



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“MICROENCAPSULACIÓN DE UN EXTRACTO DE ENELDO
(*Anethum graveolens*) MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieros Agroindustriales

Autor:

Pacheco Párraga Claudia Nohelia
Toapanta Quishpe Jefferson Miguel

Tutor:

Rojas Molina Jaime Orlando

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Pacheco Párraga Claudia Nohelia, con cédula de ciudadanía No. 0502735608 y Toapanta Quishpe Jefferson Miguel, con cédula de ciudadanía No. 0504371675, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “Microencapsulación de un extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión”, 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, 31 de agosto del 2022

Claudia Nohelia Pacheco Párraga
Estudiante
CC: 0502735608

Jefferson Miguel Toapanta Quishpe
Estudiante
CC: 0504371675

Quím. Jaime Orlando Rojas Molina, Mg.
Docente Tutor
CC: 0502645435

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CLAUDIA NOHELIA PACHECO PÁRRAGA**, identificada con cédula de ciudadanía **0502735608** de estado civil casada, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustrial, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Microencapsulación de un extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2018 - Marzo 2019

Finalización de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de junio del 2022

Tutor: Químico Mg. Jaime Orlando Rojas Molina

Tema: “Microencapsulación de un extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 31 días del mes de agosto del 2022.

Claudia Nohelia Pacheco Párraga

LA CEDENTE

Ing. Cristian Tinajero Jiménez, Ph.D.

LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **TOAPANTA QUISHPE JEFFERSON MIGUEL** identificado con cédula de ciudadanía 0504371675 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustrial, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Microencapsulación de un extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2018 - Marzo 2019

Finalización de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de junio del 2022

Tutor: Químico Mg. Jaime Orlando Rojas Molina

Tema: “Microencapsulación de un extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 31 días del mes de agosto del 2022.

Jefferson Miguel Toapanta Quishpe
EL CEDENTE

Ing. Cristian Tinajero Jiménez, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“MICROENCAPSULACIÓN DE UN EXTRACTO DE ENELDO (*Anethum graveolens*) MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN” de Pacheco Párraga Claudia Nohelia y Toapanta Quishpe Jefferson Miguel, de la carrera de Agroindustrial, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 31 de agosto del 2022

Quím. Jaime Orlando Rojas Molina, Mg.

DOCENTE TUTOR

CC: 0502645435

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Pacheco Párraga Claudia Nohelia y Toapanta Quishpe Jefferson Miguel, con el título del Proyecto de Investigación: “MICROENCAPSULACIÓN DE UN EXTRACTO DE ENELDO (*Anethum graveolens*) MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 31 de agosto del 2022

Lector 1 (Presidente)

Ing. Edwin Ramiro Cevallos Carvajal, Mg.
CC: 0501864854

Lector 2

Ing. Pablo Gilberto Herrera Soria, Mg.
CC: 0501690259

Lector 3

Ing. Franklin Antonio Molina Borja, Mg.
CC: 0501821433

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación lo he realizado gracias a Dios principalmente y al apoyo de las personas que han creído en mí a lo largo de toda mi formación universitaria, mi madre y padre que siempre han confiado en mí, mi hermana que ha sido mi apoyo constante, no solo en esta, sino en cada una de las etapas de mi vida, mi esposo y mi hija que son la ilusión diaria que me permite motivarme para ser una mejor persona, mi querida universidad por darme la oportunidad de adquirir todos los conocimientos que hoy me permiten plasmar en este proyecto, a todos ustedes GRACIAS.

Claudia Nohelia Pacheco Párraga

AGRADECIMIENTO

En esta tesis que realicé con todo mi esfuerzo, doy gracias a Dios por darme la vida, la capacidad e inteligencia para salir adelante con mi carrera, también agradezco a mis padres por el apoyo que me brindaron y a mis hermanos por el ánimo de seguir adelante y a la motivación más grande que me impulso a ser mejor y terminar mis estudios mi hijo para poder ser un ejemplo para él, gracias por creer en mi e impulsarme a alcanzar mis metas, que esta alegría al culminar mis estudios me permita agradecer cada uno de mis esfuerzos y los que vendrán en una vida diaria.

Jefferson Miguel Toapanta Quishpe

DEDICATORIA

A mi mami, le dedico este trabajo con todo mi amor, por confiar en mí desde siempre, por ser la única persona en el mundo que aun estando en desacuerdo conmigo, puede amarme como si no tuviera defectos, porque siempre voy a agradecerle por darme la vida, y por permitirme entender que el amor no son palabras, sino hechos que nos marcan para toda la vida.

Nohelia

DEDICATORIA

A mis padres Luz y Miguel, a quienes amo profundamente, les dedico esta tesis por haberme brindado su comprensión y apoyo incondicionalmente durante toda mi carrera, por sus consejos que me orientaron a tomar las mejores decisiones y por creer en mí, a mi mayor inspiración mi hijo Thiago quien le hago digno de mi dedicatoria porque es mi mayor ejemplo a ser un excelente profesional.

Jefferson

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “MICROENCAPSULACIÓN DE UN EXTRACTO DE ENELDO (*Anethum graveolens*) MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN”.

AUTORES: Pacheco Párraga Claudia Nohelia
Toapanta Quishpe Jefferson Miguel

RESUMEN

Se elaboró un microencapsulado de extracto de eneldo (*Anethum graveolens*), mediante la operación unitaria de secado por aspersión (Spray drying), utilizando como materiales para la encapsulación maltodextrina y goma arábiga, los mismos que sirven como método de protección de los principios activos de interés, evitando su degradación.

Se preservaron los beneficios del extracto de eneldo, siendo resistentes a factores del medio ambiente, y manteniendo sus características fisicoquímicas. Mediante un previo análisis, se seleccionaron los análisis realizados, los parámetros y metodologías específicos aplicables. De acuerdo a las variables independientes establecidas, temperatura de aire de entrada y velocidad de flujo de alimentación, se realizaron 13 corridas experimentales, con rangos de 130 °C a 150 °C y de 500 ml/h a 700 ml/h respectivamente. Para el diseño experimental se utilizó el programa Design Expert 8.0.6, para facilitar la modelización en base a los datos obtenidos.

Finalmente, se optimiza el proceso donde las mejores condiciones de secado son: TAE de 150 °C y VFA de 500 ml/h. Con estas medidas se expresan los datos óptimos de rendimiento, humedad y eficacia del microencapsulado, siendo estos de 89,23 %, 2,29 % y 88,23 %, respectivamente. Además, la caracterización del microencapsulado permite expresar los resultados para: higroscopicidad 17,32 g/100 g, densidad aparente 0,35 g/ml, densidad compactada 0,62 g/ml, ángulo de reposo de 33,69, solubilidad 62,06 %, índice de Hausner 1,75, índice de Carr 43,02 %, capacidad antioxidante reductor del hierro (FRAP) 678,12 (µM Fe²⁺/g muestra).

Esta información se sustenta con ensayos de laboratorio, y relacionada a su vez con distintas fuentes académicas.

Palabras clave: Microencapsulación, secado por aspersión, eneldo, extractos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “MICROENCAPSULATION OF AN EXTRACT OF DILL (*Anethum graveolens*) BY SPRAY DRYING”

AUTHORS: Pacheco Párraga Claudia Nohelia

Toapanta Quishpe Jefferson Miguel

ABSTRACT

A microencapsulated extract of dill (*Anethum graveolens*) was elaborated, through the unitary operation of spray drying, using maltodextrin and gum arabic as materials for the encapsulation, the same ones that serve as a method of protection of the active principles of interest, preventing its degradation.

The benefits of dill extract were preserved, being resistant to environmental factors, and maintaining its physicochemical characteristics. Through a previous analysis, the analyzes carried out, the parameters and the specific applicable methodologies were selected. According to the established independent variables, inlet air temperature and feed flow rate, 13 experimental runs were carried out, with ranges from 130 °C to 150 °C and from 500 ml/h to 700 ml/h, respectively. For the experimental design, the Design Expert 8.0.6 program was obtained to facilitate modeling based on the data obtained.

Finally, the process is optimized where the best drying conditions are: TAE of 150 °C and VFA of 500 ml/h. With these measurements, the optimal data of yield, humidity and efficiency of the microencapsulation are expressed, these being 89,23 %, 2,29 % and 88,23 %, respectively. In addition, the characterization of the microencapsulation allows expressing the results for: hygroscopicity 17,32 g/100 g, bulk density 0,35 g/ml, compacted density 0,62 g/ml, angle of repose 33,69, solubility 62,06 %, Hausner index 1,75, Carr index 43,02 %, iron-reducing antioxidant capacity (FRAP) 678,12 (µM Fe²⁺/g sample).

This information is supported by laboratory tests, and related in turn to different academic sources.

Keywords: Microencapsulation, spray drying, dill, extracts.

Índice de contenidos

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ix
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	x
AGRADECIMIENTO	xi
AGRADECIMIENTO	xii
DEDICATORIA	xiii
DEDICATORIA	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
Índice de contenidos	xvii
Índice de tablas	xix
Índice de figuras	xx
Información general.....	1
1. Descripción del proyecto	2
2. Justificación del proyecto	2
3. Beneficiarios del proyecto de investigación	3
3.1. Beneficiarios directos	3
3.2. Beneficiarios indirectos	3
4. El problema de investigación.....	3
5. Objetivos	4
5.1. Objetivo General	4
5.2. Objetivo Específicos.....	4
6. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	5
7. Fundamentación científica técnica.....	6
7.1. Antecedentes.....	6

7.2. Fundamentación teórica.....	7
8. Validación de las preguntas científicas o hipótesis	16
9. Metodologías/Diseño Experimental.....	16
9.1. Métodos de investigación.....	16
9.2. Técnicas de investigación.....	18
9.3. Diseño experimental	19
9.4 Materiales y métodos.....	21
10. Análisis y discusión de los resultados.....	33
10.1. Extracción de los componentes bioactivos de eneldo	33
10.2. Caracterización del extracto acuoso de eneldo	33
10.3. Optimización del proceso de microencapsulación del eneldo.....	36
10.4. Caracterización del microencapsulado.	49
11. Impactos (Técnicos, sociales, ambientales o económicos).	57
12. Presupuesto	57
13.1. Conclusiones	59
13.2. Recomendaciones	60

Índice de tablas

Tabla 1: Actividades relacionadas con los objetivos planteados	5
Tabla 2: Taxonomía y origen del eneldo	8
Tabla 3: Composición nutricional del eneldo por 100 gramos	8
Tabla 4: Materiales utilizados en la microencapsulación	11
Tabla 5: Tamaño de las partículas según el proceso de microencapsulación.....	12
Tabla 6: Variables de la investigación.....	19
Tabla 7: Diseño experimental.....	20
Tabla 8: Descripción de las corridas.....	20
Tabla 9: Escala de fluidez respecto al índice de Carr	30
Tabla 10: Rangos del cociente de Hausner	31
Tabla 11: Clasificación de los polvos respecto al ángulo de reposo	31
Tabla 12: Análisis fisicoquímicos del extracto de eneldo	33
Tabla 13: Matriz experimental para la microencapsulación del extracto de eneldo	37
Tabla 14: Descripción de los indicadores y porcentaje de rendimiento	38
Tabla 15: Parámetros del modelo codificado para el contenido para humedad	41
Tabla 16: Parámetros del modelo codificado para el contenido para la eficiencia de encapsulamiento	43
Tabla 17: Parámetros del modelo codificado para la capacidad antioxidante	46
Tabla 18: Optimización del proceso de microencapsulación	48
Tabla 19: Caracterización del polvo del microencapsulado	49
Tabla 20: Condiciones para toma de micrografías de las microcápsulas	54
Tabla 21: Costos para materiales y suministros, reactivos y análisis externos utilizados	58

Índice de figuras

Figura 1: Clasificación de las técnicas de microencapsulación.....	
11	
Figura 2: Morfología de las microcápsulas	12
Figura 3: Secado por aspersion.....	13
Figura 4: Superficie de respuesta para el rendimiento de la microencapsulación.....	39
Figura 5: Superficie de respuesta para la humedad del microencapsulado	42
Figura 6: Superficie de respuesta para la eficiencia del microencapsulado	45
Figura 7: Superficie de respuesta para la capacidad antioxidante del microencapsulado	47
Figura 8: Superficie de respuesta de la deseabilidad del modelo para microencapsulado	48
Figura 9: Micrografías SEM a 750X de la muestra “Eneldo” (MS-22-0396).....	54
Figura 10: Micrografías SEM a 750X de la muestra “Eneldo” (MS-22-0396).....	55
Figura 11: Microcápsula de eneldo maximizada 1000X	56

Información general

Según el Reglamento de Titulación de Grado de la UTC. Plantea un formato con 15 secciones asumidas desde la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, que se detalla a continuación:

Título

Microencapsulación de un extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión.

Lugar de ejecución

- Barrio: Salache Alto
- Parroquia: Eloy Alfaro
- Cantón: Latacunga
- Provincia: Cotopaxi
- Zona: 3
- País: Ecuador

Institución

Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad académica

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Carrera que auspicia

Agroindustria

Nombres de equipo de investigadores

Químico Jaime Orlando Rojas Molina Mg.

Claudia Nohelia Pacheco Párraga

Jefferson Miguel Toapanta Quishpe

Área de conocimiento

Ingeniería, industria y construcción.

Subárea: Industria y construcción

Línea de investigación

Desarrollo y seguridad alimentaria

Procesos industriales

Sub línea de investigación

Optimización de los procesos tecnológicos agroindustriales.

Investigación-innovación y emprendimiento.

1. Descripción del proyecto

Esta investigación se basa en un microencapsulado de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión, se realizaron diferentes procesos, secado de la planta de eneldo, molienda de la planta deshidratada y obtención del polvo, extracción hidroalcohólica y eliminación del disolvente alcohólico del extracto, a fin de realizar la microencapsulación; se realizaron los diferentes análisis pH, sólidos totales, humedad, densidad de la muestra y FRAP. Una vez realizados los procesos previos a la microencapsulación, se utilizó maltodextrina y goma arábiga para la emulsión, la muestra de extracto se envió a los laboratorios de la Universidad Politécnica Nacional para su microencapsulación, la cual se homogeniza previamente. Se determinaron las condiciones exactas para el proceso de secado por aspersión, tomando en cuenta la temperatura de entrada de aire y la velocidad de flujo de alimentación a la máquina, se realizaron los procesos detallados en el diseño experimental utilizado. Se analizó el producto final del microencapsulado de un extracto de eneldo, para dejar un precedente a su posible utilización en la industria alimentaria, aportando con los resultados de su caracterización. Adicionalmente, se reconoció bajo qué condiciones se permite una mayor eficiencia y rendimiento al microencapsular un extracto de eneldo.

2. Justificación del proyecto

La microencapsulación es un método utilizado desde hace algunos años en la industria de alimentos, tiene como objetivo mantener las características de los compuestos bioactivos de plantas ya sean sólidos, líquidos o gaseosos. Esta tecnología utiliza nuevos biomateriales que ayudan a liberar sus contenidos a velocidades controladas en condiciones específicas, el encapsulado evita la reacción de oxidación debido a la luz o al oxígeno, por otro lado, también evita las pérdidas de los diferentes componentes como la proteína, grasa, ceniza, fibra dietética y minerales que tiene el eneldo (*Anethum graveolens*) (Hernández et al., 2016).

La planta del eneldo pertenece a la familia de las Apiáceas de nombre científico *Anethum graveolens*, se caracteriza por el sabor y sus semillas cuya forma es diferente, puede alcanzar más de un metro de altura, las flores son pequeñas de color amarillo verdoso, el aroma de la semilla es suave algo alcanforado y moderadamente amargo, las hojas tienen un aroma ligero y algo dulzón, con un toque a limón, presente en el aceite esencial (Ochoa, 2020).

Los extractos acuosos del eneldo (*Anethum graveolens*) mostraron una actividad antibacteriana, también se han aislado dos flavonoides de la semilla como la quercetina e isoharmentina, se

aprovecha de sus hojas y semillas que son utilizadas como aromatizante, conservante y saborizante en la industria alimentaria debido a sus potentes propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Paredes, 2022).

La innovación de la tecnología dentro de la industria alimentaria busca una solución técnica para optimizar la preservación de ingredientes activos en materias primas y alimentos durante su procesamiento y almacenamiento, evitando la pérdida nutricional e incorporando mecanismos dentro de la formulación, este método presenta otras aplicaciones de gran interés en diversos sectores. Las aplicaciones del micro encapsulamiento han incrementado ampliamente ya que otorga estabilidad y durabilidad de los alimentos aplicados (Parzanese, 2018).

3. Beneficiarios del proyecto de investigación

3.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos serían los pobladores de la Parroquia 11 de Noviembre, en donde se ha estimado aproximadamente un total de 10 familias dedicadas a cultivar cantidades pequeñas de eneldo, en conjunto con otras especies vegetales, los cuales podrían potenciar su producción gracias a un mayor uso del eneldo en la producción agroindustrial, esta información se ha recabado directamente en el GAD municipal del cantón Latacunga.

3.2. Beneficiarios indirectos

Dentro de los beneficios, se consideran: actividad antimicrobiana, antifúngica y antioxidante; esto implica que se beneficiaría la industria alimentaria. El principal aporte se da a los estudiantes de la Carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi, debido a que dicho proyecto de investigación servirá de base teórica para utilizar el microencapsulado de extracto de eneldo en la conservación de alimentos gracias a sus propiedades.

4. El problema de investigación

Existe una cantidad importante de especies vegetales en el mundo, y se continúan descubriendo nuevos ejemplares. Los usos que se le dan a las plantas varían de acuerdo a sus propiedades y aplicaciones posibles, es aquí donde se toman en cuenta las plantas con principios activos, medicinales o tradicionales. Según la página oficial del Kew Gardens de Londres, en el informe sobre el estado de las plantas en el mundo (2017), se presume una cantidad de al menos 28 187 especies de plantas medicinales, sin embargo, este es un número bastante conservador y a su vez la cantidad total no se ha determinado, por ende, su uso no es aprovechado ampliamente ya que no hay documentación que las avale. A medida que transcurre el tiempo se espera investigar

más especies de acuerdo a sus propiedades, el desconocimiento de sus posibles usos en la agroindustria y farmacéutica dificulta enormemente su aprovechamiento. Es aquí donde se ha encontrado la problemática, no solo se desconocen sus principios activos, sino la forma correcta de conservar las propiedades que estas plantas proveen, y a la par su aporte a la Agroindustria. De acuerdo al Programa de Medicina Tradicional de la Organización Mundial de la Salud, en su aporte *Medicina Tradicional*, habla acerca de dos estrategias que se pueden llevar a cabo en el desarrollo agroindustrial: la primera hace referencia al uso de tecnologías de la industria para el cultivo y transformación de las plantas medicinales; y la segunda, el desarrollo y mantenimiento de un sistema de distribución de plantas y semillas a gran escala. Esto permitirá no solo beneficiar la economía local, sino también su capacidad investigativa y manejo de información, a fin de mejorar procesos, productos y obtener mayores beneficios (OMS, 1993).

Es importante determinar cuáles son las características físico-químicas del microencapsulado, y garantizar la obtención de un producto final con propiedades beneficiosas para su aplicación, la caracterización del extracto de eneldo (*Anethum graveolens*), se ha estado analizando a través del tiempo. Sin embargo, debido a la gran variabilidad existente en las metodologías para la extracción de sus principios activos, se dificulta determinar el contenido total de aceite esencial, pues el mismo varía de acuerdo a la metodología utilizada en su extracción, y también respecto a factores de ubicación geográfica de la planta, el medio ambiente en el que se ha desarrollado, en qué momento de su etapa de crecimiento se recolecta, y la variedad de la especie de la planta; las condiciones de crecimiento, por ejemplo, se puede dar como cultivo orgánico e inorgánico, esto lo explica, Ozliman et al. (2021), en su estudio sobre la caracterización de distintos cultivos de eneldo.

