridas experimentales con sus respectivas variables respuesta. Se observa que los mejores resultados se dan en el tratamiento 9 con una temperatura de aire de entrada de 150°C y con un volumen de flujo de alimentación de 500 mL/h, en la cual tanto el rendimiento y la eficiencia de microencapsulado presentan los valores más altos con 92,14% y 91,34% respectivamente, y una humedad del 2,14% lo que hace referencia a un proceso de microencapsulación exitoso.

Dichos resultados se puede comparar con los obtenidos por (Chamba, 2021) en su estudio “Desarrollo de un microencapsulado a base de orégano (*Origanum vulgare*, L), mediante secado por aspersion. En el cual se reporta un rendimiento del 95.15%, una eficacia de microencapsulación del 94% y una humedad del 3.15% respectivamente al optimizar sus factores de estudio velocidad de flujo de alimentación y temperatura de aire de secado en 500 mL/h y 150°C respectivamente.

(Pullutasig et al., 2016) en su trabajo de investigación “Microencapsulación de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersion” reporta datos con un rendimiento superior al 70 % y una eficiencia de microencapsulación del $81,16 \pm 0,91$ %.

Tabla 6. Datos obtenidos para las variables respuesta de microencapsulado.

Corrida	TAE	VFA	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Eficacia de microencapsulación (%)	Capacidad antioxidante (uM Fe ²⁺ /g)
1	140	500	91,01	2,9	89,09	620,14
2	130	700	87,14	4,51	83,12	728,45
3	140	600	89,03	3,08	86,26	645,22
4	150	600	91,23	2,49	88,3	600,13
5	130	500	89,67	3,79	87,67	643,24
6	140	600	89,14	3,19	86,34	640,23
7	140	700	88,23	3,73	83,11	695,45
8	140	600	89,06	3,14	86,14	640,41
9	150	500	92,14	2,14	91,34	567,23
10	140	600	89,06	3,35	86,17	645,11
11	130	600	88,01	4,08	85,23	675,45
12	140	600	89,11	3,25	86,23	643,11
13	150	700	89,98	2,69	85,45	640,89

Elaborado por: (Pérez C)

Tabla 7. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento

Se adaptó a un modelo lineal

Indicador	Rendimiento (%)
Intercepto	89,45
X _{TAE}	1,42*
X _{VFA}	-1,25*
R ²	0,9415
R ² ajustado	0,9298
R ² predicho	0,8943
F modelo	80,51**
F falta de ajuste	113,07
Precisión adecuada	30,435

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

**Valor significativo para $p \leq 0,01$.

Elaborado por: (Pérez C)

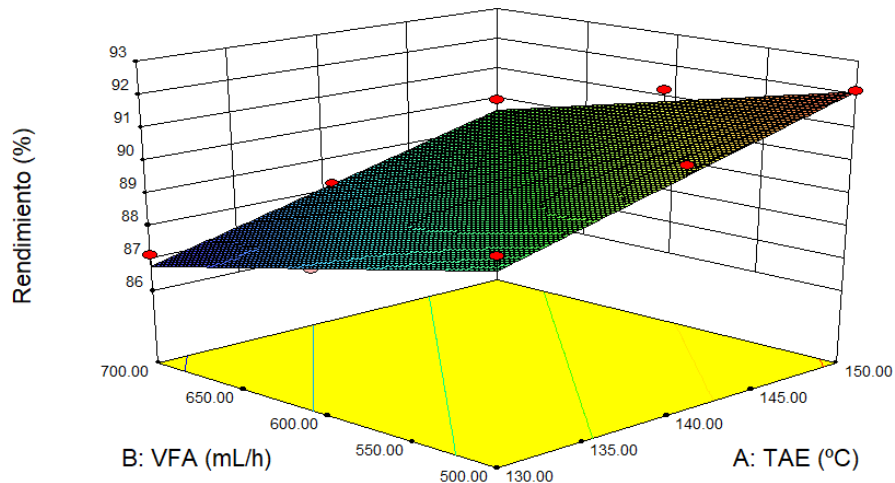
La tabla 7 nos indica el estudio del modelo codificado para el rendimiento, donde el diseño de superficie respuesta nos brinda un modelo matemático que se adapta a una ecuación lineal. Los coeficientes X_{TAE} (temperatura de aire de entrada) y X_{VFA} (velocidad de flujo de alimentación) son significativos, lo que nos indica su influencia directa sobre el rendimiento.