La microencapsulación del extracto de eneldo se realiza para proteger, preservar o salvaguardar sus principios activos. De acuerdo a Teyarani et al. (2016), se puede determinar que el eneldo tiene propiedades antimicrobianas, anti fúngicas y antioxidantes.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Desarrollar el microencapsulado de eneldo (*Anethum graveolens*), mediante secado por aspersión.

5.2. Objetivo Específicos

- Extraer compuestos bioactivos de la planta de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante disolvente hidroalcohólico.

- Caracterizar el extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante ensayos fisicoquímicos.
- Optimizar el proceso de microencapsulación (*Anethum graveolens*) en función al rendimiento, humedad y eficacia del encapsulamiento.
- Caracterizar el microencapsulado de eneldo mediante propiedades fisicoquímicas.

6. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

Tabla 1

Actividades relacionadas con los objetivos planteados

OBJETIVO	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	FUENTES DE VERIFICACIÓN
Objetivo específico 1. Extraer los compuestos bioactivos de la planta de eneldo (<i>Anethum graveolens</i>) mediante disolvente hidroalcohólicos.	Obtención de la planta. Secado de la planta. Molienda de la planta. Extracción hidroalcohólica de la planta. Eliminación del disolvente alcohólico del extracto.	La recopilación en una solución de extractos hidroalcohólicos de los compuestos bioactivos del eneldo.	Polvo obtenido de la molienda del eneldo deshidratado. Extracto hidroalcohólico del eneldo.
Objetivo específico 2. Caracterizar el extracto de eneldo (<i>Anethum graveolens</i>) mediante ensayos fisicoquímicos.	Desarrollo de ensayos físico-químicos al extracto acuoso del eneldo (Determinación de: pH, sólidos totales, humedad, FRAP).	Obtención de las propiedades fisicoquímicas del extracto acuoso y caracterización de las especies químicas presentes.	Información sobre los resultados obtenidos en las determinaciones, archivos fotográficos.
Objetivo específico 3. Optimizar el proceso de microencapsulación	Preparación de una mezcla homogénea a base de extracto acuoso de eneldo (<i>Anethum</i>	Obtención de microencapsulados de eneldo	Polvo obtenido del proceso de microencapsulación.

<p>n del eneldo (<i>Anethum graveolens</i>) en función al rendimiento, humedad y eficacia del encapsulamiento.</p>	<p><i>graveolens</i>), con maltodextrina y goma arábica.</p> <p>Secado por aspersión de la mezcla homogénea, controlado las condiciones establecidas en el diseño experimental.</p> <p>Determinación de las variables de respuesta (humedad, rendimiento y eficacia de los microencapsulados).</p> <p>Almacenamiento de los polvos en un lugar fresco y seco.</p>	<p>(<i>Anethum graveolens</i>)</p>	
<p>Objetivo Específico 4. Caracterizar el microencapsulado de eneldo mediante propiedades fisicoquímicas.</p>	<p>Caracterización del producto final de la microencapsulación polvos obtenidos.</p> <p>Determinación de pH, ST, humedad, CP, CA (FRAP), rendimiento, solubilidad, densidad aparente y compactada, higroscopía, índice de Carr y Hausner.</p>	<p>Resultados de la caracterización de los polvos.</p>	<p>Resultados obtenidos de las distintas determinaciones realizadas a partir del microencapsulado, archivos fotográficos.</p>

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

7. Fundamentación científica técnica

7.1. Antecedentes

El extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) se ha investigado con gran interés debido a sus propiedades, y beneficiarse de estos en la industria agroalimentaria, a partir del correcto tratamiento del extracto, permitiendo así conservar sus principios activos. Así, se recomienda por el autor utilizar el extracto de eneldo (*Anethum graveolens*), a través de la tecnología del

microencapsulado, para extender el período que puede servir un alimento, se mencionan productos cárnicos, frutas y hortalizas como ejemplo (Silva, 2022).

En la investigación de Di Pascua et al. (2006), se expresa que diversos estudios han comprobado que dentro del aceite esencial de eneldo se encuentra limoneno, dihidrocarvona, carvona, carvacrol, a-felandreno, apiol y p-cymen, estas sustancias son antimicrobianas. Al microencapsular estos componentes, se resguardan sus propiedades, y se puede usar posteriormente como inhibidores del crecimiento microbiano, permitiendo prolongar la vida útil de distintos productos, en el caso de la carne de trucha se ha comprobado que inhibe el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, coliformes y hongos que podrían afectar la misma.

Existe información relevante sobre el aporte del extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) a la industria alimentaria, y el microencapsulado es el método óptimo para conservar sus propiedades, gracias a materiales encapsulantes como la maltodextrina que es un polisacárido de excelente aplicación, en relación costo beneficio. Sus características físicas en cuanto a color y olor son nulas a altas concentraciones. Otra de sus ventajas, es que permite formar polvos de flujo libre (García et al., 2004).

7.2. Fundamentación teórica

7.2.1. El eneldo.

Hay diversos estudios acerca de esta planta aromática perteneciente a la familia de las umbelíferas, su origen tiene lugar en Asia y el Mediterráneo oriental: egipcios, griegos y romanos la utilizaban frecuentemente como planta medicinal debido a sus cualidades calmantes y antioxidantes. Actualmente se han determinado los beneficios que sus principios activos aportan, dentro de estas están el alivio a dolores estomacales, posee cualidades carminativas, es eficaz para los catarros y mitigar las infecciones, además se dice que tiene propiedades depurativas y ayuda a eliminar las toxinas del cuerpo (Rueda, 2020).

7.2.2. Descripción general.

El eneldo es una hierba alta de follaje fino semejante a plumas. Su color varía entre el verde oscuro y el verde azulado. A mediados del verano el eneldo produce ramificaciones grandes y planas con flores amarillas y semillas que se cosechan para usos culinarios (University of Illinois Extension, s.f.).

A continuación, la Tabla 2 contiene la información taxonómica del eneldo:

Tabla 2*Taxonomía y origen del eneldo*

Familia	Umbeliferae
Género	<i>Anethum</i>
Especie	<i>A graveolens</i>
Nombre científico	<i>Anethum graveolens</i>
Nombre común	Eneldo Anega Aneldo Hinojo hediondo

Nota: Datos tomados de Infoagro (2016).

Esta planta es anual, herbácea, con un tamaño entre 25-50 cm., verdosa, lisa, con raíz pivotante y olor pestilente. Sus tallos son frágiles, con rayas verdes, blancas y ranura, pueden alcanzar un tamaño de un metro. Las hojas son tritetrápinatisectas, se dividen en lacinias filiformes y mucronadas, el color generalmente es verde oscuro, y en cuanto al sabor se asemeja al del perejil. Sus flores tienen coloración amarilla y se agrupan en umbrales de 15-30 radios, de diversos tamaños, no tienen bractéolas ni brácteas (Infoagro, 2016).

7.2.3. Composición del eneldo.

La composición nutricional del eneldo se presenta a continuación en la Tabla 3, la cantidad de fibra es relevante y también el calcio que contiene, tiene vitaminas C y B, entre otros valores.

Tabla 3*Composición nutricional del eneldo por 100 gramos*

Composición	Cantidad
Calorías	43 calorías
Carbohidratos	7 g
Proteínas	3,46 g
Fibra	21 g
Vitamina C	85 mg
Vitamina B	31,5 mg
Calcio	208 mg

Nota: Fuente Penelo (2018).

7.2.4. Extracto hidroalcohólico.

Al realizar una extracción hidroalcohólica, se pueden emplear muestras secas o frescas, las cuales se deben preparar previamente, además se puede realizar la maceración con agitación o sin ella. Básicamente se deja en contacto la muestra vegetal con el etanol, se puede realizar a distintas condiciones de tiempo y temperatura, debe quedar en claro que de acuerdo a las

variables a que se someta la maceración, se obtendrá también diferencias en el rendimiento del extracto obtenido (Benítez et al., 2019).

7.2.5. Maltodextrina.

La maltodextrina, de acuerdo a la FDA, es un polisacárido nutritivo no dulce que consta de unidades de D-glucosa unidas principalmente por enlaces α -1-4 y que tiene un equivalente de dextrosa (D.E.) de menos de 20. Se prepara como un polvo blanco o solución concentrada por hidrólisis parcial de almidón de maíz, almidón de patata o almidón de arroz con ácidos y enzimas seguros y adecuados (Food and Drug Administration, 2022).

7.2.6. Goma arábiga.

La goma arábiga, utilizada principalmente en la industria alimentaria, es un producto natural derivado de la savia endurecida de algunos tipos de acacia, que se recolectan en la región africana del Sahel (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, 2018).

7.2.7. Capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante permite conocer que tan bueno es un alimento, es decir, permite reconocer su calidad, cuantificar los antioxidantes que contiene un sistema. En este aspecto, las distintas técnicas que se pueden emplear consienten en determinar el efecto viable de los componentes antioxidantes de un alimento, lo cual minimiza la reacción de la oxidación (Benítez et al., 2020).

Los antioxidantes son elementos capaces de evitar la oxidación de moléculas, actúan como enemigos de los radicales libres y diversas especies reactivas al oxígeno, al existir diversas afecciones hacia los seres humanos a partir de distintas enfermedades, los antioxidantes ayudan a mitigar o limitar el avance de las mismas, contribuyendo así a la salud de los seres humanos (Sun y Johnson, 2015).

El CAT según sus siglas, es la capacidad antioxidante total, misma que se puede definir como la capacidad que tiene un compuesto para evitar o retardar la oxidación, incluso en cantidades ínfimas de una sustancia (López y Denicolab, 2013).

7.2.8. Microencapsulación.

Esta tecnología se basa en crear una capa protectora delgada con material resistente, para preservar partículas sensibles. Dicho método es de interés en la industria alimentaria, permite potenciar la estabilidad, y proveer una mejor liberación de aditivos, dentro de los cuales se podrían mencionar: enzimas, colorantes, nutrientes, potenciadores de sabor, preservantes y

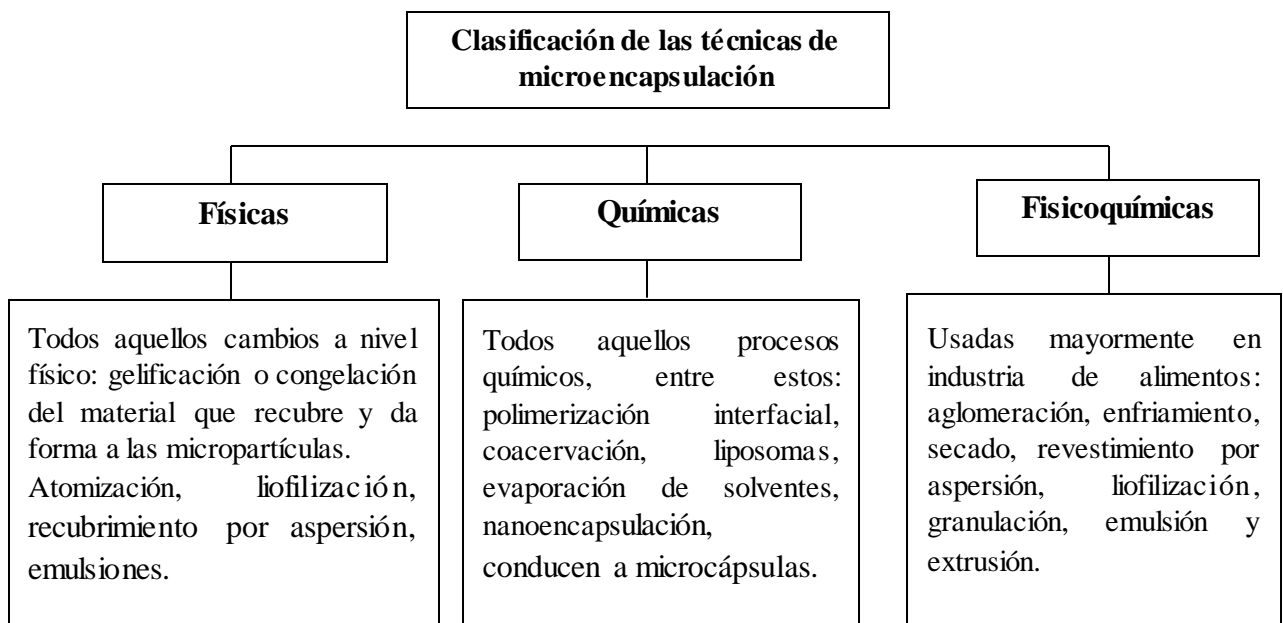
también microorganismos. Por ejemplo, al microencapsular colorantes de uso alimentario, su finalidad es la de proteger la tonalidad que proporcionan de los agentes del entorno como temperatura, humedad y luz, evitando además su oxidación, otorgando estabilidad en el proceso de producción y mejorando el período de conservación (Ribeiro y Veloso, 2021).

Las técnicas de microencapsulación, se pueden realizar en función de la formación de micropartículas. Cada una de las técnicas empleadas sigue un método específico, permitiendo la formación de partículas con características propias respecto a los materiales utilizados, tamaños de partículas, la cantidad de material a microencapsular que pueda contener la cápsula, formas y el valor monetario que implique su creación. En general las diversas técnicas tienen aspectos positivos y negativos, cada factor a considerar es importante para lograr mejorar el rendimiento en el microencapsulado. Por ejemplo, la dimensión de la partícula y su forma son importantes para obtener determinadas características de liberación, reología, resguardo, núcleo carga y la uniformidad del producto (Arenas et al., 2020).

7.2.8.1. Técnicas de la microencapsulación.

A través de la Figura 1, se explica la clasificación de las técnicas de microencapsulación, las cuales se clasifican en tres grupos, las físicas, químicas y fisicoquímicas.

Figura 1
Clasificación de las técnicas de microencapsulación



Nota: Datos tomados de Arenas et al. (2020).

7.2.8.2. *Materiales utilizados en la microencapsulación.*

Se muestra en la Tabla 4 los materiales que se pueden utilizar, como su proveniencia, las propiedades que tienen y las técnicas en las que se puede gozar de su aplicación.

Tabla 4

Materiales utilizados en la microencapsulación

Materiales de recubrimiento	Fuentes	Propiedades	Técnicas a utilizar
Gomas	Goma arábica, alginato de sodio, carragenina.	Forma geles elásticos blandos, poca resistencia a tracción.	Extrusión, separación de fases, secado por aspersion, coacervación, emulsificación
Carbohidratos	Almidón, dextrano, sacarosa, maltodextrina.	Hidrocoloidal, resistencia a la tracción más alta que las gomas.	Secado por aspersion, recubrimiento en lecho fluidizado, extrusión, liofilización.
Proteínas	Gelatina, albúmina.	Capacidad de emulsificación, gelificación, formación de espuma y retención de agua.	Secado por aspersion, extrusión, coacervación, emulsificación por liofilización.
Lípidos	Cera de abejas, ácido esteárico, fosfolípidos	Propiedades plastificantes, buena barrera a los gases y vapor de agua.	Recubrimiento en lecho fluidizado, enfriamiento/enfriamiento por aspersion, extrusión.
Celulosas y sus derivados	Células vegetales.	Hidrófilo, buena formación de película y actividad superficial.	Secado aspersion, extrusión, emulsificación. Coacervación
Quitosano	Conchas de crustáceos.	Buena barrera a los gases y al vapor de agua.	Secado por aspersion, coacervación, emulsificación.

Nota: Datos tomados de Choudhury et al. (2021).

7.2.8.3 Morfología y tipos de las microcápsulas.

Se presenta la Tabla 5 para especificar el tamaño de las microcápsulas de acuerdo al método de microencapsulación empleado.

Tabla 5

Tamaño de las partículas según el proceso de microencapsulación

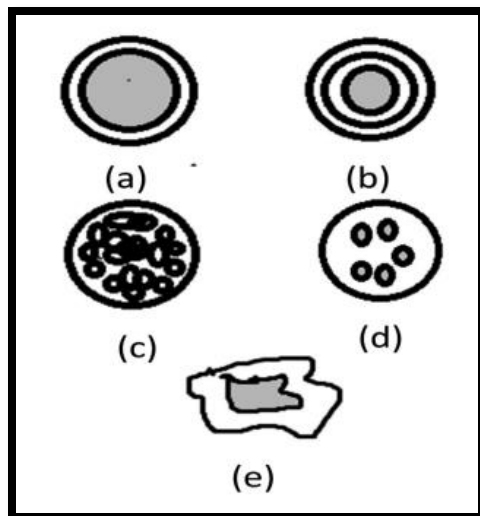
Proceso de microencapsulación	Tamaño aproximado de la partícula (μm)
Secado por aspersión	5-5000
Extrusión	250-2500
Coacervación	2-1200
Recubrimiento de lecho fluidizado	20-1500
Separación de fases	0,5-1000
Disco giratorio	5-1500
Evaporación de solvente	0,5-1000
Encapsulación sólido-gel	2-20
Capa por capa (LBL)	0,02-20

Nota: Datos tomados de Choudhury et al. (2021).

En la Figura 2, se aprecian las formas que se podrían presentar en las esferas provenientes de la microencapsulación. penetrado la membrana que las recubre.

Figura 2

Morfología de las microcápsulas



Nota: Las distintas formas de microcápsulas: (a) monocapa; (b) multicapa; (c) matriz; (d) multinúcleo; (e) irregular. Fuente: Choudhury et al. (2021).

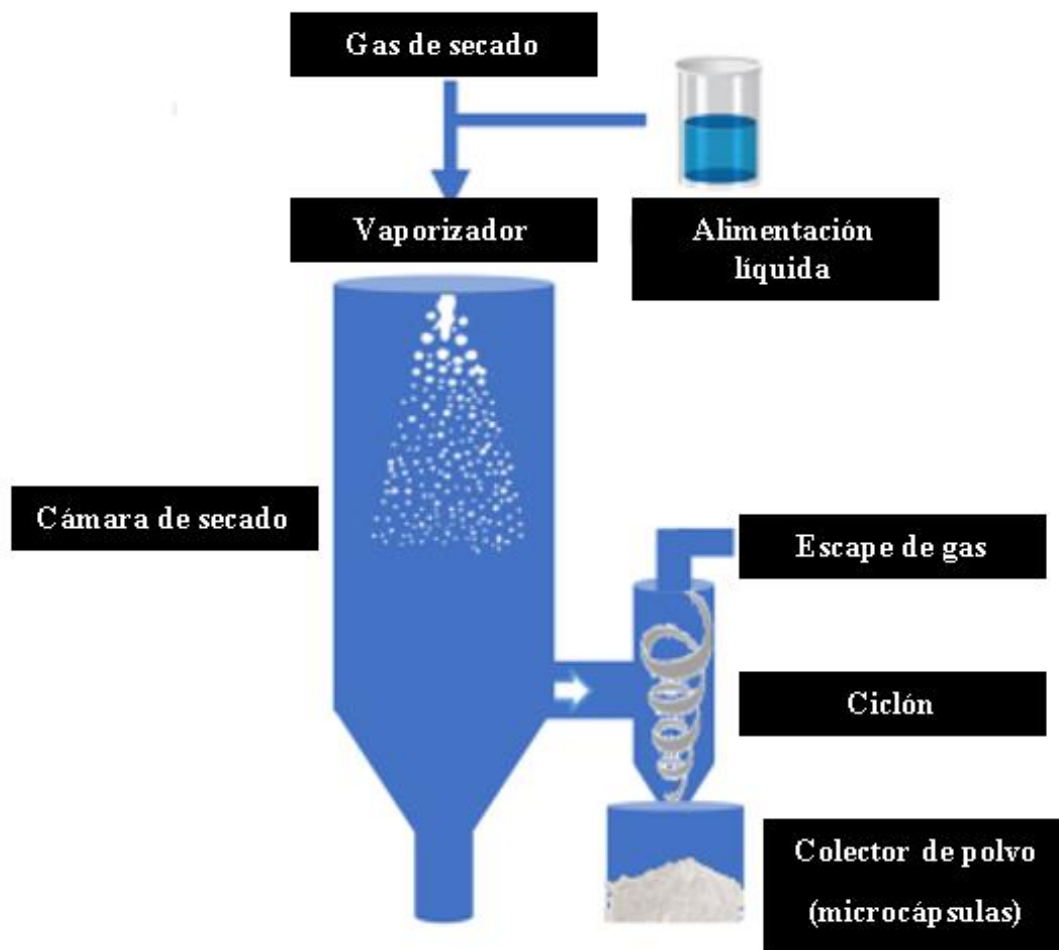
7.2.9. Spray drying o secado por aspersion.

Esta técnica física utilizada para microencapsular, es la más antigua y comúnmente utilizada dentro de la industria alimenticia. Se reconoce en esta cápsula dos partes, una mezcla que se utilizará como película y el interior de la misma que se disuelve, mezcla o combina con un solvente que se atomiza formando así un producto pulverizado. Posterior a esto, el mencionado solvente debe eliminarse a través de un proceso térmico, formando microesferas, que son básicamente gotas que han pasado a estar en estado sólido y que han captado en su interior la sustancia que se requiera encapsular (Arenas et al., 2020).

Se presenta en la Figura 3, el esquema del proceso de secado por aspersion, que a su vez se explica a continuación de la misma.

Figura 3

Secado por aspersion



Nota: Ilustración tomada de Arenas et al (2020).

Existen condiciones que delimitan el proceso de secado por aspersión, en su análisis sobre los avances en la encapsulación por secado por aspersión de ingredientes bioactivos alimentarios, los autores Assadpour y Jafari (2019), explican que se debe considerar el gas de secado, sus condiciones de temperatura de ingreso y descargo, la presión, humedad, caudal y tipo del gas de secado, la viscosidad, caudal de alimentación, sólidos totales y temperatura, en cuanto a la embocadura su presión y diámetro, el tipo de atomizador y la velocidad de la rueda, la longitud y altura de la cámara de secado, y finalmente, la relación entre el núcleo y la pared.

7.2.9.1. Fases del proceso de secado por aspersión.

Dentro de la investigación sobre el diseño y escalado de partículas secadas por aspersión en sistemas de entrega realizada por Al-Khattawi et al. (2017) junto con sus colaboradores, se ha descrito las siguientes etapas para el proceso de secado por aspersión: 1) la alimentación, 2) la etapa de atomización, 3) el secado y 4) la etapa de recolección del producto.

7.2.9.1.1. Etapa de alimentación.

La muestra en estado líquido previo a pasar por el proceso de secado por aspersión, se concentra en un contenedor que alimentará la máquina con esta mezcla, en el caso de que la muestra tenga una temperatura elevada, en relación a su entorno implicará una pérdida de calor o enfriamiento, este proceso se comporta exponencial decreciente, el cual se puede pronosticar a través de cálculos matemáticos discretos en un tiempo finito (ctc), para esto es necesario conocer los valores de capacidad calórica, el material del contenedor, el aire rodea a este, la conductividad térmica del contenedor respecto a su material, y los coeficientes de convección de la dispersión líquida (Díaz-Montes et al., 2021).

7.2.9.1.2. Etapa de atomización.

La atomización influye en lo que será la forma, distribución del tamaño y velocidad, la estructura de las gotas, y determinará las microcápsulas del producto final en cuanto a su naturaleza y tamaño. La muestra líquida que ha ingresado se divide en una gran cantidad de gotas a alta velocidad, disminuye la resistencia en el interior respecto a la transferencia de agua de estas gotas al gas de secado. La razón principal de que esto suceda, es por el aumento de la relación del área superficial por unidad de volumen del líquido, garantizando altas velocidades en el proceso de secado (Palacios, 2020).

7.2.9.1.3. Etapa de secado.

Existen dos fases establecidas, la evaporación constante y el deceso de la evaporación, el grado de pérdida de humedad al que llega la partícula es de acuerdo al período al que está en contacto

con el aire caliente, la humedad del medio, el tamaño de las gotas y la temperatura final (Cárdenas, 2021).

7.2.9.1.4. Etapa de recuperación del producto.

La recuperación del producto final, se da por la separación del gas de secado y las micropartículas que se han secado. Este proceso se lleva a cabo en dos períodos: separación primaria y secundaria. La primera fase, implica que las partículas más pesadas se dirijan al fondo del cono de la cámara de secado mientras se van depositando en ella. En la segunda fase, las partículas menos densas, pasan a dispositivos en el exterior, y se separan del aire húmedo (Barradas, 2021).

7.2.10. Temperatura de aire de entrada.

De acuerdo a la revisión realizada por Lechanteur y Evrard (2020), la temperatura del aire de entrada influye de manera directa en la transferencia de calor y masa en la partícula. Gracias a mayor transferencia de calor en la partícula, cuando la temperatura es alta, se produce un secado más veloz. Según el API y las mezclas utilizadas, se puede producir la formación rápida de la película protectora de la micropartícula, esto es la causa de que la esfera muestre porosidad o bien se evidencien arrugas en la superficie, la temperatura es la principal causa de la morfología de las microcápsulas.

7.2.11. Temperatura de aire de salida.

Este parámetro no puede tener un control directo y es difícil especificar una condición estable de la temperatura de salida para una matriz, debido a que esta debe ser en función del material de interés a microencapsular (Ríos y Gil, 2021).

Un fenómeno mencionado en función de la temperatura de aire de salida es el “globo”, mismo que hace referencia a la encapsulación de aire únicamente dentro de la cápsula, según explica (Salminen et al., 2018), se debe a que existió una temperatura de salida más alta, lo cual produce la formación de vacuolas. Como se puede analizar, es conveniente establecer una temperatura funcional de acuerdo a la sustancia a encapsular para evitar formaciones indeseadas o defectos en las micropartículas que se obtendrá.

7.2.12. Caracterización del microencapsulado.

Para caracterizar el microencapsulado, es necesario romper la membrana y liberar los componentes bioactivos que se mantuvieron encapsulados, esto con la finalidad de realizar distintos análisis (Alvarado, 2016).

Los distintos análisis del microencapsulado, se basan principalmente en el rendimiento, humedad, eficiencia del microencapsulado y capacidad antioxidante.

8. Validación de las preguntas científicas o hipótesis

Ho: El flujo de alimentación y la temperatura de entrada de aire no influyen en el rendimiento de la microencapsulación de un extracto de eneldo.

Ha: El flujo de alimentación y la temperatura de entrada de aire si influyen en el rendimiento de la microencapsulación de un extracto de eneldo.

9. Metodologías/Diseño Experimental

9.1. Métodos de investigación

9.1.1. Investigación cuantitativa.

La investigación cuantitativa, tiene ciertas características que le permiten diferenciarse de los demás tipos de investigación, el propósito de la misma, pues requiere valores específicos, se requiere una interpretación numérica para permitirle al investigador realizar una predicción de eventos abordados. Sin embargo, previo a esto es estrictamente necesario contar con un diseño y método correctamente establecido, en donde se involucran variables, mismas que deben ser conducidas e intervenidas por el sujeto interesado en investigar, puede ser experimental, causal, correlacional, comparativa e incluso descriptiva. Para recabar la información necesaria que utilizan estrategias que permitan obtener los datos útiles, dentro de estas se puede mencionar observación estructurada, encuestas, entrevistas, observación estructurada, revisión de documentos, entre otros. Finalmente, el investigador debe utilizar sus conocimientos para interpretar de manera objetiva y precisa la información obtenida, con el objetivo de brindar un aporte a través de su investigación (Jiménez, 2020).

Dada la explicación, la presente investigación basa sus resultados específicamente en una investigación experimental, puesto que se requiere de información cuantitativa para su desarrollo.

Es así que, dentro de la elaboración de la presente tesis, se toman una serie de datos como, por ejemplo, la cuantificación de los polifenoles totales presentes, el pH, porcentajes de humedad, eficacia y rendimiento, valores que se permiten cuantificar o dar un valor numérico a las características mencionadas.

No obstante, se resalta también el uso de instrumentos o equipos que permiten dar valores a los distintos aspectos investigados. Es así que esta información se ve sustentada con datos específicos, lo cual admite la discusión de los mismos.

9.1.1.1. Investigación experimental.

Según Guevara et al. (2020), la investigación experimental a través de su aplicación tiene como objetivo testear un objeto o grupo de sujetos respecto a ciertos condicionamientos, estímulos o procedimientos lo cual se denomina como variable independiente, para determinar qué resultados o consecuencias se generan a partir de su incentivo, esto se conoce como la variable dependiente.

Una o más variables (independientes y dependientes), son tratadas por quien investiga, lo cual le permitirá manejarlas para aumentar o disminuir dichas variables y por ende las consecuencias esperadas. El éxito en una investigación experimental está en el hecho de que su investigador pueda confirmar que, una incidencia en la variable dependiente se ha ocasionado en función de un ajuste en su variable independiente. Es necesario que se dé una relación clara de causa-efecto en este tipo de investigación, es decir, debe ser obvio que un cambio en los efectos producidos dentro de una experimentación, se deba a la causa establecida en la misma (Guevara et al., 2020).

Dentro de la investigación, se realizan análisis que involucran variables previamente establecidas para su estudio, lo cual permite a los investigadores establecer aquella relación de causa y efecto, a fin de interpretar los resultados obtenidos respecto a la manipulación de las variables.

Se realiza la experimentación en función del extracto acuoso de eneldo y de su microencapsulado, para lo cual se utilizaron las metodologías descritas más adelante, así se hace uso de la investigación experimental para determinar los valores de pH, humedad, capacidad antioxidante, densidades aparente y compactada, ángulo de reposo, higroscopicidad, solubilidad, entre otros.

Así también, el rendimiento, eficacia y humedad del microencapsulado permiten realizar la modelización a través del programa Design Expert 8.0.6, en el cual se ingresan los datos y este se encarga de modelar los mismo en función de modelos cuadráticos o lineales, brindando así la ventaja de experimentar con los datos obtenidos.

9.1.2. Investigación cualitativa.

La definición como tal de la investigación cualitativa se inclina a la creación de información descriptiva, en este aspecto se puede hablar de las palabras y conferencias de los individuos, su forma de expresión puede ser escrita o a su vez hablada o conducta observable (Cueto, 2020).

9.1.2.1. Investigación bibliográfica.

Esta técnica pertenece a la investigación cualitativa la cual permite al sujeto interesado buscar, recopilar y discernir información de diversas fuentes como pueden ser artículos de revistas, documentos, libros, información grabada ya sea en audio o video, prensa escrita, artículos científicos, entre otros; lo importante en este tipo de investigación es la interpretación de la información que se recolecte, así como su identificación, selección y relación con el estudio de quien investiga (Reyes-Ruiz y Carmona, 2020).

Esta investigación encasilla en las técnicas utilizadas para la recopilación de información útil en este proyecto de investigación, basando su uso en artículos científicos, publicaciones gubernamentales, artículos de revistas, tesis, prensa en línea, libros, entre otras fuentes que han permitido el discernimiento de la información con el objetivo de sustentar con precedentes los datos presentados.

9.2. Técnicas de investigación

9.2.1. La observación.

Respecto a la técnica de la observación, se dice que fue el primer método utilizado por los científicos, actualmente es una técnica utilizada por todas las personas de manera universal. La observación, le permite al sujeto a través de su percepción sensorial de los distintos eventos, conocer la realidad que se le presenta. De acuerdo al autor todas las demás técnicas de investigación se sustentan en la observación, puesto que, se presenta una relación directa entre quien observa y el objeto de observación, explica, que en ella inicia el poder comprender la realidad (Serrano, 2014).

9.2.2. Pruebas de laboratorio.

Las pruebas de laboratorio, es una investigación básica e importante para la elaboración y variación de los distintos eventos que se puedan producir a partir de una premisa, los cuales estarán sujetos a condiciones controladas, permitiendo así realizar supuestos experimentales fundamentados a eventualidades reales (González, 2020).

Esta técnica ha sido ventajosa para el investigador, a fin de interpretar todo el proceso de caracterización del extracto de eneldo, también de su microencapsulado, y a su vez de la optimización del mismo, así como los investigadores serán los intérpretes de los resultados obtenidos en cuanto al análisis de las variables de la investigación.

9.3. *Diseño experimental*

9.3.1. Descripción del diseño experimental.

Respecto al diseño experimental en la presente investigación, el grupo de trabajo se permite el uso del programa Design Expert 8.0.6 de Stat-Ease Corporation, EE.UU., en la aplicando de un modelo de superficie de respuesta IV óptimo, para lo cual se realiza el uso de la información obtenida de trece prácticas, en donde se involucran las variables independientes de temperatura de entrada a la máquina 130 °C, 140 °C y 150 °C, además de una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h, 600 ml/h y 700 ml/h. Las condiciones dadas, han permitido indagar, en que temperatura de entrada de aire y velocidad de flujo de alimentación se obtienen los datos óptimos de rendimiento, humedad y eficacia del producto de la microencapsulación del extracto de eneldo (*Anethum graveolens*), al generar el modelo matemático que permite determinar los cambios producidos en la variable dependiente, en función de las distintas condiciones dadas, los investigadores pueden establecer el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, así como también generar las conclusiones pertinentes a la investigación realizada.

9.3.2. Tabla de variables.

La Tabla 6, contiene la información específica de las variables independientes y su respectiva variable dependiente, así también los medios indicativos que permitirán analizar la relación entre estas y sus distintas variaciones de acuerdo a la manipulación de las variables.

Tabla 6

Variables de la investigación

Variable Dependiente	Variables Independientes	Indicadores
Microencapsulado de extracto acuoso de eneldo	Tin (Temperatura de entrada del aire)	Humedad
	VFA (Velocidad del flujo de alimentación)	Rendimiento
		Polifenoles
		Antioxidantes

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

En la Tabla 7, se resume la información del diseño experimental para este proyecto de investigación, en donde se aprecia claramente los parámetros a considerar en las variables, también se expresan los valores mínimos y máximos de los parámetros a considerar en el secado por aspersión.

Tabla 7

Diseño experimental

Detalle	Unidad	Tipo	Valor mínimo	Valor máximo
Tin (Temperatura de entrada del aire)	°C	Numérico	130	150
VFA (Velocidad del flujo de alimentación)	ml/h	Numérico	500	700

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

En la Tabla 8, se detalla la información de las condiciones a tomar en cuenta para las corridas experimentales del microencapsulado, que se obtendrá a partir de la emulsión del extracto de eneldo, maltodextrina y goma arábica.

En dichos condicionamientos se establecen las variables independientes del proyecto, cada una con su respectivo valor correspondiente a velocidad de flujo de alimentación a la máquina, así como también la temperatura de aire de entrada, datos que se contemplan a continuación:

Tabla 8

Descripción de las corridas

Corrida	Flujo de alimentación (ml/h)	Temperatura de aire (°C)
1	500	140
2	700	130
3	600	140
4	600	150
5	500	130
6	600	140
7	700	140
8	600	140
9	500	150
10	600	140
11	600	130
12	600	140
13	700	150

Nota: Tabla elaborada por el grupo de trabajo (Pacheco y Toapanta, 2022).

9.4 Materiales y métodos

9.4.1. Materiales-materia prima, equipos y reactivos.

Materia Prima

- Extracto acuoso de eneldo
- Maltodextrina
- Goma arábica

Equipos

- Balanza analítica 220 0,001 (4 decimales, con sensor magnético)
- Rota evaporador (RE-2000)
- Centrifugadora (BOECO C-28A)
- Desecador
- Estufa (Mettler Universal 30)
- Espectrofotómetro
- Potenciómetro
- Alcoholímetro
- Spray Dryer (SD-303)
- Pie de rey
- Refractómetro (MA871)
- Selladora al vacío
- Lector de microplacas (Biotek)

Materiales

- Papel aluminio
- Bandejas de aluminio
- Fundas con cierre hermético
- Recipientes de vidrio
- Tela lienzo
- Tijeras
- Crisoles
- Probeta
- Vasos de precipitación de distinta capacidad
- Cajas Petri
- Tubos de ensayo
- Gradilla

- Pipetas
- Peras de succión
- Varilla de agitación
- Matraces Erlenmeyer 100 ml
- Frascos de vidrio color ámbar
- Embudo

Reactivos

- Agua destilada
- Etanol de análisis al 99,9%
- Reactivo de hierro TPTZ
- Ácido acético
- Acetato de sodio
- Ácido fosfórico
- Ácido gálico
- Carbonato de sodio
- Molibdato sódico
- Wolframato sódico
- Solución Fehling
- Cloruro de hierro
- Cloruro de sodio
- Ácido clorhídrico

9.4.2. Extracción de los componentes bioactivos del eneldo.

Se recolectó la materia prima, eneldo (*Anethum graveolens*) fresco, se incluyeron flores, tallos delgados y hojas. Se limpió la materia prima, debido a la presencia de insectos o tierra, se realizó una selección cuidadosa, para eso se desecharon aquellas hojas que presenten alteraciones visibles, coloración distinta a la característica o aquellas que demuestren evidencia de alteraciones provocadas por hongos o bacterias, como lo recomienda (Guevara et al., 2021).

Se ingresó el material vegetal en bandejas de papel aluminio a la estufa, a una temperatura de 40 °C, por un tiempo de 48 h.

Como lo expresan Palacio et al. (2016) en su investigación para el deshidratado de plantas aromáticas y medicinales, un deshidratado óptimo para frutos, vegetales, plantas medicinales, verduras y carnes, la temperatura ideal se encuentra en un rango de 40 °C a 70 °C. La temperatura de 40 °C es una de las más utilizadas pues evita la proliferación de los

microorganismos, a su vez permite una pérdida de humedad progresiva, lo cual protege los componentes bioactivos presentes, las temperaturas demasiado altas podrían comprometer las características beneficiosas de las plantas.

Al final del proceso se obtuvo un producto óptimo para la molienda, a partir del polvo obtenido se realiza la toma de peso y empaque al vacío para garantizar su adecuada conservación.

9.4.3. Extracción hidroalcohólica de eneldo.

Para la extracción hidroalcohólica, se utilizó un disolvente alcohólico al 90 % v/v, esta disolución se empleó para macerar el polvo obtenido de la molienda, en un frasco de vidrio se introdujo el polvo y el disolvente, se agitó hasta obtener una mezcla adecuada, se colocó a una temperatura de 50 °C por un tiempo de 48 h dentro de la estufa, al cabo de las primeras 24 h se agitó vigorosamente el recipiente que contenía la sustancia.

En otras investigaciones, se establece que la temperatura óptima es de 70°C para una extracción ideal de los componentes bioactivos, es necesario considerar el tipo de material que se desea macerar, pues el paso previo a la extracción de sus componentes es la deshidratación, como sucede en el caso del eneldo, lo cual implica escoger un método idóneo, para controlar la temperatura y evitar comprometer sus componentes bioactivos, si bien es cierto una alta temperatura reduce el tiempo de secado, es necesario asegurarse de que no se vea afectada su composición, al tratarse sobre todo de un extracto que se va a microencapsular (Bankova et al., 2021).

9.4.4. Eliminación del disolvente alcohólico del extracto.

Para este proceso se utilizó un rotaevaporador, las condiciones para la extracción del disolvente son: temperatura, velocidad y presión de la bomba al vacío, tomando así los valores de 50 °C, 70 rpm y 0,065 MPa respectivamente, estos parámetros permitieron obtener 100 ml de extracto libre de etanol.

El rotaevaporador sirve principalmente para la extracción de disolventes, en diversas investigaciones se hace referencia al uso de este equipo, una de estas es la de Chávez (2020), en donde se caracterizaron los componentes volátiles de cahuato (*Tecoma fulva subsp. Arequipensis*), utilizándolo para la extracción del disolvente que contenía el extracto, también se habla de que una temperatura moderada a 65°C o menos, se extraen los disolventes de manera gradual.