En base a estos resultados se observa una relación directa entre la temperatura de aire de entrada y el rendimiento, es decir que a medida que TAE aumenta el rendimiento también lo hará, debido a que la humedad de la emulsión se eliminará casi de manera instantánea, quedando el compuesto bioactivo dentro del material de pared. Por otro lado, el coeficiente X_{VFA} al presentar signo negativo nos indica una relación inversamente proporcional, es decir que a medida que este disminuye, el rendimiento va a ser mayor.

Sin embargo, la temperatura de aire de entrada al presentar un mayor coeficiente sobre la velocidad de flujo de alimentación va a tener una mayor influencia sobre el rendimiento final del microencapsulado.

El coeficiente de correlación (R^2) indica que el modelo matemático ajustado para nuestro estudio deduce el 0,9415 % de variabilidad en el rendimiento, aceptándose así dicho modelo con un nivel de confianza del 95%.

En estudios realizados por (López, 2010) durante “Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión” se recomienda trabajar con temperaturas de aire de entrada superiores a 150° C, pues el agua se evapora de manera instantánea evitando que las microcápsulas se adquieran a las paredes de la cámara en el equipo y por consiguiente un aumento en el rendimiento y eficiencia de microencapsulado.



Gráfica 1. Superficie de respuesta para el rendimiento de microencapsulación.
Elaborado por: (Pérez C)

En la Gráfica 1 se muestra la interacción en los coeficientes X_{TAE} (temperatura de aire de entrada) y X_{VFA} (velocidad de flujo de alimentación) con el rendimiento de microencapsulación. A medida que la temperatura de entrada de aire va en aumento el rendimiento mejora significativamente hasta un óptimo igual a 150 °C. Caso contrario ocurre con la velocidad de flujo de alimentación, donde mientras más bajo sea este el rendimiento va a mejorar, puesto que a menor cantidad de emulsión inyectada, la transferencia de calor a las microcápsulas aumenta, evitando que estas se adhieran a las paredes de la cámara del equipo, dando como resultado un rendimiento más alto.

Tabla 8. Parámetros del modelo codificado para humedad

Indicador	Humedad(%)
Intercepto	3,26
X_{TAE}	-0,84*
X_{VFA}	0,35*
R^2	0,9812
R^2 ajustado	0,9774
R^2 predicho	0,9700
F modelo	260,51*
F falta de ajuste	0,82
Precisión adecuada	50,704

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

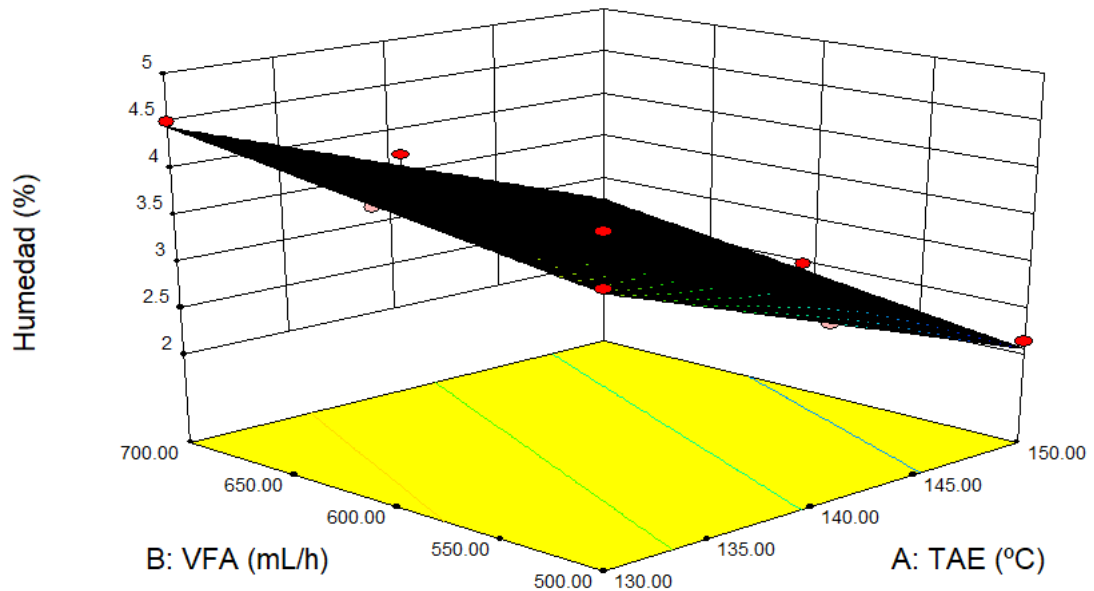
**Valor significativo para $p \leq 0,01$

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

Elaborado por: (Pérez C)

En la tabla 8 se indican datos obtenidos del modelo codificado de humedad, el cual muestra al modelo lineal como significativo con un nivel de confianza del 95,0 %.