Por lo tanto, debido a que el extracto del eneldo tuvo una maceración en etanol a una concentración alta de 90 % v/v, se requiere un proceso adecuado de extracción, en este sentido

la utilización del rotaevaporador fue eficiente, se obtuvo un extracto acuoso como producto final libre de disolvente, es importante considerar los parámetros para la eliminación del solvente, pues las revoluciones aplicadas no deben ser muy altas, para lograr una evaporación progresiva y evitar tener rastros de etanol en el producto final.

9.4.5. Caracterización del extracto acuoso del eneldo.

9.4.5.1. Determinación del pH del extracto.

Para la determinación del pH, se tomó la muestra del extracto acuoso del eneldo. En este análisis se utilizó el potenciómetro, el cual se calibró previamente en una solución de pH 7, se introduce en el vaso de precipitación previamente aforado con la muestra (Millán et al., 2018).

El pH de los extractos de acuerdo a su disolvente varía ciertamente, así, para un extracto acuoso y uno hidroalcohólico existe siempre una diferencia significativa, en el estudio analizado por Illescas y Lovato (2020), se demuestra esta afirmación, exponen así un extracto acuoso con pH 5,12 y uno etanólico de pH 4,85. Además en la investigación de Asmat-Campos et al. (2020), se explica que existe una influencia en el pH de los extractos etanólicos, por ejemplo, al existir un pH mayor las nanopartículas tendrán un menor tamaño, cuando la concentración de la sustancia es mayor frente al disolvente presente su pH es menor, es decir, que la concentración demuestra consecuentemente una variación en los valores del pH.

9.4.5.2. Determinación de humedad.

Se requirió una cápsula, la cual se pesó para fines de cálculo, se tomaron 10 ml de muestra del extracto acuoso y se colocaron en la estufa a 105°C por un período de 24 h, una vez transcurrido este tiempo, se retiraron las cápsulas y se colocaron en el desecador por treinta minutos, se tomaron los datos del peso con la ayuda de la balanza analítica, a este valor se le resta el peso de la cápsula, así a través de la fórmula para determinar el porcentaje de humedad se obtuvo la humedad del extracto acuoso.

$$\%H = \left(\frac{P_s - P_0}{P_i - P_0} \right) * 100$$

Dónde:

P_s = Peso de la cápsula en conjunto con la muestra seca en (g).

P_0 = Peso de la cápsula en (g).

P_i = Peso de la cápsula en conjunto con la muestra húmeda en (g) (Bonedor et al., 2019).

El análisis de humedad es un procedimiento obligatorio dentro del estudio de alimentos, estos exámenes permiten comparar datos, convertir datos de humedad tipo, expresar la información

en base seca y expresar en base como se recibió (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1997).

La FAO, en su documento Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición, recomienda además tomar con mucha cautela el método a seguir para determinar la humedad, pues el mismo método no siempre es el óptimo para los diversos alimentos y sustancias, es así el caso del microencapsulado, pues expresan que podría comprometer la composición volatilizable a través de la pérdida de agua (FAO, 1997).

Al analizar la humedad de un extracto acuoso, el porcentaje será alto, puesto que se está analizando un líquido, al evaporarse la mayor cantidad de la muestra por ser agua, no obstante, en muestras secas esto cambia drásticamente lo cual es aplicable al análisis del microencapsulado que es un polvo, considerablemente su porcentaje será bajo.

9.4.5.3. Capacidad antioxidante reductora de hierro (FRAP).

Para determinar la capacidad antioxidante total (CAT), un método común es la capacidad reductora de hierro, FRAP, el cual evalúa el efecto combinado de los resguardos antioxidantes no enzimáticos presentes en los fluidos orgánicos, como un indicador de qué tan capaz es este para resistir a la oxidación. Dicho método, se realiza con pH ácido. Al estar presentes los antioxidantes, la representación férrica del compuesto hierro-tripiridyl-triazina (Fe^{3+} -TPTZ) se reduce a la representación ferrosa (Fe^{2+} -TPTZ). El compuesto Fe^{2+} -TPTZ ocasiona un color azul intenso que tiene una absorción máxima de 593 nm (Benítez et al., 2021).

La determinación de FRAP, permitió establecer la calidad del microencapsulado, así también la cantidad de antioxidantes que posee, o la biodisponibilidad de antioxidantes.

9.4.5.4. Determinación de polifenoles totales.

El contenido de polifenoles totales se calculó mediante la capacidad de reacción del reactivo de Folin-Ciocalteu, utilizando como estándar el ácido gálico Waterhouse (citado en Alvarado, 2016).

El reactivo de Folin- Ciocalteu se compone de molibdato sódico y Wolframato sódico en ácido fosfórico, el ácido fosfomolibdotúngstico que se ha formado, tiene una tonalidad amarilla. El método se realizó así: se tomaron 50 μL de muestra, 1000 μL solución en proporción 1:10 V/V y 500 μL de carbonato de sodio (7,5 %). La mezcla se estandarizó y se calentó a 45 °C por 30 minutos, se midió la absorbancia a 765 nm en un lector de espectrofotometría (Iglesias y Pichucho, 2021). Se utilizó una curva estándar de calibración para comparar los datos

obtenidos, la cual se realizó con ácido gálico disuelto en agua destilada a distintas concentraciones, basados en la metodología de Papoutsis et al. (2018).

9.4.6. Optimización del proceso de microencapsulación.

9.4.6.1. Preparación de la emulsión.

Para realizar la mezcla se tomaron 70 g de extracto acuoso de eneldo, 70 g de goma arábica, 70 g de maltodextrina, 290 ml de agua destilada, lo cual resultó en una cantidad de 500 ml de emulsión. Dicha composición se realizó para todas las corridas experimentales. Las emulsiones se preparan mezclando dos líquidos inmiscibles o muy poco miscibles con movimiento continuo, a través de un homogeneizador (Arroyo, 2015).

9.4.6.2. Secado por aspersión de la mezcla homogénea.

Una vez homogenizada la mezcla, se alimentó la máquina secadora con esta emulsión, para esto se consideraron las condiciones especificadas como variables independientes, las cuales son para la velocidad de flujo de alimentación valores de 500 ml/h, 600 ml/h, y 700 ml/h; así también la variable de temperatura del aire de entrada con los siguientes valores: 130 °C, 140 °C y 150 °C, se realizaron en total trece corridas experimentales.

9.4.6.3. Determinación del rendimiento del microencapsulado.

El rendimiento del microencapsulado se determinó mediante el método descrito a continuación. Se establece una relación entre el peso del polvo de las microcápsulas después de pasar por el secado, y el peso de las microcápsulas esperadas de acuerdo a la cantidad de emulsión que ingresa a la máquina:

$$\% \text{ de rendimiento} = \left(\frac{PM}{PME} + muestra \right) * 100$$

Dónde:

PM = Peso de las microcápsulas después del secado.

PME = Peso de las microcápsulas esperado.

El material utilizado como membrana influye ciertamente en el rendimiento, podría deberse a la viscosidad, por ejemplo, al ser baja puede ocasionar la formación de una mezcla interna, lo cual retarda la formación de una superficie penetrable, a su vez a una viscosidad alta se reduce la posibilidad de que esto ocurra lo cual influye de manera positiva en el rendimiento (Manzanarez, 2020).

9.4.6.4. Determinación del porcentaje de eficacia del microencapsulado.

Para este análisis se tomó una muestra del polvo producto de la microencapsulación, la cual ingresó a la centrifugadora a 3000 rpm por 5 minutos, este tratamiento se utilizó a fin separar aquellas microcápsulas que contienen los polifenoles, de aquellos polifenoles que están libres. Posteriormente se determinó la concentración de polifenoles del sobrenadante. Los polifenoles que han sido liberados se consiguen mediante una limpieza de las microcápsulas con etanol al 60 % v/v, en el disolvente de lavado se cuantifica la cantidad de polifenoles que no fueron encapsulados.

Se calculó entonces de la siguiente manera (González et al., 2015):

$$\%EE = \frac{(A - B)}{A} * 100$$

Dónde:

A = la concentración de polifenoles totales en la suspensión.

B = la concentración de los polifenoles sin microencapsular que se encuentran en el sobrenadante.

Uno de los parámetros más importantes en el microencapsulado, es la selección de los materiales que serán la materia prima para la formación de la membrana de la cápsula, este aspecto influye altamente en la eficacia del mismo, es decir la eficacia depende de la composición de la pared de las partículas, la goma arábica es bastante útil gracias a sus cualidades, así también la eficacia se determina por un control adecuado de parámetros como las temperaturas de entrada y salida de aire, la velocidad de alimentación, pues estas influyen en la fluidez, la viscosidad y las propiedades de la mezcla afectando así la eficacia (Ríos y Gil, 2021).

En pro de obtener una mejor eficacia se utilizaron los materiales encapsulantes de la maltodextrina y la goma arábica.

9.4.6.5. Técnica de determinación de polifenoles.

Para la determinación de polifenoles se tomó en cuenta el numeral 9.4.5.4.

9.4.7. Caracterización del microencapsulado optimizado.

9.4.7.1. Determinación del pH.

Para el análisis de pH se toma como referencia el numeral 9.4.5.1.

9.4.7.2. Determinación de la humedad.

Para el análisis de humedad se tomó en cuenta el numeral 9.4.5.2, considerando que se tomaron 10 g de la muestra del microencapsulado y luego se continuó con el proceso normal de la determinación.

9.4.7.3. Determinación de densidad aparente.

Para este análisis, se tomó una muestra del microencapsulado de 0,5 g los cuales se introducen en una probeta, a fin de determinar el volumen del polvo, por medio de una relación de masa y volumen (Iglesias y Pichucho, 2021).

$$D_a = \frac{m}{v}$$

Dónde:

m = masa de la muestra (g).

v = volumen de la muestra (ml).

En esta determinación, un aumento en el volumen de aire atrapado provoca una disminución en la densidad aparente de las microcápsulas, y así mismo, la densidad aparente determina principalmente a la densidad compactada (Kaderides, 2015).

9.4.7.4. Determinación de densidad compactada.

Para obtener el valor de la densidad compactada, se utilizó 1 g de microencapsulado, el cual se introdujo en una probeta, se cubrió la boca de la misma y se levantó ligeramente a una altura aproximada de 5 a 10 cm, se soltó por su propio peso, este procedimiento se realizó en varias repeticiones hasta observar una diferencia poco significativa en el volumen respecto a la medición previa, para expresar el valor se relacionó la masa con el volumen, expresando este valor en sus unidades establecidas (g/ml) (Arias, 2019):

$$D_c = \frac{m}{v_c}$$

Dónde:

m = masa de la muestra (g).

v_c = volumen de la muestra compactada (ml).

9.4.7.5. Capacidad antioxidante reductora de hierro (FRAP).

Para este análisis se tomó como referencia la metodología propuesta en el numeral 9.4.5.3.

9.4.7.6. Solubilidad.

Tomando 1 g de muestra del microencapsulado, se diluyó en 100 ml de agua destilada, se agitó vigorosamente hasta que se disolvió todo el polvo, se tomó una muestra de 25 ml de la dilución para introducirla en la centrifugadora, se controló el procedimiento a 3000 rpm por 5 minutos, filtró la muestra con la ayuda de papel filtro, el cual se pesó previamente, este papel se colocó en una caja Petri, la cual finalmente ingresó a la estufa a una temperatura de 105°C, el cálculo se realiza a partir de la siguiente fórmula (Iglesias y Pichucho, 2021):

$$\text{Solubilidad} = \left(\frac{PS * 4}{P} \right) * 100$$

Dónde:

PS = Peso de los sólidos.

P = Peso de la muestra.

La solubilidad puede atribuirse a los materiales utilizados en la encapsulación, por ejemplo, la maltodextrina es una de las más utilizadas justamente por su alta solubilidad en agua (Fagundes, 2020).

9.4.7.7. Determinación de la Higroscopía.

Para la determinación de la higroscopía del polvo, se pesó 0,5 g del microencapsulado en una caja Petri, el polvo bien distribuido entra en contacto con el aire, se colocaron en el desecador el cual se selló herméticamente, en la parte inferior del desecador se colocó una disolución de 25 ml de sulfato de sodio en 225 ml de agua destilada, al cabo de una semana se pesaron las muestras, esta metodología modificada se basa en el trabajo de Cai y Corke (citado en D. Santos y L. Santos, 2021).

El porcentaje de higroscopicidad se calculó mediante la siguiente ecuación (Iglesias y Pichucho, 2021):

$$\% \text{ higroscopicidad} = \left(\frac{PM_0 - PM_1}{PM_0} \right) * 100$$

Dónde:

PM₀ = Peso de las microcápsulas inicial.

PM₁ = Peso de las microcápsulas final.

9.4.7.8. Determinación del índice de Carr.

Este índice también se denomina índice de compresibilidad, y analiza la capacidad de flujo que tiene el polvo, esto se realizó a través de la relación de la densidad aparente con la densidad compactada del microencapsulado (Alvarado, 2016). Se expresa a partir de la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{D_c - D_a}{D_c} * (100)$$

Dónde:

D_a = Densidad aparente

D_c = Densidad compactada

Para la interpretación de los resultados se presenta la Tabla 9, en la cual se especifica la escala de fluidez, con relación al intervalo de índice de Carr.

Tabla 9

Escala de fluidez respecto al índice de Carr

Rangos	Fluidez
<10	Excelente
11-15	Buena
16-22	Regular
>38	Poca

Nota: Datos tomados de Alvarado (2016).

9.4.7.9. Determinación del cociente de Hausner.

Gracias a este valor, se conoce qué tan propenso es un polvo a la compresión, cómo son las medidas de la capacidad de asentamiento que tiene dicho polvo, este indicador se establece por la ecuación que relaciona la densidad compactada y la aparente, se expresó respecto a la siguiente ecuación (Alvarado, 2016):

$$CH = \frac{D_c}{D_a}$$

Dónde:

D_a = Densidad aparente

D_c = Densidad compactada

En la Tabla 10 se expresan los rangos a considerar en cuanto al cociente de Hausner.

Tabla 10*Rangos del cociente de Hausner*

Rangos	Fluidez
<1.25	Buena
1.26-1.39	Regular
>1.4	Poca

Nota: Datos tomados de Alvarado (2016).

9.4.7.10. Determinación del ángulo de reposo.

Se tomó una muestra de 10 g de microencapsulado, y se colocó en un embudo sostenido a una altura de 20 cm aproximadamente, en una base de papel, se dejó que fluya el polvo libremente a la superficie plana. La altura del cono del polvo y su radio se midieron con la ayuda de un pie de rey, a partir de estos datos se aplicó la ecuación para determinar el ángulo de reposo (Bastida, 2019).

$$\text{Ángulo de reposo } (\tan \theta) = \frac{H}{R}$$

Dónde:

H = Altura del cono.

R =Radio del cono.

A continuación, la Tabla 11 se establece la clasificación de los polvos respecto al rango del ángulo de reposo Santomaso et al. (Alvarado, 2016).

Tabla 11*Clasificación de los polvos respecto al ángulo de reposo*

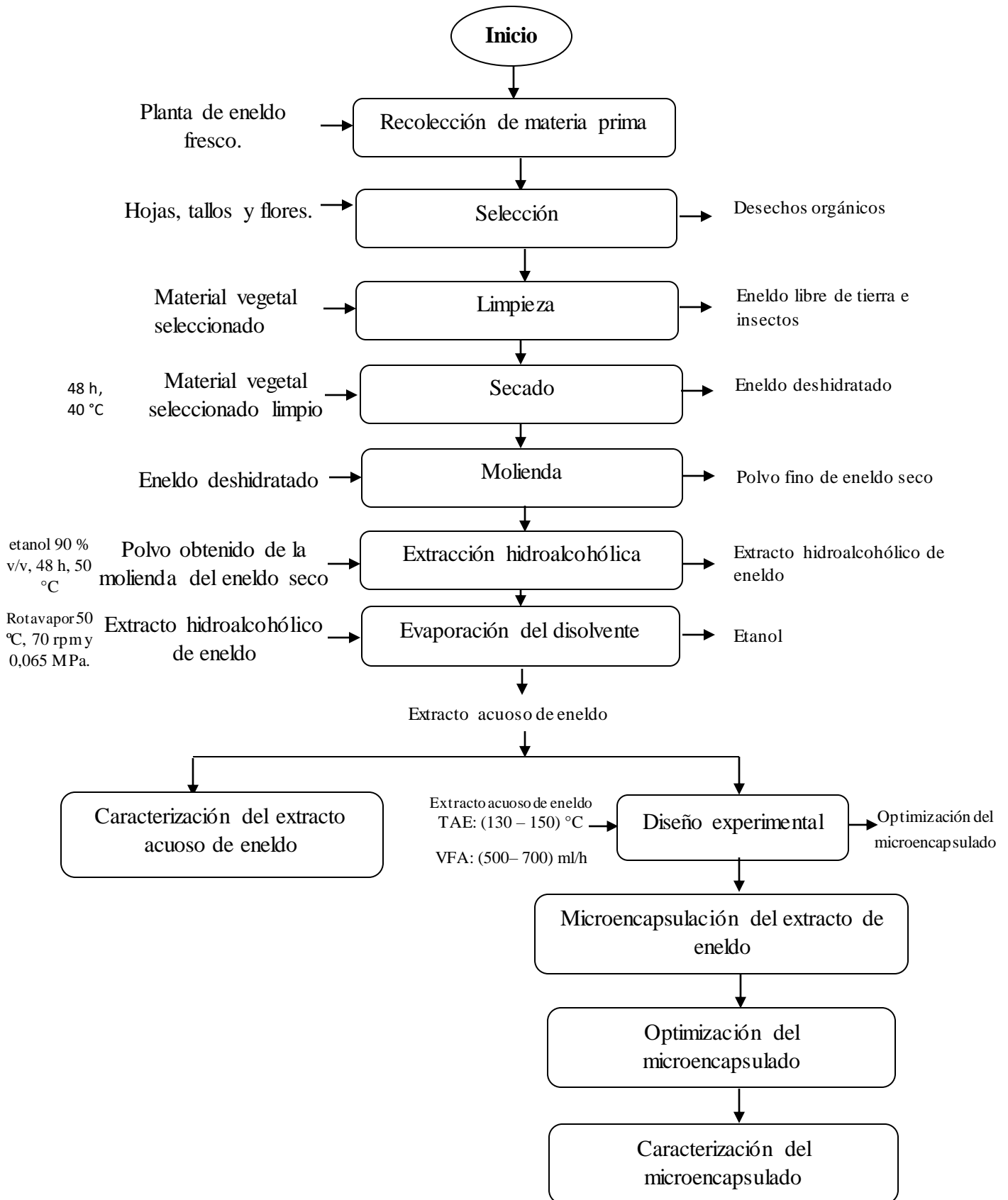
Ángulo de reposo	Fluidez
10°-30°	Excelente flujo
31°-45°	Libre de flujo
46°-60°	Poco cohesivos

Nota: Datos tomados de Santomaso et al. (Alvarado, 2016).

9.4.7.11. Morfología de las microcápsulas del polvo.

Por medio de la técnica de microscopía electrónica de barrido, se obtuvieron datos del tamaño, forma y textura de las microcápsulas. Permite observar la morfología de las cápsulas. Las formas pueden ser: simple, irregular, múltiple pared y múltiples núcleos (Ríos y Gil, 2021).

9.4.8. Diagrama de flujo del proceso.



Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

10. Análisis y discusión de los resultados

10.1. Extracción de los componentes bioactivos de eneldo

Con 3791,04 g de eneldo fresco (*Anethum graveolens*) incluyendo flores, tallos y hojas, se logró obtener un total de 1173,15 g de polvo seco listo para continuar con el proceso. A partir de dicho polvo se realizó el proceso de maceración en etanol, una vez evaporado el disolvente se obtuvo un total de 100 ml de extracto acuoso de eneldo, considerando la temperatura y tiempos pertinentes para lograr una adecuada obtención del extracto. En una investigación similar, se realizaron estudios de acuerdo a distintos solventes, siendo el etanol al 80 % v/v el segundo mejor, lo cual implica que este disolvente es óptimo para la extracción de los componentes bioactivos, explica también que el tiempo influye levemente, más bien es importante considerar un disolvente como el metanol o acetona que también pueden ser bastante útiles para extracciones (Butsat y Siriamornpun, 2016).

10.2. Caracterización del extracto acuoso de eneldo

A continuación, se presenta la Tabla 12, misma que contiene los datos obtenidos de las determinaciones que caracterizan el extracto acuoso de eneldo.

Tabla 12

Análisis fisicoquímicos del extracto de eneldo

Parámetros	Medida
Potencial de hidrógeno	5,28
Humedad (%m/m)	82,34
Sólidos solubles (°Brix)	14,5
Capacidad antioxidante reductor de hierro (μM Fe^{2+}/g muestra)	850

Nota: Elaboración propia (Pacheco, C., y Toapanta, J., 2022).

10.2.1. pH del extracto acuoso de eneldo.

De acuerdo a los análisis realizados del extracto de eneldo, se determina un pH de 5,28 este valor se encuentra similar al de otras investigaciones, como es el caso de la investigación para la optimización del extracto de eneldo, en la cual se presenta un pH de 5,4 (Silva, 2022), además la investigación realizada sobre el extracto de caléndula, donde los resultados en distintas muestras de extractos son desde 5,69 a 5,92 para el potencial hidrógeno, como se puede observar estos datos determinan un pH ácido para los extractos. Una variación en el pH se puede

deber a la concentración de protones que tiene la sustancia, pues al diluirse en una cantidad de agua mayor, el valor del pH incrementará, esto se explica como el efecto de dilución. Un ejemplo adicional, en caso de someter el extracto a una centrifugación, tratamiento mediante el cual se extraen protones, que a su vez se ven reflejados al medir su pH, resultando así un menor valor para el potencial de hidrógeno (Millán et al., 2018). Esta idea se apoya en la investigación realizada respecto al extracto acuoso de la maleza *Cyperus rotundus L.* (Cyperaceae), en la cual se evidenció una disminución del pH cuando existen concentraciones mayores del extracto, así también se produce un incremento en la conductividad eléctrica (Layne-Garsaball y Méndez-Natera, 2017).

10.2.2. Humedad del extracto acuoso de eneldo.

Tiene además un porcentaje de humedad de 82,34 %, de acuerdo a una investigación realizada sobre un extracto hidroalcohólico de caléndula (*Calendula officinalis*), se obtiene un valor de humedad de 81,67 %, al ser extractos en estado líquido existe un alto porcentaje de humedad (Amaguaña y Churuchumbi, 2018).

Así también, se muestra el porcentaje de humedad de un extracto acuoso del péndulo de la flor de banano, en donde el resultado obtenido es de 91,5 %, en otros estudios realizados con el extracto acuoso de *Musa acuminata Colla*, se establece una relación entre la humedad y los sólidos totales, el cual se obtiene de la resta del porcentaje de humedad (Ramos, 2017). En el estudio realizado acerca de algunas características fisicoquímicas del jugo del pseudotallo de plátano *Dominico Hartón*, se presenta una humedad de 96,71 % (Vargas et al., 2013).

Como lo explican los autores de las investigaciones mencionadas, estos altos porcentajes se dan porque al ser extractos acuosos o bien hidroalcohólicos presentan una mayor composición de agua que de sólidos totales.

10.2.3. Sólidos solubles del extracto acuoso de eneldo.

La cantidad de sólidos solubles obtenidos con el refractómetro son de 14,5 °Brix, en comparación con los datos obtenidos en la investigación de Rojas et al. (2020), respecto a hojas de cilantro (*Coriandrum sativum L.*), en la que arrojan resultados de °Brix de entre 12,08 a 20,52 para extracto hidroalcohólico, lo cual especifica que dichos valores implican una alta concentración de componentes solubles, y a su vez buena capacidad extractiva de acuerdo al solvente empleado.

En la investigación de Ramos (2017), se calculó la cantidad de sólidos totales con la diferencia de la humedad, teniendo un dato de 8,5 %. En el estudio sobre extractos de las hojas de guanábana, se explica que se puede dar una variación en el valor de los sólidos solubles por efecto de la temperatura de extracción y del disolvente (Vergara et al., 2018).

Respecto a otra fuente, donde se analiza un extracto acuoso de diente de león (*Taraxacum officinale*), ratifican que, al extraer metabolitos se presenta una mayor eficiencia cuando la especie vegetal se somete a ultrasonido, esto permite que se aproveche una mayor cantidad de sólidos solubles totales, presentan un dato de 23,95 % para sólidos totales (Tello, 2020).

Al comparar los datos consultados, se deduce que los sólidos solubles totales presentan variación respecto al disolvente utilizado, a la temperatura respecto a tratamientos térmicos e incluso una diferencia dependiendo del tratamiento de extracción que atravesase el material vegetal, como se mencionó el caso del ultrasonido. Finalmente, no se determina una paridad respecto a los valores entre dichas investigaciones, sin embargo, se presenta una idea clara sobre los elementos considerables al momento de realizar extractos de materiales orgánicos, en el caso de tener un interés particular por recuperar la mayor cantidad de sólidos solubles. Tomando en cuenta que los sólidos solubles se componen de ácidos grasos, proteínas, azúcares, grasas, minerales, dependiendo de la especie que se analice, podrían ser plantas medicinales, frutos, tallos, entre otros (Cazar, 2016).

10.3.4. Capacidad antioxidante del extracto acuoso de eneldo.

En cuanto a la capacidad antioxidante reductora de hierro, se obtuvo un valor de 850 ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$ muestra), en comparación con la investigación de un extracto de la hoja de chirimoya, en donde la capacidad antioxidante por el método de FRAP es de 1710 (μmol equivalente de trolox/g de muestra). Así también en una investigación acerca de las diversas especies que se utilizan en México, se obtienen varios datos de especies vegetales por medio del método FRAP, en las que se tiene el dato para el anís de 1,3 $\text{mmol Fe}^{2+}/\text{L}$, para el cilantro 1,231 $\text{mmol Fe}^{2+}/100 \text{ g}$, para el clavo 0,073 mM Fe^{2+} , el orégano tiene 0,69 $\text{mmol Fe}^{2+}/100 \text{ g}$, la pimienta 0,62 $\text{mmol Fe}^{2+}/100 \text{ g}$, estos datos muestran la reacción en el método de FRAP de acuerdo a la muestra analizada en valores cuantificables (Mercado-Mercado et al., 2013).

Para la determinación del potencial antimicrobiano y antioxidante de cáscaras de residuos agrícolas, se evaluó la capacidad reductora de los extractos de cáscara mediante las metodologías de FRAP (poder antioxidante reductor férrico) y TAC (capacidad antioxidante total por fósforo-molibdeno). El poder antioxidante reductor férrico, tiene una relación lineal

con la concentración molar de antioxidantes y es reproducible. La desventaja del análisis con reactivo de FRAP es que no tiene una reacción viable con el glutatión, según Guo et al. (citado en Naqvi et al., 2020).

La extracción de compuestos activos de plantas, se realiza a partir del estado fresco o seco de la especie vegetal, garantizando siempre que el secado no afecte su estructura. Los solventes que se usan son ligeramente polares o no polares para separar las clorofilas, agliconas y gomas de flavonoides altamente metoxiladas, por ejemplo, así los flavonoides, con un gran porcentaje de grupos hidroxilos insustituídos o azúcares, se consideran polares pues son ligeramente solubles en disolventes polares, como la acetona, el etanol, el metanol, el agua o DMSO. En el paso final del filtrado se concentra y se revuelve el disolvente. Este proceso, es muy útil para extraer gran parte de los flavonoides, pero no en el caso de las antocianidinas o flavonoides con polaridad baja, pues estos se encuentran de manera superficial en las plantas (Gracia, 2017).

En los componentes bioactivos existe la característica predominante de minimizar el estado de oxidación, se expresa en el estudio de Naqvi et al. (2020). Los polifenoles tienen su origen principalmente en las plantas gracias a su metabolismo secundario, sin embargo, Quiñones et al. (2012) explica que dentro de los polifenoles lo importante realmente es su biodisponibilidad en beneficio del ser humano, lo cual puede definirse a partir de la capacidad antioxidante, pues los polifenoles son en sí la consecuencia de esta capacidad. En cuanto a los distintos métodos de análisis de la capacidad antioxidante, el método de FRAP no valora la capacidad de neutralizar radicales libres que tenga la muestra objeto de estudio, sino la capacidad de reducir la transferencia de electrones. No siendo este el caso de los métodos DPPH y ABTS, estos tasan la capacidad para neutralizar radicales libres modelo que tiene una muestra (Mercado-Mercado, 2013).

De acuerdo a todos los fundamentos presentados, la muestra analizada del extracto de eneldo tiene una capacidad antioxidante alta, gracias a esto la planta es de interés agroindustrial, pues no solo se puede utilizar como materia prima, sino que, al optimizar la conservación de sus principios activos, se puede involucrar como insumo en procesos industriales a fin de convertirse, por ejemplo, en un agente conservante.

10.3. Optimización del proceso de microencapsulación del eneldo

En la Tabla 13, se presentan los resultados obtenidos para los análisis respecto al microencapsulado en función del porcentaje de rendimiento, humedad y eficacia del encapsulamiento:

Tabla 13*Matriz experimental para la microencapsulación del extracto de eneldo*

Corrida	TAE	VFA	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Eficacia de encapsulamiento (%)	Capacidad antioxidante ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$)
1	140	500	85,34	2,85	87,78	580,34
2	130	700	79,14	4,41	77,34	678,12
3	140	600	83,21	3,21	81,23	609,34
4	150	600	86,25	2,87	85,88	567,93
5	130	500	85,67	3,98	82,77	602,34
6	140	600	82,14	3,34	82,45	601,76
7	140	700	80,21	3,81	80,01	645,56
8	140	600	83,88	3,26	81,01	599,91
9	150	500	89,23	2,29	88,23	523,56
10	140	600	82,99	3,09	80,96	601,12
11	130	600	81,56	4,32	79,01	634,56
12	140	600	82,71	3,21	81,56	600,12
13	150	700	83,89	3,99	81,32	598,94

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).**10.3.1. Evaluación del modelo para el rendimiento.**

En la Tabla 14, se expresan las variables que desarrollan un análisis de varianza de acuerdo a la adaptación a un modelo cuadrático codificado del rendimiento obtenido en la microencapsulación.

Tabla 14

Descripción de los indicadores y porcentaje de rendimiento

Indicador	Rendimiento (%)
Intercepto	82,88
X_{TAE}	2,17*
X_{VFA}	-2,83*
$X_{TAE} X_{VFA}$	0,30*
X_{TAE}^2	1,30*
X_{VFA}^2	0,17
R^2	0,9720
R^2 ajustado	0,9521
R^2 predicho	0,9003
F modelo	48,66*
F falta de ajuste	0,60
Precisión adecuada	25,236

Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

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

Los datos obtenidos en el modelo de rendimiento de la microencapsulación, están en un rango de 79,14 % y 89,23 % para el extracto de eneldo, según la investigación realizada sobre extractos de plantas con potencial antiviral, explica que en una microencapsulación óptima, la estabilidad y la actividad biológica de los compuestos bioactivos no deben verse afectadas durante el proceso, el rendimiento y la eficacia del eneldo al ser porcentajes altos, determinan que esta planta tiene potencial de microencapsulación para su uso dentro de procesos de conservación (Rodríguez y López, 2021).

Así también en la tesis de Martínez (2017), se presentan datos para el rendimiento de frutas como taxo (*Passiflora mollisima*), mora (*Rubus glaucus benth*) y mortiño (*Vaccinium floribundum kunth*), dentro de esta investigación se obtuvieron valores aproximados del 80 % para el rendimiento de estas frutas.

En la tesis de Alvarado (2016), se realiza la microencapsulación de un extracto de capulín, el cual se compara en un microencapsulado con maltodextrina a diferentes concentraciones, así como almidón de chinchayote, observando así que la maltodextrina obtiene un mejor rendimiento a un porcentaje del 10 %, y el chinchayote a la misma concentración presenta valores

inferiores. En esta tesis, el porcentaje de rendimiento es de 89,13 %, este dato es bastante similar con el resultado de esta investigación, que tiene un porcentaje de 89,23 %.

En la investigación de Arrazola (2014), se microencapsularon antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante secado por aspersión, el mejor rendimiento fue de 90,74 %. El rendimiento de un microencapsulado varía en función principalmente de la composición de sus materiales encapsulantes, además establece que las condiciones de secado del microencapsulado influyen, ya sea positiva o negativamente sobre el rendimiento del microencapsulado. En este análisis, el rendimiento aumenta con el incremento de la temperatura del aire de entrada, lo cual se explica porque una temperatura de entrada alta, permite una mayor eficiencia de calor mejorando así los procedimientos de transferencia de masa, implica por ende en un mayor rendimiento.

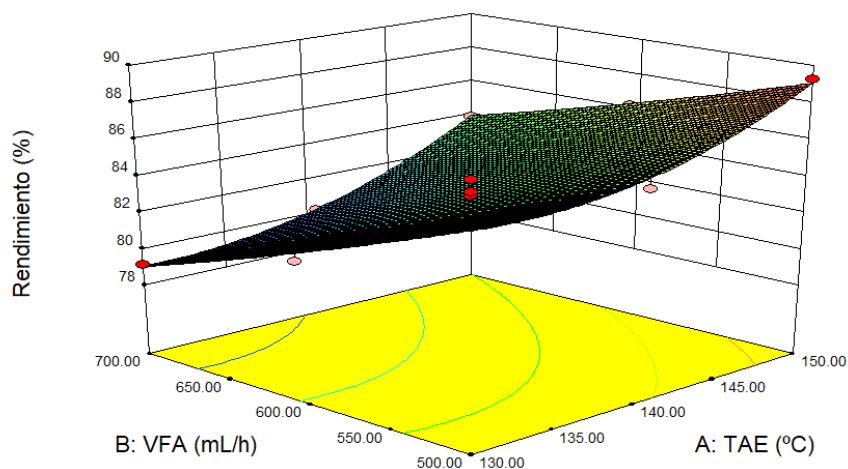
En la Tabla 14, se puede analizar la varianza del modelo cuadrático, arrojando un valor para F modelo significativo al $p \leq 0,05$.

El modelo propuesto presenta un valor de R^2 alto 0,9720 debido a la adición de términos que no son significativos al modelo, situación que es perceptible al incrementar términos no significativos. Gracias al valor de R^2 ajustado, se observa además en la Tabla 14 que tanto el R^2 ajustado y predicho no tienen una diferencia considerable pues es de 0,05.

Se muestra además en la Figura 4, la superficie de respuesta respecto al rendimiento y las condiciones de operación de la microencapsulación.

Figura 4

Superficie de respuesta para el rendimiento de la microencapsulación



Nota: Figura obtenida con el programa de análisis Design Expert.

La Figura 4, muestra la relación directa que existe entre la temperatura de entrada de aire, y el rendimiento, así también con la velocidad del flujo de alimentación de la emulsión al equipo, como se puede comprender esto explica el hecho de que al aumentar la temperatura se nota una disminución en la humedad del microencapsulado. Esto se sustenta en la investigación de microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices, en donde se especifica que la temperatura de entrada del aire baja, disminuye la evaporación, provocando microcápsulas de alta densidad, humedad alta, poca fluidez, y un aspecto relevante es la facilidad de aglomeración de las partículas, por ello se reduce el rendimiento ya que aumenta la adherencia de estas a la secadora y evita una correcta formación de esferas encapsuladas (Ríos y Gil, 2021).

La humedad en exceso puede provocar la adherencia en la máquina, es decir, claramente se explica la influencia de la temperatura, incluso de acuerdo a la variación de temperatura y velocidad se determina el rendimiento, puesto que se podría afectar la formación de la membrana, provocando una degradación y liberación del contenido interno de la microcápsula cuando esta no es adecuada (Ríos y Gil, 2021).

10.3.2. Evaluación del modelo para la humedad.

En la Tabla 13, se detallan los datos que arroja el modelo de acuerdo a la humedad del microencapsulado respecto a las variables independientes del diseño experimental.

Al analizar los datos, se puede determinar un rango de humedad en la caracterización del polvo, de 2,24 % a 4,41 %, dicho rango varía debido a las condiciones establecidas, una temperatura de aire de entrada de 150 °C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h es óptima dentro de la experimentación realizada, en este escenario la humedad es de 2,24 % siendo la más baja. Datos similares al rango de esta investigación, reporta un estudio acerca del microencapsulado de un extracto acuoso de capulín empleando secado por aspersión, en donde se determinaron datos para la humedad de 1,78 a 4,05, siendo el óptimo de 2,21 % en concordancia con el mejor rendimiento, adicionalmente en dicha investigación se establece una referencia para la humedad en microencapsulados de 2 % a 8 %, dichos porcentajes se encuentran normales de acuerdo a la referencia. Esta característica es importante, pues una humedad superior implica que el polvo tenga menor riesgo de interacciones biológicas y químicas, esto permite preservar de mejor manera los componentes bioactivos microencapsulados (Alvarado, 2016).

En la Tabla 15, se expresan los datos respecto a la humedad, con adaptación a un modelo cuadrático.

Tabla 15

Parámetros del modelo codificado para el contenido para humedad

Indicador	Humedad (%)
Intercepto	3,23
X _{TAE}	-0,59*
X _{VFA}	0,52*
X _{TAE} X _{VFA}	0,32*
X _{TAE} ²	0,36*
X _{VFA} ²	0,091
R ²	0,9810
R ² ajustado	0,9674
R ² predicho	0,8682
F modelo	72,20*
F falta de ajuste	2,28
Precisión adecuada	28,835

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

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

En la Tabla 15 se muestra que existe una diferencia muy pequeña respecto al R² y el R² ajustado, de 0,0136. El dato correspondiente a la temperatura de aire de entrada es mayor según los datos del modelo codificado, por lo tanto, este tiene mayor incidencia en la variable respuesta.

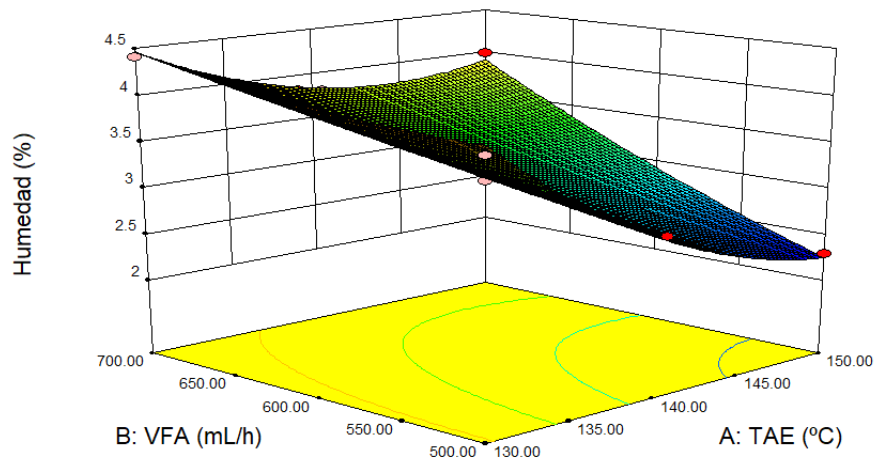
El porcentaje de humedad de la microencapsulación de pericarpio de xkijit (*Renalmia alpinia*), presentaron valores entre 2,06 % y 2,47 % sin tener diferencias significativas entre los agentes que conformaban la pared, lo cual sugiere una buena transferencia de calor y evaporación del agua del recubrimiento (Jiménez, 2017), a partir de esto, se puede comparar con la presente investigación, determinando que la humedad presentada en este trabajo es ideal, pues se evita la actividad biológica.

También se establece que la humedad se ve ciertamente comprometida debido a las condiciones de secado, al tener una humedad óptima, gracias a un correcto proceso de microencapsulación, se minimiza la probabilidad de que este pueda tener hongos o mohos por un exceso de humedad, y se mejora así su tiempo de conservación, protegiendo el componente bioactivo que se encuentra microencapsulado.