El valor de humedad igual a 3,26 % hace referencia al punto en donde los factores de estudio TAE y VFA se optimizan. Los coeficientes $X_{TAE} = -0,84$ y $X_{VFA} = 0,35$ se muestran como factores significativos sobre el porcentaje de humedad del microencapsulado. El coeficiente X_{TAE} al presentar signo negativo indica que a medida que disminuye la temperatura del aire de entrada la humedad aumentara, caso contrario ocurre con X_{VFA} el cual experimenta una relación directa con la humedad.



Gráfica 2. Superficie de respuesta para el porcentaje de humedad.
Elaborado por: (Pérez C)

En función de la gráfica 2 se observa una influencia mayor de la temperatura de aire de entrada sobre el porcentaje de humedad final en el microencapsulado, lo cual se corrobora con el coeficiente $X_{TAE} = -0,84$ presentado en la tabla anterior. Es decir que a medida que la temperatura del proceso disminuye, el agua presente en las microcápsulas atomizadas no se evaporará de manera instantánea. La temperatura para optimizar nuestro proceso de microencapsulación en relación con el porcentaje de humedad se presenta a 150° C.

Tabla 9. Parámetros del modelo codificado para la eficacia de microencapsulación

Se adaptó a un modelo cuadrático

Indicador	Eficacia encapsulamiento (%)
Intercepto	86,19
X_{TAE}	1,51*
X_{VFA}	-2,74*
$X_{TAE} X_{VFA}$	-0,34*
X_{TAE}^2	0,66*
X_{VFA}^2	-0,003*
R^2	0,9956
R^2 ajustado	0,9925
R^2 predicho	0,9617
F modelo	20,10*
F falta de ajuste	12,97
Precisión adecuada	64,309

TAE: temperatura de aire de entrada

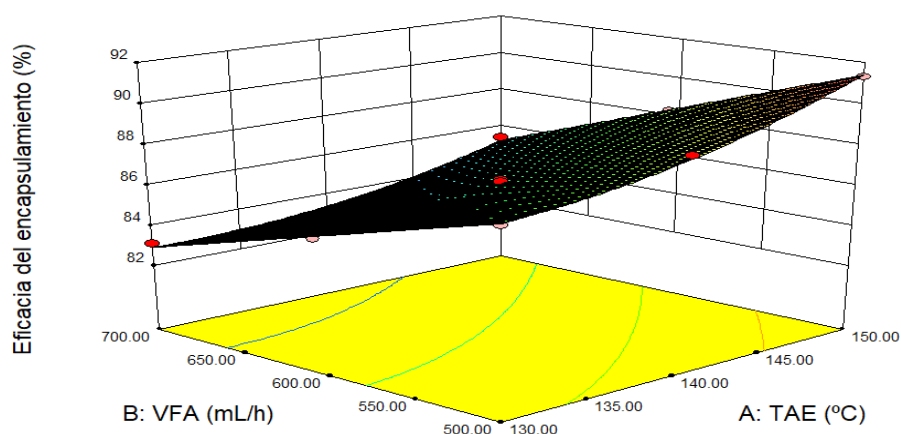
VFA: velocidad de flujo de alimentación

**Valor significativo para $p \leq 0,01$

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

Elaborado por: (Pérez C)

La tabla 9 se muestra los resultados del modelo codificado para estudiar la eficacia de microencapsulación en función de los factores evaluados. De acuerdo a los coeficientes obtenidos podemos identificar que tanto X_{TAE} así como su interacción cuadrática X_{TAE}^2 presentan una influencia significativa directamente proporcional sobre el porcentaje de la eficacia de microencapsulación, lo que indica que a medida que este factor de estudio aumenta la eficacia de encapsulamiento también lo hará. Los coeficientes X_{VFA} , así como la interacción $X_{TAE} X_{VFA}$ y la interacción cuadrática X_{VFA}^2 al presentar signo negativo muestra relación inversa con la eficiencia de microencapsulación, es decir que mientras estas van disminuyendo sus valores la eficiencia aumentará.



Gráfica 3. Superficie de respuesta para la eficacia de microencapsulación.
Elaborado por: (Pérez C)

En la gráfica 3 se muestran la superficie de respuesta para la eficacia de microencapsulación. Los valores optimizados tanto para la temperatura de aire de entrada así como para la velocidad del flujo de alimentación se presentan a 150° C y 500 ml/H respectivamente, en donde se obtiene una eficiencia de microencapsulación del 91.34%, lo que corrobora en base los estudios anteriores que la temperatura es un factor clave, influyendo incluso mayoritariamente que la velocidad de flujo de alimentación durante el proceso.