En la Figura 5, se grafica el modelo para humedad del microencapsulado de eneldo.

Figura 5

Superficie de respuesta para la humedad del microencapsulado



Nota: Figura obtenida con el programa de análisis Design Expert.

En la Figura 5, se demuestra la relación inversa entre la TAE y la VFA, pues al aumentar la temperatura de aire de entrada y disminuir la velocidad de flujo de alimentación, al mismo tiempo se reduce la humedad del microencapsulado. Así también, la humedad puede estar relacionada con el contenido de sólidos, el porcentaje de humedad reduce si estos aumentaban, sin embargo, esto produce polvos más higroscópicos (Jiménez, 2017).

10.3.3. Evaluación del modelo para eficiencia del microencapsulado.

La Tabla 16 contiene la información del modelo para la eficiencia del microencapsulado, aquí se muestran las variables que permiten desarrollar el análisis de varianza, en función del modelo cuadrático codificado.

Tabla 16

Parámetros del modelo codificado para el contenido para la eficiencia de encapsulamiento

Indicador	Eficiencia encapsulamiento
	(%)
Intercepto	81,78
X_{TAE}	2,72*
X_{VFA}	-3,35*
$X_{TAE} X_{VFA}$	-0,37*
X_{TAE}^2	-0,20*
X_{VFA}^2	1,25*
R^2	0,9349
R^2 ajustado	0,8884
R^2 predicho	0,5558
F modelo	20,10*
F falta de ajuste	5,93
Precisión adecuada	16,571

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

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

La Tabla 16 establece un dato para la eficiencia del 81,78 % que se presenta en el análisis del microencapsulado, dicho porcentaje se ve determinado directamente por el proceso de secado y los materiales encapsulantes, así también en la investigación acerca de un microencapsulado de componentes bioactivos de la cascarilla de arroz, en donde el dato fue de 99,8 % se considera

mejor en comparación al de la experimentación propia, la maltodextrina es uno de los encapsulantes que presentan mejor eficiencia de encapsulado, la pérdida de eficiencia en este caso se puede atribuir a las condiciones de secado de la máquina (Sánchez, 2018).

Un valor de 75,42 % se obtuvo en el desarrollo de un microencapsulado de extractos metanólicos de chipilín (*Crotalaria longirostrata*), este valor se asemeja más al de la tesis presentada, el autor expresa que si se comparan los diferentes métodos de encapsulación el secado por aspersión permite tener mejores niveles de eficiencia (Domínguez, 2019).

En la tesis de Coca (2021), se concluye que, en su investigación de un microencapsulado de extracto de granada, se tiene una eficiencia con valores superiores al 87 %, lo cual es similar a la presente investigación.

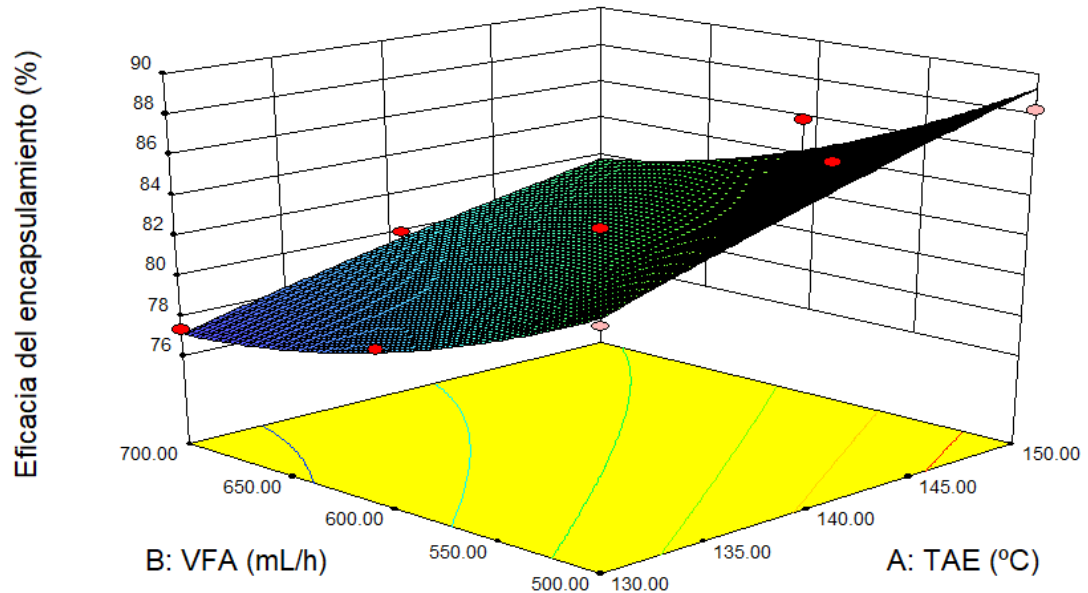
Según Suárez y Brito (2019), la eficiencia del encapsulamiento se determina por la interacción existente entre el principio activo a microencapsular y la matriz encapsulante, así también otros aspectos se consideran influyentes como la temperatura, la presencia de electrolitos, que tan soluble es el principio activo, la capacidad que tienen de emulsionar este principio con su material de formación de esferas, entre otros.

De acuerdo a la información citada, se determina que el porcentaje de eficiencia es normal, además de que las condiciones del microencapsulado que se han escogido permite una mejor eficiencia con una TAE de 150 °C y una VFA de 500 ml/h, y finalmente los materiales utilizados en la microencapsulación como la goma arábica y la maltodextrina tienen un efecto positivo en la eficiencia, se le atribuye a la maltodextrina este resultado pues tiene una excelente solubilidad.

En la Figura 6, se muestra la superficie de respuesta para la eficiencia del microencapsulado.

Figura 6

Superficie de respuesta para la eficiencia del microencapsulado



Nota: Figura obtenida con el programa de análisis Design Expert.

La incidencia de las condiciones de secado es obvia, pues al incrementarse la temperatura, aumenta también la eficiencia del encapsulamiento, con este hecho se explica que la temperatura a la que se tiene una mejor eficiencia es el límite superior del rango especificado para este diseño experimental. Y si se considera la otra variable, se nota una relación inversa con la eficiencia, en donde si esta aumenta, existe una reducción en la eficiencia del proceso de microencapsulación.

Al analizar la varianza y el modelo cuadrático expuesto para la eficiencia del microencapsula, la Tabla 16 muestra una diferencia pequeña de 0,05 de acuerdo a los valores de R^2 y R^2 ajustado, existen una diferencia significativa ($p \leq 0,05$), esto permiten aceptar que tienen influencia directa la temperatura de aire de entrada y el flujo de alimentación, en la eficiencia del microencapsulado.

10.3.4. Evaluación del modelo para la capacidad antioxidante del microencapsulado.

En la Tabla 17 se permite mostrar el modelo codificado para la capacidad antioxidante.

Tabla 17*Parámetros del modelo codificado para la capacidad antioxidante*

Indicador	FRAP ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$)
Intercepto	603,35
X_{TAE}	-37,43*
X_{VFA}	36,06*
R^2	0,9775
R^2 ajustado	0,9730
R^2 predicho	0,9592
F modelo	22,85*
F falta de ajuste	1,35
Precisión adecuada	50,119

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

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

En la Tabla 13 se muestran los datos para la capacidad antioxidante, sin embargo no se toman en cuenta para la optimización del microencapsulado, puesto que en el proceso de microencapsulamiento se pierde gran cantidad de los compuestos bioactivos del material vegetal, cabe explicar que si se analizan los datos de rendimiento, humedad y eficiencia, estos datos son los óptimos en una TAE de 150°C y una VFA de 500 ml/h, sin embargo a estas condiciones la capacidad antioxidante es de 523,56 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$, este dato difiere con el de 678,12 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$ que se tiene a las condiciones de 130 °C como TAE y 700 ml/h en la VFA. En cuanto a los componentes activos, la volatilización de los mismos los hace muy sensibles a altas temperaturas, por lo que se pueden utilizar otros métodos para su microencapsulación como es el caso de la liofilización (Sánchez, 2018). También se debe considerar que temperaturas de aire de entrada muy elevadas, pueden ocasionar una evaporación demasiado drástica e incluso romper la pared encapsulante, esto genera un esparcimiento del núcleo y a su vez la degradación del mismo (Rodríguez-Hernández et al., 2022).

Así se explica, por qué no se ha considerado parte de la optimización a la capacidad antioxidante, y se evidencia además que su capacidad antioxidante se ve menos afectada cuando la temperatura del aire de entrada es menor.

En cuanto a la investigación realizada por Ríos y Aguirre (2021), los microencapsulados por secado por aspersión de componentes bioactivos en diversas matrices, a través del método de FRAP se obtiene un porcentaje del 85 %. En un estudio de la capacidad antioxidante realizado a partir del extracto metanólico de la cáscara de sandía, se presenta un porcentaje del 92,12 % respecto al método de DPPH (Silva, 2019).

Finalmente, no existe aún una determinación posible en cuanto a la capacidad antioxidante total, pues se emplean distintos métodos de análisis, pues si bien en unos se permiten conocer la forma en que se inhiben los radicales libres, a través de otras se expresa como actúan los antioxidantes frente a los radicales libres.

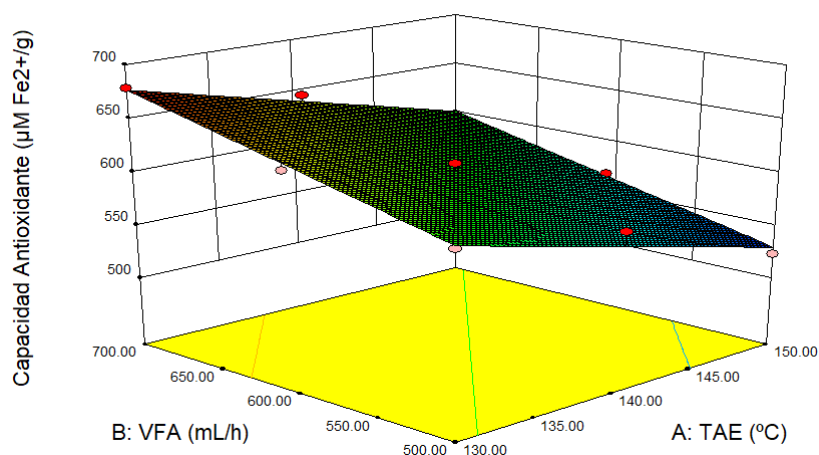
Según la Tabla 17, los datos para las variables independientes consideradas, muestran un valor superior en cuanto a la temperatura de aire de entrada, es decir, se establece una mayor influencia de esta respecto a la capacidad antioxidante, y la relación es inversamente proporcional al determinar la variable respuesta.

Así también se analiza el dato del R^2 y el R^2 ajustado, en los cuales prácticamente no existe una diferencia, esto implica que existiría una concordancia entre el mejor modelo y lo que sucede en la experimentación.

A continuación, se presenta la Figura 7, con la superficie de respuesta para la capacidad antioxidante del microencapsulado.

Figura 7

Superficie de respuesta para la capacidad antioxidante del microencapsulado



Nota: Figura obtenida con el programa de análisis Design Expert.

En la Figura 7, se representa la relación de acuerdo a las variables manipuladas, frente a la variable respuesta, es así que la expresión matemática que permitió representar la capacidad antioxidante ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$) es un modelo cuadrático de segundo orden, donde existen productos que se interceptan, expresándose por medio de los coeficientes significativos.

10.3.5. Evaluación de la deseabilidad del microencapsulado.

La Tabla 18 contiene la información en resumen de la optimización del microencapsulado, se permite así mismo, presentar el dato para la deseabilidad.

Tabla 18

Optimización del proceso de microencapsulación

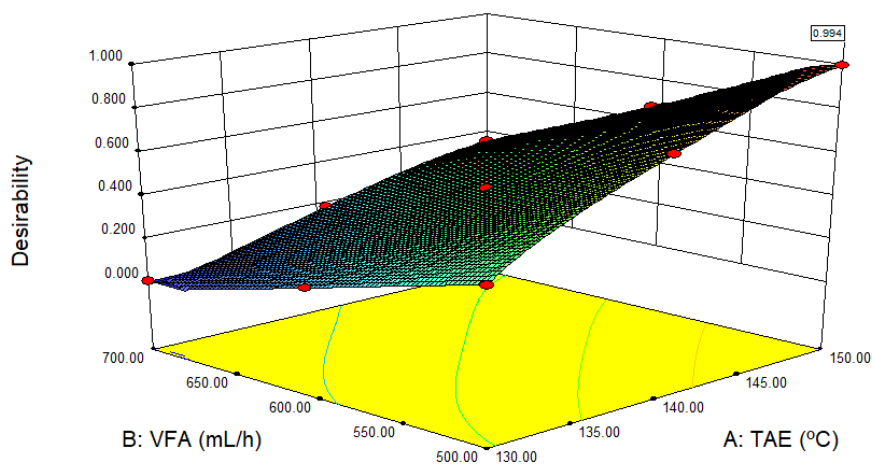
Numero de eficacia	TAE	VFA	Rendimiento	Humedad	Eficacia	Deseabilidad
1	150	500	89.0491	2.24779	89.2831	0.994

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

De acuerdo al dato de deseabilidad presentado que es 0,994 se presenta un escenario ideal, es decir, las respuestas se encuentran dentro de todos los límites aceptables, por tanto en la predicción para un microencapsulado, este modelo es ciertamente apegado a condiciones reales, y así mismo se pueden considerar para futuras experimentaciones. En la Figura 8, se muestra la deseabilidad de acuerdo a la modelización del microencapsulado de eneldo.

Figura 8

Superficie de respuesta de la deseabilidad del modelo para microencapsulado



Nota: Figura obtenida con el programa de análisis Design Expert.

El valor de la deseabilidad cercano a 1, demuestra que el modelo está condicionado totalmente por las variables de temperatura de aire de entrada y velocidad del flujo de alimentación, por lo

que su respuesta se verá siempre influenciada por estos dos aspectos, en sí cada una de las respuestas obtenidas, tienen una fuerte influencia de estas, permitiendo a los investigadores analizar la información descrita dentro de un escenario bastante apegado a la realidad.

10.4. Caracterización del microencapsulado.

En la Tabla 19, se recogen los resultados de la caracterización del microencapsulado optimizado de eneldo, el cual se establece a una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h y una temperatura de aire de entrada de 150 °C, valores que permiten tener los mejores datos posibles para los indicadores de rendimiento, humedad y eficacia del microencapsulado.

Tabla 19

Caracterización del polvo del microencapsulado

Determinación	Resultado	Desviación estándar
Higroscopicidad (g/100g)	17,32	0,05
Densidad aparente (g/ml)	0,35	0,02
Densidad compactada (g/ml)	0,62	0,03
Ángulo de reposo	33,69	0,038
Solubilidad (%)	62,06	0,02
Índice de Carr (%)	43,02	0,01
Cociente de Hausner	1,75	0,01
Capacidad antioxidante reductora de hierro $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$ de muestra	678,12	-

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

10.4.1. Higroscopicidad del microencapsulado optimizado.

El dato obtenido en el análisis de higroscopía fue de 17,32 g/100 g con una desviación estándar de 0,05 de acuerdo a las tres muestras analizadas (Tabla 19), este valor en comparación con la investigación de un microencapsulado de colágeno hidrolizado enriquecido con pulpa de piña, presenta un valor de 10,80 % (Jarrín, 2021). En la investigación del efecto de la concentración de goma arábiga y temperatura de aire de secado por aspersión en el contenido de carotenoides totales, vitamina C y actividad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol se presenta un valor de 27,36 % (Herrera, 2018). Para la investigación de la producción y propiedades de secado por

aspersión de pigmentos de *Amaranthus Betacianina*, arrojan el dato para la higroscopicidad en promedio de 47,5 g/mg (Cai y Corke, 2000). Para un microencapsulado de cacao mediante secado por aspersión se obtuvieron valores de higroscopicidad en un rango de 7,33 a 12,58 g/mg (Sánchez, 2016).

La higroscopicidad es un indicador importante en los microencapsulados en polvo, debido a que una cantidad considerable de agua puede influir en la fluidez del polvo y pérdida de compuestos bioactivos, así también el autor explica que la temperatura al momento de secar influye, pues al elevarse se incrementa a la par su higroscopicidad, esto implica que se extrae una mayor cantidad de agua, por lo tanto, este polvo tiende a captar más agua de un medio con humedad relativa alta, para así lograr equilibrar la humedad (Sánchez, 2016).

Es así que el valor obtenido respecto al microencapsulado de eneldo, no es ciertamente importante a diferencia por ejemplo del valor presentado en la investigación del pigmento de amaranto, pero si se debe considerar que las condiciones de almacenamiento del polvo sean libres de humedad, pues al exponerse a un ambiente húmedo, el extracto va a equiparar este porcentaje, promoviendo así el desarrollo de actividad biológica indeseada.

10.4.2. Densidad aparente y compactada del microencapsulado optimizado.

Para la densidad aparente y compactada, se presentan los datos de 0,35 g/ml y 0,62 g/ml respectivamente (Tabla 19), con una desviación estándar de 0,02 y 0,03 lo cual evidencia que no existe una variación importante entre los datos de las muestras evaluadas. Los datos de densidad aparente y compactada, se pueden comparar con la tesis sobre la microencapsulación de aceite de hígado de tiburón, en donde se tienen datos de 0,42 g/cm³ y 0,52 g/cm³ (García et al., 2020). También en la investigación de microencapsulado de extracto de cascarilla de arroz se determina una densidad aparente de 1,5 y 0,6 (Sánchez et al., 2018). En estudios sobre un microencapsulado de jugo de remolacha, se establecen valores de entre 0,57 g/cm³ y 0,43 g/cm³ para la densidad aparente (Mancebo, 2020).

Los valores de densidad aparente y compactada permiten comprender que tanta fluidez tienen las microcápsulas. Ambas densidades tienen una relación estrecha, se comprenden de acuerdo al espacio que ocupan en un volumen específico. Menciona la autora que cuando dentro del proceso de secado la TAE se ajusta correctamente, se permite un polvo con mejor fluidez, en el caso de que la variación de esta temperatura no permita una rápida evaporación del agua, se tiende a formar partículas de alta densidad, repercute entonces en las propiedades de flujo, así

mismo una TAE muy alta deshidrata las células y afecta a las enzimas esenciales que permiten un equilibrio celular (Sánchez, 2020).

Por lo tanto, basados en investigaciones previas se reconocen estos valores como valores relativamente normales frente a las demás investigaciones, lo cual no favorece a la fluidez. De acuerdo a la información consultada, el hecho de tener poca fluidez de las partículas se puede deber a que la maltodextrina promueva un aumento en la densidad, sin embargo, frente al beneficio de mejorar las demás condiciones de rendimiento, humedad y eficiencia, se prefiere el uso de maltodextrina por este beneficio.

10.4.3. Ángulo de reposo del microencapsulado optimizado.

En el análisis del ángulo de reposo, se expresa en la Tabla 19 un valor de 33,69 °, con una desviación estándar de 0,038. En la tesis de Iglesias y Pichucho (2021), se analiza el ángulo de reposo para un microencapsulado de cedrón en donde se tiene un dato de 34,30 °. Así también, la tesis de Chamba y Quispe (2021), presentan un dato de 31,58 °. En la tesis de Alvarado (2016), determina un ángulo de reposo de 40,31 °. Finalmente, la tesis de Pereyra (2010), comprobó un resultado de 44,177 ° para su ángulo de reposo. Estas tesis se basan en microencapsulados de orégano, capulín y menta, respectivamente.

Para la determinación del ángulo de reposo se expresa que al ser este de menos de 40 °, el polvo presentaría características del flujo libre, y en valores superiores, partiendo desde los 50 ° quiere decir que se tiene problemas de cohesividad o de flujo (Montes et al., 2007).

Es así según los datos de la Tabla 11, planteada para clasificar los polvos respecto a su ángulo de reposo, se identifica al polvo de microencapsulado de eneldo, como uno libre de flujo. Entonces, al mezclar polvos se desea permitir que la mezcla sea uniforme y homogénea, por lo tanto, el microencapsulado de eneldo, se puede decir que es propenso a una correcta homogenización cuando este sea mezclado.

10.4.4. Solubilidad del microencapsulado optimizado.

En la Tabla 19, se presenta una solubilidad de 62,06 % con una desviación estándar de 0,02 lo cual demuestra que no existió mayor variación entre las muestras analizadas. En la investigación de un microencapsulado en base a pimienta negra se expresa un valor de 90 % (Huayllahumán, 2019). En cuanto a un microencapsulado a base de zumo de carambola (*Averrhoa Carambola L.*), se obtiene un dato de 97,16 % de solubilidad (Lastra y Vivanco,

2015). Para el análisis de solubilidad de un microencapsulado de fitoesteroles de palma se presentaron valores de solubilidad de 83,59 % a 90,20 % (Pérez, 2020).

Previo a microencapsular, se debe escoger la matriz adecuada, es necesario que esta sea soluble en el disolvente elegido, esto permitirá que las paredes o membranas que se creen sean homogéneas, con una porosidad adecuada de la cápsula, logrando estabilidad al encontrarse en condiciones ambientales y de almacenamiento, y debe ser inerte al relacionarse con los otros compuestos. A nivel alimentario los procesos se realizan de forma acuosa, por lo tanto, es totalmente recomendado el uso de materiales encapsulantes con una excelente solubilidad en agua (Hernández-Torres et al., 2016).

De acuerdo a las investigaciones realizadas el microencapsulado de eneldo no goza de una excelente solubilidad, frente a los demás datos recogidos, esto se evidencia una vez que se intenta diluir el polvo en agua, pues se forman muchos grumos y partículas insolubles al homogenizar la mezcla. La maltodextrina utilizada y la goma arábica, son materiales recomendados para la microencapsulación por sus propiedades físicas, entre ellas la solubilidad, sin embargo, al emulsionar con el extracto se ha evidenciado que se pierde el grado de solubilidad inicial de los polvos una vez que contienen en su núcleo el extracto.

10.4.5. Índice de Carr del microencapsulado optimizado.

De acuerdo a la Tabla 19, se arroja el resultado para el índice de Carr de 43,02 % respecto al microencapsulado de eneldo con una desviación estándar de 0,01. En otra investigación realizada para el microencapsulado de aceite de tiburón, se muestra un dato del 31 % (García et al., 2021). En cuanto al microencapsulado de oleorresina de cúrcuma se da un valor de 35,91 % (Fabela Morón et al., 2016). En la investigación para un microencapsulado con mezcla de aceite de palma, palmiste y estearina de palma, se obtiene un valor bastante bajo de 12,6 % (Criollo, 2022). En cuanto al índice de Carr, expuesto en el estudio de un microencapsulado nutracéutico con actividad antioxidante a base de extractos de *Ilex guayusa*, *Vernonanthura patens* y cascarilla de cacao, se tiene un valor de 21 % en el proceso de secado por aspersión, con una diferencia en el proceso de liofilización que obtuvo un porcentaje de 32 % (Quijano, 2019).

Tomando en cuenta estos datos, el índice de Carr es elevado en relación a la Tabla 9, en la cual se determina >38 como polvos con poca fluidez, se establece entonces que al tener un índice de Carr de 43,02 %, el polvo no cuenta con fluidez, esto puede atribuirse a la composición de la pared encapsulante, considera Fabela-Morón et al. (2016), que el índice de Carr debe ser

considerado para las especificaciones de almacenamiento, pues este índice muestra la capacidad del polvo para compactarse.

10.4.6. Cociente de Hausner del microencapsulado optimizado.

El cociente de Hausner es un valor que expresa la relación entre las densidades aparente y compactada, en la Tabla 19, se muestra un valor de 1,75 mismo que se determina de la división de la densidad aparente entre la compactada. La desviación estándar no es considerable pues fue apenas de 0,01 lo cual no muestra diferencia entre las muestras. Así mismo, en la mencionada tesis de un microencapsulado de aceite de tiburón se obtiene un dato de 1,42 lo cual, demuestra la baja fluidez del polvo (García et al., 2021). En la investigación del microencapsulado nutracéutico con actividad antioxidante a base de extractos de *Ilex guayusa*, *Vernonanthura patens* y cascarilla de cacao, el cociente de Hausner es de ,127 (Quijano, 2019). En otro estudio del encapsulado de un extracto prebiótico a base de alga de *Silvetia compressa*, el autor presenta un rango de 2,20 a 1,63 del cociente de Hausner, considerando que este polvo no tiene facilidad para fluir (Vásquez, 2021).

La relación existente entre las densidades, implica la capacidad de cohesión de los polvos, esto explica que cuando existe una alta superficie de contacto entre partículas, se atraen y cohesionan con mayor fuerza, lo cual evita su fluidez, y provoca que al cabo del tiempo el polvo se compacte o apelmace en caso de que se ejerza algún tipo de presión en ellos (Rivera, 2020).

Se atribuyen estas características una vez más, al material de recubrimiento, se debe comprender que el almacenamiento y transporte de los polvos, requieren especial atención para evitar comprometer sus características, esto facilitará la manipulación y uso de los microencapsulados. Al tener un microencapsulado de extracto de eneldo con poca fluidez según los rangos especificados en la Tabla 10, es necesario determinar condicionamientos adecuados del ambiente en donde se almacenarán los polvos.

10.4.7. Morfología del microencapsulado optimizado.

De acuerdo a la morfología de las microcápsulas se realizó, por medio de la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM), se tomaron las micrografías de acuerdo a las siguientes condiciones expuestas en la Tabla 20:

Tabla 20

Condiciones para toma de micrografías de las microcápsulas

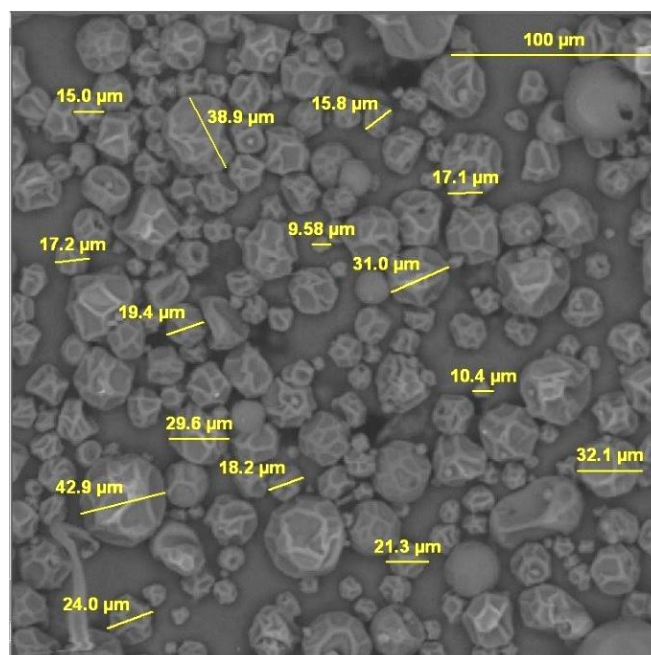
Parámetro	Valor
Magnificaciones	750X – 1000X
Voltaje de aceleración	20 kV carga
Porcentaje de carga del filamento	65,2%
Emisión de corriente	119,2 μ A
Presión de vacío	2,3 x 10 ⁻⁵ Torr

Nota: Elaboración propia (Pacheco y Toapanta, 2022).

El equipo utilizado fue un microscopio electrónico de barrido: Marca ASPEX, Modelo PSEM eXpress, rango de detección 500 nm a 5 mm.

Figura 9

Micrografías SEM a 750X de la muestra “Eneldo” (MS-22-0396)



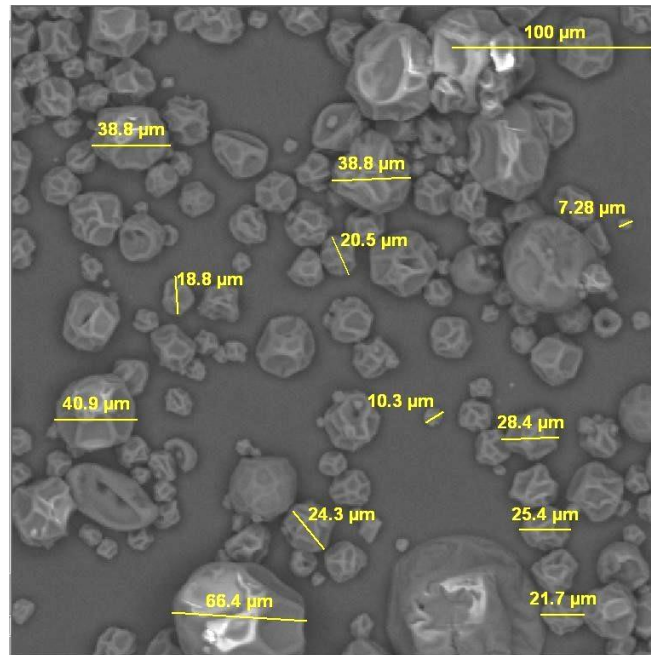
Nota: Fotografías captadas por microscopía electrónica de barrido, análisis realizado en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional.

Se observan en las imágenes diferentes microcápsulas, teniendo así esferas de forma irregular, con poca aglomeración entre sí, permitiendo observar así sus diferentes tamaños individualmente. Se pueden apreciar además esferas de diversos tamaños, encontrándose en rango desde los 9,58 μ m hasta los 42,9 μ m.

En la Figura 10, se muestran dos áreas adicionales del microencapsulado, con medidas de distintas cápsulas.

Figura 10

Micrografías SEM a 750X de la muestra "Eneldo" (MS-22-0396)



Nota: Fotografías captadas por microscopía electrónica de barrido, análisis realizado en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional.

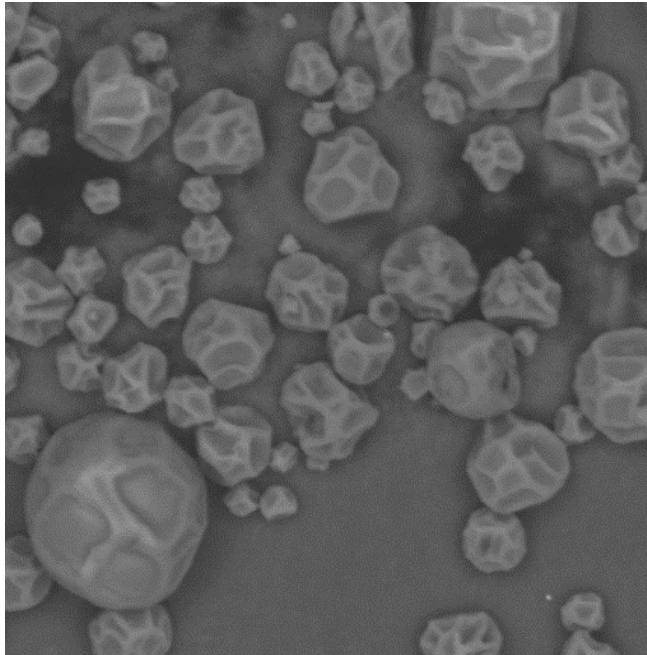
En esta imagen con una maximización de 750X, se permite reconocer microcápsulas de diversos tamaños, el rango para esta área analizada está entre 7,28 µm a 66,4 µm.

De las áreas analizadas, ambos datos son el límite superior e inferior respectivamente de las mediciones captadas por el equipo, siendo más predominantes las cápsulas de medida media, con un valor promedio aproximado de 26,08 µm del total de esferas medidas.

En la Figura 11, se puede observar la maximización a 1000X de las micropartículas de eneldo, para una mejor apreciación de su imagen.

Figura 11

Microcápsula de eneldo maximizada 1000X



Nota: Fotografías captadas por microscopía electrónica de barrido, análisis realizado en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional.

De acuerdo a otras fuentes, para el microencapsulado del extracto acuoso de capulín, se captaron imágenes de diferentes microcápsulas, esferas irregulares por su forma, sin mucha aglomeración entre ellas (Alvarado, 2016).

En cuanto a las características morfológicas para un microencapsulado de cacao, los polvos tienen partículas de varios tamaños con un rango entre 0 – 50 μm , en su mayoría, sin embargo, los tamaños fueron de diámetros entre 5 – 10 μm , y también rangos entre 10 y 15 μm (Sánchez, 2016).

Es así como se demuestra la gran variación que existe entre los tamaños de las cápsulas, ciertamente en los estudios analizados, las formas son similares, una estructura irregular respecto a microcápsulas obtenidas a través del secado por aspersion.

11. Impactos

Técnicos

La tecnificación en los procesos industriales es importante pues ha permitido mejorar los productos. En los diferentes procesos de transformación de materias primas se busca constantemente elaborar productos de consumo con mejores características en cuanto a: sabor, textura, aporte nutricional, para esto se pretende mejorar los procesos de producción, lo cual permitirá aumentar el tiempo de vida útil, entre otras características. Es así que al microencapsular principios bioactivos con materiales de grado alimentario, se pueden incluir en diversos procesos de producción agroindustrial, incorporando el eneldo como conservante gracias a sus propiedades antimicrobianas principalmente.

Económicos

Las empresas grandes, medianas y pequeñas, buscan la forma de mejorar sus réditos económicos, para lo cual mejoran sus procesos productivos, invierten en investigación y desarrollo, incluyen nuevas tecnologías, entre otros aspectos. Al contar con un insumo que podría ayudar a prolongar el tiempo de vida útil de los productos alimentarios, se permitirían innovar los productos finales obtenidos. Utilizando la tecnología del microencapsulado para aprovechar el uso de aditivos como conservantes, colorantes, saborizantes, antioxidantes, entre otros, permite una reducción en sus costos de producción, pues la relación costo beneficio de los microencapsulados hace de esta tecnología uno de las que mayor interés ha captado en la industria en los últimos tiempos.

12. Presupuesto

En cuanto a la obtención de materia prima, en este caso el eneldo fresco, se permitió su recolección en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi. A continuación, en la Tabla 21, se presenta el resumen de los costos para materiales y suministros, y reactivos utilizados.

Tabla 21

Costos para materiales y suministros, reactivos y análisis externos utilizados

Materiales y suministros	Cantidad	Costo U.	Costo Total
Papel aluminio	3	\$2,00	\$6,00
Fundas con cierre hermético	6	\$0,25	\$1,50
Tela lienzo	1 metro	\$1,8	\$1,8
Tijeras	1	\$0,75	\$0,75
Frascos de vidrio color ámbar	4	\$0,75	\$3,00
Reactivos	Cantidad	Unidad	Costo Total
Carbonato de sodio	50	g	\$50
Solución Folin	100	ml	\$150
Ácido gálico	10	g	\$100
Etanol para análisis	10	l	\$100
Cloruro de hierro	50	g	\$50
Acetato de sodio	20	ml	\$50
Ácido acético	200	ml	\$50
TPTZ	2	g	\$200
Sal mohr	2	g	\$100
Ácido clorhídrico	100	ml	\$50
Análisis	Muestra	Entidad	Costo Total
Microencapsulado	Emulsión extracto de eneldo, GA y MD	Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, EPN	\$1019,20
Morfología del microencapsulado	del Microencapsul ado	Laboratorio de Nuevos Materiales, EPN	\$131,04
TOTAL	-	-	\$2063,29

Nota: Elaboración propia. Se aclara que, en los valores presentados, no se incluyeron los costos de los materiales de laboratorio utilizados en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi, auspiciante del presente trabajo de titulación.

En cuanto a gastos por transporte se gastó un total de \$80, incluidos los viajes a la ciudad de Quito para entrega y recepción de muestras, y movilización dentro de la ciudad de Latacunga. Dando un total de \$2143,29 de costo total en la elaboración del proyecto.

13. Conclusiones y Recomendaciones.

13.1. Conclusiones

- El proceso de extracción hidroalcohólica fue eficiente, se obtuvo un total de extracto de 100 ml, este proceso de acuerdo a las tesis comparadas se lleva a cabo con mayor eficacia al utilizar disolventes como metanol, etanol y acetonas, en lugar de utilizar agua para la extracción de los principios bioactivos.
- A partir del extracto, se reportan los valores para la caracterización del extracto, obteniendo así las propiedades fisicoquímicas del pH con 5,28, una humedad de 82,34 %, sólidos solubles de 14,5 °Brix y finalmente, una capacidad antioxidante de 850 μM Fe^{2+}/g muestra. De acuerdo al contenido de polifenoles, la microencapsulación se requiere a fin de preservar sus propiedades, evitando la degradación y volatilización de los compuestos de interés.
- De acuerdo a las condiciones de la TAE de 150 °C y VFA de 500 ml/h el mejor valor para el rendimiento es de 89,23 %, para la humedad de 2,29%, siendo este el más bajo, y una eficacia del microencapsulado de 88,23 %. Estos resultados se reportan para un recubrimiento de maltodextrina y goma arábiga, los cuales son materiales encapsulantes utilizados constantemente para proteger principios activos obtenidos de fuentes vegetales. Con las condiciones de secado establecidas en conjunto con el material encapsulante escogido, se obtiene un producto final con características apropiadas para el uso esperado, así también se determinan las condiciones ideales para el proceso de secado por aspersion.
- De acuerdo al microencapsulado, se realizó su caracterización, los datos de los análisis realizados son: de higroscopicidad 17,32 g/100 g, densidad aparente 0,35 g/ml, densidad compactada 0,62 g/ml, ángulo de reposo de 33,69, solubilidad 62,06 %, índice de Hausner 1,75, índice de Carr 43,04 %, capacidad antioxidante 678,12 (μM Fe^{2+}/g muestra).

13.2. Recomendaciones

- Realizar una comparación respecto a distintas matrices de encapsulación, para determinar si los materiales con diferentes características físicas a la maltodextrina y la goma arábiga, tienen incidencia en los aspectos de rendimiento y caracterización, así como en su almacenamiento, manipulación, usos, etc.
- Determinar el microencapsulado, a distintos tiempos de almacenamiento, respecto a su capacidad antioxidante y actividad microbiana, a fin de especificar el tiempo de vida útil de los polvos producto de la microencapsulado.
- Analizar a través de diversas metodologías respecto a qué materiales encapsulantes otorgan mejores características al producto final y comparar los resultados de los análisis de caracterización, para determinar cuál de ellos protege de manera óptima los principios activos.