Tabla 10. Parámetros del modelo codificado para la capacidad antioxidante

Indicador	FRAP ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$)
Intercepto	643,89
X_{TAE}	-39,81*
X_{VFA}	39,03*
$X_{\text{TAE}} X_{\text{VFA}}$	-2,89*
X_{TAE}^2	-8,80*
X_{VFA}^2	11,21*
R^2	0,9956
R^2 ajustado	0,9924
R^2 predicho	0,9728
F modelo	313,28**
F falta de ajuste	3,49
Precisión adecuada	66,475

TAE: temperatura de aire de entrada

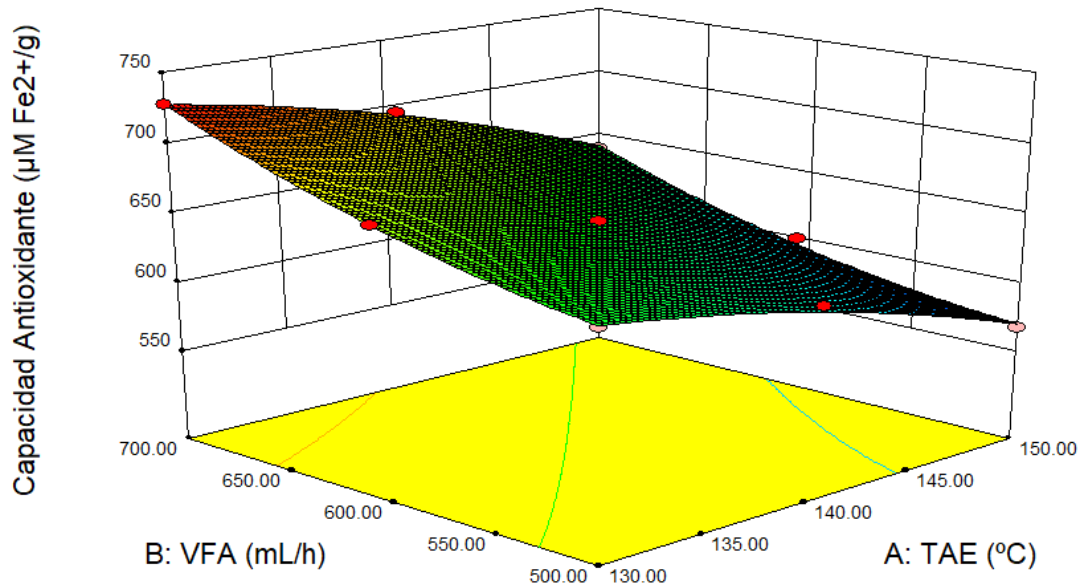
VFA: velocidad de flujo de alimentación

**Valor significativo para $p \leq 0,01$

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

Elaborado por: (Pérez C)

La tabla 10 nos presenta el modelo codificado para la capacidad antioxidante del extracto rico en polifenoles, el cual se ajusta a un modelado cuadrático. Los coeficientes X_{VFA} así como su interacción cuadrática X_{VFA}^2 presentan una influencia significativa directamente proporcional sobre la capacidad antioxidante del extracto, es decir que a mayor volumen de flujo de alimentación la capacidad antioxidante aumentará. Por el contrario los coeficientes X_{TAE} , la interacción $X_{TAE} X_{VFA}$ y la interacción cuadrática X_{TAE}^2 muestran una influencia significativa inversa, por tanto a medida que sus valores disminuyen la capacidad antioxidante aumentará, esto debido a que el compuesto bioactivos presenta características termolábiles.



*Gráfica 4. Superficie de respuesta para capacidad antioxidante del microencapsulado.
Elaborado por: (Pérez C)*

La gráfica 4 de superficie respuesta para capacidad antioxidante muestra valores óptimos para los factores estudiados (TAE; CFA) de 130°C y 700°C respectivamente, corroborando los datos expuestos en la tabla anterior.

Tabla 11. Parámetros de microencapsulación optimizados.

Number	TAE	VFA	Rendimiento	Humedad	Eficacia del microencapsulación	Desirability
1	150.00	500.00	92.1136	2.06359	91.4339	0.998

Elaborado por: (Pérez C)

En la tabla 11 se muestran los factores de estudio planteados para optimizar el proceso de microencapsulación del extracto de sunfo rico en polifenoles, así como las variables respuesta investigadas (rendimiento, humedad y eficacia de microencapsulación). De acuerdo a los datos obtenidos y a los modelos matemáticos planteados para el estudio de las diferentes variables respuesta se presentan los parámetros optimizados con una temperatura de aire de entrada igual a 150° C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 mL/h, parámetros en los cuales se maximizan las variables respuesta con un rendimiento del 92.11%, humedad del 2.06% y con una eficiencia del microencapsulado del 91,34% lo que indica un proceso exitoso de microencapsulación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se microencapsuló los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*) mediante secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared, incrementando de esta manera la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos presentes en el material vegetal.
- Se extrajo los compuestos fenólicos de la planta de sunfo mediante extracción hidroalcohólica, utilizando 5,86 litros de alcohol etílico de grado analítico junto con 586 gramos de material vegetal de sunfo seco pulverizado, lo que facilita el proceso de extracción gracias a una mayor superficie de contacto.
- Se optimizó el proceso de microencapsulación de los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo, en función de los dos factores de estudio: (A) temperatura de aire de entrada y (B) velocidad de flujo de alimentación, cuyos parámetros se optimizaron a 150° C para el factor A y a 500 ml/h para el factor B, en donde las variables respuesta rendimiento y eficiencia de microencapsulación se maximizaron.
- Se caracterizó la microcápsula optimizada, arrojando los siguientes datos de las variables respuesta: humedad del 2,14%, rendimiento del 92,14%, eficiencia de la microencapsulación igual a 91,34%, y capacidad antioxidante 567,23

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar siempre con material vegetal pulverizado, debido a que esto brinda una mayor superficie de contacto con el solvente orgánico, proporcionando una extracción más eficaz y con mayor rendimiento de los compuestos bioactivos de interés.
- Se recomienda ensayar determinaciones de actividad antioxidante *in vivo* al vegetal rico en polifenoles y al producto microencapsulado.
- Se recomienda realizar extracciones con otro tipo de métodos a disposición cuyo uso podría aumentar el rendimiento de los compuestos bioactivos en estudio, como: extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida por microondas, extracción mediante arrastre con vapor, extracción con soxhlet, extracción por ultrasonido.
- Se recomienda realizar estudios que permitan evaluar en el tiempo, la biodisponibilidad del compuesto de interés microencapsulado.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azcona, Á. (2017). Otros componentes bioactivos. *Manual de Nutrición y Dietética*, 102–106.
- Bonilla-Landa, I., Callejas-Linares, J. M., Murillo, E. M. C., Farías, F. R., Guevara-Valencia, M., Monribot-Villanueva, J. L., & Guerrero-Analco, J. A. (2022). Actividad antibacteriana y perfil fenólico del extracto metanólico de las partes aéreas de *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae). *Acta Botanica Mexicana*, (129).
- Illescas Bayas, A. M., & Lovato Armas, C. R. (2020). *Estudio del Perfil Fitoquímico y posibles aplicaciones de los extractos alcohólicos, etéreo y acuoso del Sunfo (clinopodium nubigenum (kunth) kuntze)* (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi UTC.).
- Caicedo Álvarez, E. M., & Otavalo Mira, S. M. (2011). Determinación de temperatura y tiempo de deshidratación para la elaboración de Té de Sunfo, *Clinopodium Nubigenum (kunth) kuntze*.
- Calero, J., Sánchez, Y. F., Torrez, R., Hernann, E., & López., K. (2008). Elaboración y Caracterización de microcápsulas gastroresistentes de Diclofenac obtenidas por Gelificación Iónica. *Universitas (León)*
- Cardona, E. M., Ríos, L. A., & RESTREPO V, G. M. (2006). Extraction of the carotenoid lycopene from chonto tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Vitae*, 13(2), 44-53.
- Carpio Apaza, R. E., & Figueroa Huayllapuma, T. (2017). Efecto de la adición de goma arábica y maltodextrina en el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en extracto de sancayo (*Corryocactus brevistylus*) liofilizado.

- Chamba Quijije, Y. E., & Quispe Tigmasa, S. I. (2021). *Desarrollo de un microencapsulado a base de orégano (*origanum vulgare*, l), mediante secado por aspersión* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Chasipanta Ronquillo, E. C., & Chicaiza Galarza, T. S. (2016). *Evaluación de la actividad antioxidante bioautográfica de 5 variedades de aceites esenciales amazónicos (*Ocotea quixos*; *Psidium guajava*; *Eugenia stipitata*; *Piper auritum*; *Piper imperiale*)* (Bachelor's thesis).
- Pérez Sánchez, C. F. (2019). *Extracción y microencapsulación de licopenos provenientes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*)* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica).
- Cruz Bojórquez, R. M., González Gallego, J., & Sánchez Collado, P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 6-15.
- Fonseca Chasipanta, E. A. (2016). *Evaluación in vitro de la actividad antimicrobiana del aceite esencial de sunfo (*CLINOPODIUM NUBIGENUM (KUNTH) KUNTZE*) frente a patógenos de enfermedades respiratorias (*STAPHYLOCOCCUS AUREUS ATCC: 25923*, *STREPTOCOCCUS PYOGENES ATCC: 19615*, *STREPTOCOCCUS PNEUMONIAE ATCC: 49619* Y *STREPTOCOCCUS MUTANS ATCC: 25175*)* (Bachelor's thesis).
- Gilardoni, G., Malagon, O., Morocho, V., Negri, R., Tosi, S., Guglielminetti, M., ... & Finzi, P. V. (2011). Phytochemical researches and antimicrobial activity of *Clinopodium nubigenum* Kunth (Kuntze) raw extracts. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 21, 850-855.
- Guevara, J. J. L., Fuentes, J. L., González, O. J., & Guevara, L. L. (2016). Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersión. *Rev. Iberoam. las Ciencias Biológicas y Agropecu*, 5(10), 11.
- Huet Breña, C. (2017). Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en muestras biológicas.

- Caguana Laguna, M. A., & Quinaluisa Chamorro, V. E. (2017). *Diagnóstico del potencial agroindustrial de sunfo (Clinopodium nubigenum) y eneldo (Anethum graveolens)* (Bachelor's thesis, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi; Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; Carrera de Ingeniería Agroindustrial).
- Londoño, J. L. (2018). *Antioxidantes : importancia biológica y métodos para medir su actividad*. 129–162.
- López Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381-389.
- López, O. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389.
- Moser, J. (2017). Spray drying technology. *Journal of the Society of Dairy Technology*, 43(1), 5-7
- Martínez-Navarrete, N., Vidal, M. D. M. C., & Lahuerta, J. J. M. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad dietética*, 12(2), 64-68.
- Pacheco, C., & Herrera, R. (2021). Universidad técnica de cotopaxi. In *Universidad técnica de cotopaxi* (Vol. 1). <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>
- Paula Silva, J. D., & Martins de Siqueira, A. (2000). Acción antibacteriana de extractos hidroalcohólicos de *Rubus urticaefolius*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 5(1), 26-29.
- Pullutasig, A. P., López, O. D., Debut, A., Vaca, A., Leyes, E. R., Vicente, R., ... & Hernández, F. T. (2016). Microencapsulación de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 422-437.
- Prior, R. L., & Cao, G. (1999). In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods1. *Free radical biology and medicine*, 27(11-12), 1173-1181.

- Ramos Lalaleo, E. C. (2019). *Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de col morada (Brassica oleracea L.)* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería Bioquímica).
- Ruiz, S., Malagón, O., Zaragoza, T., & Valarezo, E. (2010). Composition of the Essential Oils of *Artemisia sodiroi* Hieron., *Siparuna eggertii* Hieron., *Tagetes filifolia* Lag. and *Clinopodium nubigenum* (Kunth) Kuntze from Loja Ecuador. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 13(6), 676-691.
- León, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., & Navarrete, H. (2011). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador. *Publicaciones Herbario QCA y Pontificia Universidad Católica del Ecuador., Quito.*
- Tapia, J. (2014). Tipos de Investigación. *Divulgare Boletín Científico de La Escuela Superior de Actopan.*
- Yáñez Yunga, L. A. (2022). *Compuestos fenólicos en plantas del Ecuador, revisión de propiedades y beneficios medicinales* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Fotografía 1: Recolección de Sunfo.



Fuente: (Pérez C)

Fotografía 2: Extracto hidroalcohólico.



Fuente: (Pérez C)

Fotografía 3: Determinación de humedad



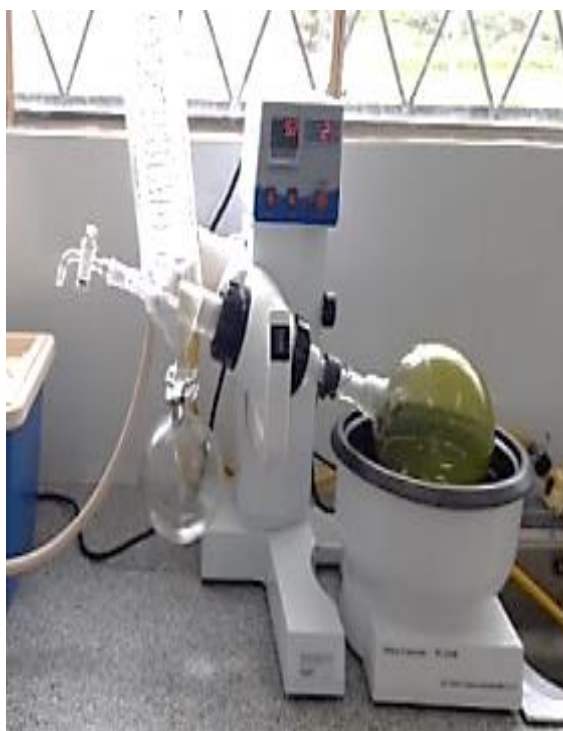
Fuente: (Pérez C)

Fotografía 4: Cálculo de pH



Fuente: (Pérez C)

Fotografía 5: Concentración del extracto vegetal



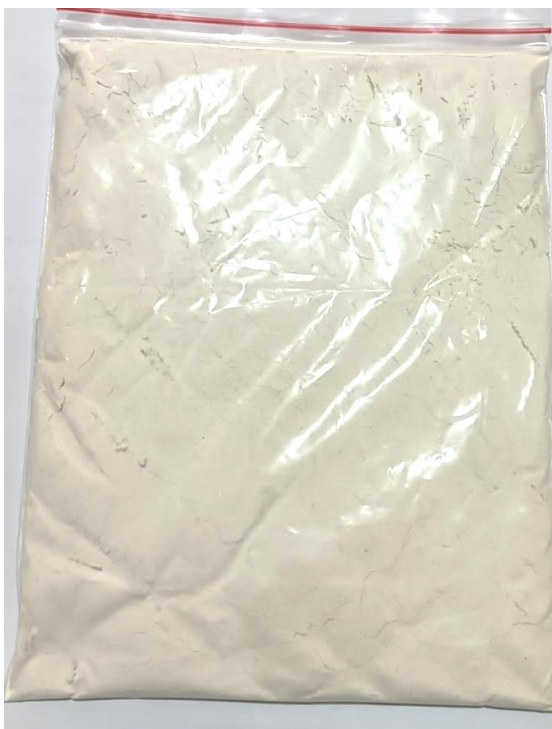
Fuente: (Pérez C)

Fotografía 6: Mini Spray Dryer.



Fuente: (Pérez C)

Fotografía 7: Microencapsulado de sunfo.



Fuente: (Pérez C)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
POSGRADO
MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS
FORMATO VALIDACIÓN DE EXPERTOS

1. Datos de la Propuesta de Investigación:

Autor: Christian Fabián Pérez Sánchez

Título: Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersión

2. Objetivo: Microencapsular los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersión.

3. Identificación del evaluador

Nombres y Apellidos del evaluador: Sandra Elizabeth López Sampedro

Número de cédula o identidad: 0604052498

Título de cuarto Nivel o posgrado: Magister en Farmacia clínica y hospitalaria

Número de Registro Senescyt: 1042-2016-1743707

Institución en la que se encuentra vinculado actualmente: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Teléfonos: 0995755742

Correo electrónico: salopez@esPOCH.edu.ec

4. Evaluación

Marque con una X la opción seleccionada.

Criterio	Excelente	Aceptable	Deficiente
a) El material constituye un aporte válido, vigente y relevante para el área de conocimiento en la cual se inscribe.	X		
b) El material es resultado de un proceso maduro de investigación, su contenido es producto de un desarrollo conceptual completo y del contraste crítico con otras investigaciones afines.	X		
c) Está debidamente estructurado y argumentado (planteamiento del problema, metodología y resultados) en relación con las prácticas de la disciplina a la que pertenece.	X		
d) La originalidad de los aportes y reflexiones del autor le confieren un valor agregado al material.	X		
e) Las referencias bibliográficas cumplen con la exactitud, pertinencia y actualidad requeridas.	X		
f) Es adecuado el título de la obra.	X		
g) La escritura presenta las calidades esperadas para el nivel de formación (apropiada redacción, léxico, ortografía, claridad conceptual, etc.).	X		
h) El material gráfico que acompaña los textos (imágenes de toda índole y tablas) es relevante, clarifica y añade valor en todos los casos.		X	
i) El texto presenta una introducción clara y precisa sobre los objetivos y problemas que se abordan en el documento.	X		

j) La extensión del texto es adecuada en función de la complejidad del tema, los objetivos y el público lector.	X		
k) ¿El texto brinda aportes en cuanto a aplicaciones, propuestas metodológicas, enfoque, y conceptualización?	X		
l) los objetivos planteados por el autor en la introducción se cumplen cabalmente, es decir, hay armonía entre los objetivos propuestos y los resultados obtenidos.	X		
m) Califique la solidez y actualidad de las reflexiones, ideas y/o información presentada en la publicación.	X		

Por favor emita un comentario.

1. TEMPORALIDAD: ¿La propuesta es resultado de un proceso maduro de investigación, lo cual significa, que evidencia una estructura metodológica (problema, metodología y aplicación).

Tanto la parte de marco teórico, aplicación de metodologías y potenciales aplicaciones se encuentran enmarcadas dentro de una búsqueda bibliográfica en relación con el tema expuesto.

2. NORMALIDAD DE CONTENIDO ¿El contenido de la propuesta se estructura y se escribe en forma adecuada para ser entendida y discutida por la comunidad educativa, e investigadores en el tema?

La investigación de encuentra desarrollada dentro de un formato adecuado que permite tener una comprensión clara de su contenido.

3. SELECTIVIDAD: ¿La propuesta se puede considerar un aporte valido y significativo al conocimiento del área en cuestión?

La propuesta está acorde al desarrollo de nuevas tecnologías con la finalidad de aislar compuestos bioactivos presentes en matrices vegetales siendo un aporte al conocimiento del área.

4. ¿Desde el punto de vista del contenido y de la escritura, que ventajas competitivas presenta el texto respecto de otros que circulan en el mercado?

Es el primer trabajo de investigación y desarrollo en aislar y microencapsular compuestos fenólicos a partir de la matriz vegetal sunfo.

5. Impacto. ¿Cuál considera que es el ámbito de su impacto? (Seleccione con una X)

Local	
Regional	
Nacional	
Internacional	X

6. Comentarios y recomendaciones generales para el Autor.

Ninguno



Firma del evaluador

C.I. 0604052498

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

POSGRADO

MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

FORMATO VALIDACIÓN DE USUARIOS

1. Datos de la Propuesta de Investigación:

Autor: Christian Fabián Pérez Sánchez

Título: Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersión

- Objetivo: Microencapsular los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum Kunth Kuntze*), mediante secado por aspersión.

2. Identificación del evaluador

Nombres y Apellidos del evaluador: Jhoana Maricela Tello Tello

Número de cédula o identidad: 0503624561

Título de tercer Nivel: Ingeniera Bioquímica

Número de Registro Senescyt: 1010-2018-1950656

Institucional en la que se encuentra vinculado actualmente: Esencia Nativa

Laboratorio Cosmético. Gerente.

Teléfonos: 0963063959

Correo electrónico: jhoa_tello@hotmail.com

3. Evaluación

Marque con una X la opción seleccionada.

Criterio	Excelente	Aceptable	Deficiente
a) El material constituye un aporte válido, vigente y relevante para el área de conocimiento en la cual se inscribe.	X		

b) El material es resultado de un proceso maduro de investigación, su contenido es producto de un desarrollo conceptual completo y del contraste crítico con otras investigaciones afines.	X		
c) La originalidad de los aportes y reflexiones del autor le confieren un valor agregado al material.	X		
d) Aplicaría usted esta propuesta de investigación con sus usuarios.	X		
e) La escritura presenta las calidades esperadas para el nivel de formación (apropiada redacción, léxico, ortografía, claridad conceptual, etc.).	X		
f) El material gráfico que acompaña los textos (imágenes de toda índole y tablas) es relevante, clarifica y añade valor en todos los casos.	X		
g) Los objetivos planteados por el autor en la introducción se cumplen cabalmente, es decir, hay armonía entre los objetivos propuestos y los resultados obtenidos.	X		
h) Califique la solidez y actualidad de las reflexiones, ideas y/o información presentada en la publicación.	X		
i) La escritura presenta las calidades esperadas para el nivel de formación (apropiada redacción, léxico, ortografía, claridad conceptual, etc.).	X		

Por favor emita un comentario

1. ¿El contenido de la propuesta se estructura y se escribe en forma adecuada para ser entendida y aplicada por la comunidad educativa, e investigadores en el tema?
Se encuentra redactada de forma legible, de comprensión clara.

2. ¿La propuesta se puede considerar un aporte válido y significativo al conocimiento del área en cuestión?

Es un aporte significativo al área de la investigación

3. ¿Desde el punto de vista del contenido y de la escritura, que ventajas competitivas presenta el texto respecto de otros que circulan en el mercado?

La metodología aplicada es de fácil entendimiento y de bajo costo a ser aplicada, además el producto obtenido puede ser usado con ingrediente activo en otros derivados.

4. Impacto. ¿Cuál considera que es el ámbito de su impacto? (Seleccione con una X)

Local	
Regional	
Nacional	
Internacional	X

5. Conclusiones y recomendaciones generales para el Autor

Utilizar métodos para determinar biodisponibilidad del microencapsulado


Firma del evaluador

C.I. 0503624561