14. Referencias.

- Organización Mundial de la Salud. (1993). Medicina Tradicional. *Foro Mundial de la Salud*, 14. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/47707/WHF_1993_14_4_p390-395_spa.pdf
- Al-Khattawi, A., Bayly, A., Phillips, A. y Wilson, D. (2017). El diseño y escalado de partículas secadas por aspersion en sistemas de entrega. *Opinión de expertos sobre la administración de medicamentos*, 15(1), 47-63. <https://doi.org/10.1080/17425247.2017.1321634>
- Alvarado, S. (2016). *Microencapsulación de un extracto acuoso de Capulín (Prunus serotina) empleando secado por aspersion y mezclas de almidón de maltodextrina y chinchayote* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. Bitstream. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/26241/ALVARADO%20DE%20LEON%20c%20SERGIO%20DANIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amaguaña, F. y Churuchumbi, E. (2018). *Estandarización fitoquímica del extracto de caléndula (Calendula officinalis)*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Dspace. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16149/1/UPS-QT13324.pdf>
- Arenas, M., Suñé, J. y García, E. (2020). Una visión general de la microencapsulación en la industria alimentaria: oportunidades, desafíos e innovaciones. *Investigación y tecnología alimentaria europea*, 246, 1371–1382. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x>

- Arias, C. (2019). *Efecto de los materiales de pared sobre las características fisicoquímicas y compuestos bioactivos de una salsa para pizza secada por aspersion*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nayarit]. Bitstream. http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/2314/1/Efecto%20de%20los%20materiales%20de%20pared%20sobre%20las%20caracter%20adsticas%20fisicoqu%20admicas%20y%20compuestos%20bioactivos%20de%20una%20salsa%20para%20pizza%20secada%20por%20aspersi%20b3n._compressed.pdf
- Arazola, G., Herazo, I. y Alvis, A. (2014). Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersion y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante. *Información Tecnológica*, 25(3), 31-42. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000300006&script=sci_arttext&tlng=en
- Arroyo, J. (2015). *Conservación de alimentos mediante microencapsulación por emulsificación*. [Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba]. Bitstream. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/1057/TRABAJO%20DE%20GRADO%20%20JOE%20ARROYO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asmat-Campos, D., Juárez-Cortijo, D., Nazario-Naveda, Vejarano, R., Mercedes-Cárdenas, Cadillo-Solano y Siche, R. (2020). Influencia del tipo de solvente y pH para la extracción de compuestos reductores de los residuos vitivinícolas en la elaboración de nanopartículas de plata [conferencia]. *Multiconferencia Internacional de Ingeniería, Educación y Tecnología*, Buenos Aires, Argentina. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28003/Influence%20of%20the%20type%20of%20solvent%20and%20pH%20for%20the%20extraction%20of%20reducing%20compounds%20of%20wine%20residues%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Assadpour, E., y Jafari, S. (2019). Avances en la encapsulación por secado por aspersion de ingredientes bioactivos alimentarios: de microcápsulas a nanocápsulas. *Revista anual de ciencia y tecnología de los alimentos*, 10(1), 1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121641>
- Bankova, V., Trusheva, B. y Popova, M. (2021). Métodos de extracción de propóleo: una revisión. *Revista de Investigación Apícola*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1901426>

- Barradas, R. (2021). *Desarrollo de polvo de pulpa de aguacate estabilizada con jengibre por secado por aspersión*. [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana]. Bitstream. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50790/BarradasPretelinRaul.pdf?sequence=1>
- Bastida, M. (2019). *Microencapsulación de aceite esencial de naranja empleando mezclas de polisacárido-proteína como agentes encapsulantes*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Bitstream. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/104754/Tesis%20Miguel%20Angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Benítez, A., Villanueva, J., González, G., Alcántar, V., Puga, R. y Quintero, A. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>
- Benítez, R., Sarria, R., Gallo, J., Pérez, N., Álvarez, J. y Giraldo, C. (2019). Obtención y rendimiento del extracto etanólico de dos plantas medicinales. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 15(1), 31-38. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3597>
- Boneder, S., Iñón, A. y Jara, S. (2019). *Determinación de humedad, materia orgánica y nitrógeno en dos muestras de compost y una de suelo del bosque*. [Universidad Nacional de La Plata]. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/93456/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Butsat, S. y Siriamornpun, S. (2016). Efecto de los tipos de solventes y tiempos de extracción en fenólicos y flavonoides contenidos y actividad antioxidante en extractos de hojas de *Amomum chinense* C. *Revista internacional de investigación alimentaria*, 23(1), 180-187. [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(01\)%202016/\(28\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(01)%202016/(28).pdf)
- Cai, Y. y Corke, H. (2000). Producción y Propiedades de Secado por aspersión. Pigmentos de *Amaranthus* betacianina. *Revista de Ciencia de los Alimentos*, 65(6), 1248-1252. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x
- Cancino, L. (2019). *Microencapsulación de Enterococcus faecium usando secado por aspersión*. [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Básicas].

Bitstream.

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50793/CancinoCastilloLuis.pdf?sequence=1>

Cárdenas, R. (2021). *Propagación in vitro de Alternanthera ficoidea (coqueta), extracción y pulverización de colorantes naturales por spray drying*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Bitstream. <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12920/11201/42.0253.IB.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Cacazarzar, I. (2016). *Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las Frutas*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Bitstream. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11453/An%C3%A1lisis%20f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20calidad%20de%20las%20frutas.pdf?sequence=1>

Chamba, Y. y Quispe, S. (2021). *Desarrollo de un microencapsulado a base de orégano (Origanum Vulgare, L), mediante secado por aspersión*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Bitstream. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8159/1/PC-002078.pdf>

Chávez, J., Lizárraga, V. y Vargas, E. (2020). Caracterización físico química de los componentes volátiles del *Tecoma fulva subsp. arequipensis* (cahuato). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), 246-2549. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.298>

Choudhury, N., Meghwal, M. y Das, K. (2021). Microencapsulación: una descripción general de conceptos, métodos, propiedades y aplicaciones en alimentos. *Fronteras alimentarias*, 1-17. <https://doi.org/10.1002/fft2.94>

Coca, E. (2021). *Microencapsulación de extracto de cáscara de granada por secado por atomización y su efecto en la estabilidad microbiológica de jugo de fruta no pasteurizado*. [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Bitstream. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/184649/Microencapsulacion-de-extracto-de-cascara-de-granada-por-secado-por-atomizacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Conferencia de la Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo [UNCTAD]. (2018, 25 de abril). *Goma arábica: el aumento de la demanda crea nuevas oportunidades para los productores africanos*. <https://unctad.org/es/press-material/goma-arabiga-el-aumento-de-la-demanda-crea-nuevas-oportunidades-para-los-productores>
- Criollo, V. (2022). *Microencapsulación de una mezcla de aceite de palma, palmiste y estearina de palma (Elaeis guineensis) mediante el método de secado por atomización*. [Tesis de pregrado, ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas]. Bitstream. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29338/1/T-ESPE-052307.pdf>
- Díaz-Montes, E., Vargas-León, E., Garrido-Hernández, A. y Cerón-Montes, G. (2021). Simulación de la transferencia de calor en el contenedor de alimentación del secador por aspersión y su control de temperatura. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(2), 168-173. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/7947/8697>
- Domínguez, K. (2019). *Microencapsulación de extractos metanólicos de Crotalaria longirostrata*. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez]. Bitstream. <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/3366/MDRPIBQ2018056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fabela-Morón, M., Perea-Flores, M. y Bellettini, M. (2016). Microencapsulación de oleoresina de cúrcuma a partir de una emulsión aceite en agua (o/w) mediante secado por aspersión. *Revista de Ingeniería y Tecnologías para el Desarrollo Sustentable*, 1, 48-52. http://reingtec.itsoeh.edu.mx/docs/voll_2016reingtec/ARTICULO_9.pdf
- Fagundes, V., Lorenzoni, G., Ilha, G., Lucas, B., Caetano, V., Emanuelli, T., Smanioto, J., Ragagnin, C. y Severo, C. (2020). Extracción, caracterización y microencapsulación de isoflavonas a partir de melaza de soja. *Tecnología de Alimentos Ciencia Rural*, 50(3), 1-7. <https://www.scielo.br/j/cr/a/tjhHz5QfNbQT53Bc4qdFDGgb/?format=pdf&lang=en>
- Fernandes, L. P., Candido, R. C., & Oliveira, W. P. (2012). Microencapsulación por secado por aspersión de extractos de Lippia sidoides en mezclas de carbohidratos. *Procesamiento de Alimentos y Bioproductos*, 90(3), 425–432. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.001>
- Fernandes, R. V. de B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Goma arábica/almidón/maltodextrina/inulina como materiales de pared en la microencapsulación

- de aceite esencial de romero. *Polímeros de carbohidratos*, 101, 524–532.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>
- Food and Drug Administration [FDA]. (2022, 29 de marzo). *Maltodextrin*.
<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=184.1444>
- García, C., Fernández, M., Castañera, M., López, O., Martínez, V. y Nogueira, A. (2021). Aceite de hígado de tiburón microencapsulado: Desarrollo de una formulación de cápsulas duras. *Revista de Investigación en Farmacia y Farmacognosia*, 9(2), 195-207.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/66132587/jppres20.934_9.2.195_1_-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1660189988&Signature=WGnubHVakqKLg3qa-kx9bWDKWIOzIG-kUbiByGKOXrFurfE8nZdxaJtsDDO-8-1MwcCZCHIq-Lpzm8oZ8Vi165J3fZV9rV-h2EiRzbp4PNwpWfjvxihfOO8-yQUhNP3ZYzwM8HXEPcQgd2SQmkPm7trTtY12V4S zR9N8M-~GXLlsepOhOHPS7SNsWwN1uxGfSHXkcUV2Fqj~w30-sRFUby98AA8F3GFcMHKL7NvO3STuyQ4PP0kUwuOtT7~x98zwQDOD1b~FWkCdJSXEqa6YHOocyT3ULnLAE0pjyIH5eWnUhuHJA-S7-l-zyRerIRZU2c88TE8aQHCGpeDTXnOMQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Gonzabay, C. y Lindao, C. (2019). *Determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante del extracto metanólico de la cáscara de sandía (Citrullus lanatus) variedad Charleston grey*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Bitstream.
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/43616/1/BCIEQ-T-0420%20Gonzabay%20Cuadrado%20Carla%20Stephanie%3b%20Lindao%20Bararata%20Cindy%20Stefan%3%ada.pdf>
- González, R., Cabrera, N., Mendoza, H. y Arzate, R. (2020). Métodos de Investigación: Experimentales y Cualitativos. *Alternativas en Psicología*, 110(44), 108-120.
<https://alternativas.me/attachments/article/230/8%20-%20M%C3%A9todos%20de%20Investigaci%C3%B3n.pdf>
- González, R., Tarón, A. y Morón, L. (2015). Formación de Microcápsulas de Tamaño Controlado por Gelación Iónica Utilizando Mezclas Biopoliméricas Binarias. *Información tecnológica*, 26(6), 0718-0764.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000600005&lng=en&nrm=iso&tlng=en

- Guevara, D., Abreu, J., Pérez, D., Cartaya, R. (2021). Estudio fitoquímico preliminar y actividad antioxidante de un extracto acuoso de hoja de aguacate (*Persea americana Mill.*). *Revista de Ciencias de la Salud*, 5(3), 56-65. <https://doi.org/10.33936/qkracs.v5i3.3567>
- Guevara, G., Verdesoto, A. y Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 4(3), 163-173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Hernández-Torres, C., Iliana, A., Ventura-Sobrevilla, J., Belmares-Cerda, R., Contreras-Esquivel, J., Michelena, G. y Martínez-Hernández, J. (2016). La microencapsulación de bioactivos para su aplicación en la industria. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 12–19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223148420003>
- Herrera, S. (2018). *Efecto de la concentración de goma arábiga y temperatura de aire de secado por aspersión en el contenido de carotenoides totales, vitamina c y actividad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol (Cyphomandra betacea de solanum betaceum)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Bitstream. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4373/Herrera%20C.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huayllahuamán, E. (2019). *Microencapsulación de aceite esencial de menta negra (Mentha piperita L.) por atomización*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Bitstream. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2076/Efrain_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Iglesias, E. y Pichucho, P. (2021). Desarrollo de un microencapsulado de cedrón (*Aloysia citrodora*), mediante secado por aspersión. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Bitstream. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8176/1/PC-002133.pdf>
- Illescas, A. y Lovato, C. (2020). *Estudio del perfil fitoquímico y posibles aplicaciones de los extractos alcohólicos, etéreo y acuoso del sunfo (Clinopodium nubigenum (Kunth) Kuntze)*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Bitstream. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6998/1/PC-000970.pdf>

- Infoagro. (2016). *El cultivo del eneldo (Parte I)*.
https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_eneldo__parte_i_.asp
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2001). *Cantón Guano*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantonales/Chimborazo/Fasciculo_Guano.pdf
- Jarrín, K. (2021). *Obtención de microcápsulas de colágeno hidrolizado enriquecido con pulpa de Ananas comusus (piña) mediante el método de secado por atomización para su posterior aplicación en la industria alimentaria*. [Tesis de pregrado, ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas]. Bitstream. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29280/1/T-ESPE-052300.pdf>
- Jiménez, L. (2020). Impacto de la investigación cuantitativa en la actualidad. *Tech Convergence Revista Científica*, 4(1), 59-68. https://www.researchgate.net/profile/Ledy-Jimenez/publication/352750927_IMPACTO_DE_LA_INVESTIGACION_CUANTITATIVA_EN_LA_ACTUALIDAD/links/60d66a7b299bf1ea9ebe5113/IMPACTO-DE-LA-INVESTIGACION-CUANTITATIVA-EN-LA-ACTUALIDAD.pdf
- Jiménez, O. (2017). *Obtención, evaluación de pigmentos microencapsulados a partir de frutos xkijit (Renealmia alpinia) e incorporación en una matriz alimenticia*. [Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional BUAP. <https://repositorioinstitucionalbuap.mx/handle/20.500.12371/648>
- Kaderides, K., Goula, A. y Adamopoulos, K. (2015). Un proceso para convertir las cáscaras de granada en un valioso ingrediente alimentario mediante extracción y encapsulación asistidas por ultrasonido. *Ciencia innovadora de los alimentos y tecnologías emergentes*, 31, 204–215. doi: 10.1016/j.ifset.2015.08.006
- Layne-Garsaball, J. y Méndez-Natera, J. (2017). Efectos de extractos acuosos de la maleza *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031. *Revista Peruana de Biología*, 14(1). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332007000200013&script=sci_arttext
- Lechanteur y Evrard. (2020). Influencia de la composición y el proceso de secado por aspersion. Parámetros en propiedades de DPI sin portadora y comportamientos en el pulmón: una revisión. *Farmacía*, 12(1), 55. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12010055>

- Mancebo, J. (2020). *Microencapsulación de jugo de remolacha (Beta vulgaris L.) con proteína de guisante mediante atomización*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]. Bitstream. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/148966/Mancebo%20-%20Microencapsulaci%c3%b3n%20de%20jugo%20de%20remolacha%20%28Beta%20vulgaris%20L.%29%20con%20prote%c3%adna%20de%20guisante%20med....pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Manzanarez, L., Cruz, S., Márquez-Ríos, E., Ornelas-Paz, J., Del-Toro-Sánchez, C., Wong-Corral, F., Suárez-Jiménez, G., Dévora-Isiordia, G. y Holguín-Soto, R. (2020). Microencapsulación de extractos de higo (*Ficus carica*) por coacervación compleja y evaluación de su capacidad antioxidante. *Biocencia*, 22(2), 1665-1456. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v22i2.1247>
- Martínez, S. (2017). *Estudio del efecto de la microencapsulación sobre la bioaccesibilidad gástrica in vitro de compuestos bioactivos de taxo (Passiflora mollissima), mora (Rubus glaucus benth) y mortiño (Vaccinium floribundum kunth)*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Bibdigital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17357/1/CD-7856.pdf>
- Mercado-Mercado, G., De la Rosa, L., Wall-Medrano, A., López, J. y Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36-46. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013000100005
- Millán, F., Prato, J., La cruz, Y. y Sánchez, A. (2018). Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost. *Revista Colombiana de Química*, 47(2), 27-27. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67338>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Listado registro manual de cifras individuales*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/Listado-registro-manual-hasta-el-28-de-abril-2020.xlsx>
- Montes, E., De Paula, C. y Ortega, F. (2007). Determinación de las condiciones óptimas de encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Temas Agrarios*, 12(1), 5-12. https://www.researchgate.net/publication/277246550_ARTICULOS_CIENTIFICOS_DE

TERMINACION_DE_LAS_CONDICIONES_OPTIMAS_DE_ENCAPSULAMIENTO_
 POR_COCRISTALIZACION_DE_JUGO_DE_MARACUYA_Passiflora_edulis

- Morón, C. y Zacarías, I. (1997). *Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición*. <https://www.fao.org/3/ah833s/Ah833s16.htm>
- Ochoa, M. (2020). *Plantas y hierbas aromáticas*. https://books.google.com.ec/books?id=yVHhDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Ozliman, S., Yaldiz, G., Camlica, M. y Ozsoy, N. (2021). Chemical components of essential oils and biological activities of the aqueous extract of *Anethum graveolens* L. grown under inorganic and organic conditions. *Tecnologías químicas y biológicas en la agricultura*, 8(20), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00224-9>
- Palacio, J., Cadavid, B. y Agudelo, D. (2016). Sistema tipo marquesina de doble cámara, para el deshidratado de plantas aromáticas y medicinales empleando energía solar. *Revista Politécnica*, 12(22), 51-55. <https://www.redalyc.org/journal/6078/607863422006/html/#:~:text=Para%20un%20deshidratado%20correcto%20de,constante%20de%20aire%20%5B2%5D>.
- Palacios, L. (2020). *Secados por aspersión de mieles de caña como base para la obtención de productos instantáneos de panela*. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional de Colombia]. Bitstream. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77551/52500964.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Papoutsis, K., Golding, J., Vuong, Q., Pristijono, P., Stathopoulos, C., Scarlett, C. y Bowyer, M. (2018). Encapsulación de extractos de subproductos cítricos mediante secado por aspersión y secado por congelación. Combinaciones de maltodextrina con proteína de soja y ι-carragenina. *Foods*, 7(7), 115. doi:10.3390/foods7070115
- Parra, R. (2010). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5669-5684. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>

- Parzanese, M. (2018). *Microencapsulación. Tecnologías para Industria Alimentaria*. http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_20_Microencapsulacion.pdf
- Penelo, L. (2018). *Eneldo: beneficios, propiedades y valor nutricional*. La Vanguardia, España. <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20180928/452052642281/eneldo-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>
- Pérez, A. (2020). *Evaluación de la relación etanol: agua y porcentaje de maltodextrina en las propiedades físico-químicas de fitoesteroles de palma (Elaeis guineensis) microencapsulados con gelatina*. [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. Bitstream. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9713a679-c358-4240-8ea3-6a876cc646da/content>
- Quijano, M. (2019). *Desarrollo de un microencapsulado nutracéutico con actividad antioxidante a base de extractos de Ilex guayusa, Vernonanthuria patens y cascarilla de cacao*. [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Bitstream. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52964/1/T-111220%20Quijano%20Aviles.pdf>
- Quiñones, M., Miguel, M. y Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009#:~:text=As%C3%AD%20pues%2C%20las%20fuentes%20mayoritarias,de%20epicatequinas%2C%20catequinas%20y%20procianidinas.
- Ramos, L. (2017). *Estudio del efecto normoglucemiante en animales de experimentación entre el extracto acuoso y el extracto etanólico del pedúnculo de la flor del banano (Musa acuminata Colla)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Bitstream. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21902/1/BCIEQ-T-0219%20Ramos%20Gaibor%20Leonardo%20Javier.pdf>
- Reyes-Ruiz, L. y Carmona, F. (2020). *La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio*. Sitio Web de la Universidad Simón Bolívar. <http://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/6630/La%20investigaci%20b3n%20documental%20para%20la%20comprensio%20b3n%20onto%20b3gica%20del%20objeto%20de%20estudio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>







- Ribeiro, J. y Veloso, C. (2021). Microencapsulación de colorantes naturales con biopolímeros para aplicación en alimentos: Una revisión. *Hidrocoloides alimentarios*, 112, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106374>
- Ríos, S. y Gil, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51), e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rivera, M. (2020). *Microencapsulación de Astaxantina y su aplicación potencial en bebidas*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa]. Repositorio de la universidad. http://mcta.uas.edu.mx/pdf/repositorio/2017-2019/03_Rivera_Salas_Maria_Magdalena.pdf
- Rodríguez-Hernández, L., Aragüez-Fortes, Y. y Pino, J. (2021). Microencapsulación de aceites vegetales mediante secado por aspersión. *Afinidad Revista de Ingeniería Química Teórica y Aplicada*, 79(596), 4-15. <https://doi.org/10.55815/400725>.
- Rodríguez-Conterón, O. y López-Hernández, O. (2021). Extractos de plantas microencapsuladas con potencial actividad antiviral: una revisión general. *Grupo de investigación Andes Bioactivos*. https://www.researchgate.net/publication/354152948_EXTRACTOS_DE_PLANTAS_MICROENCAPSULADAS_CON_POTENCIAL_ACTIVIDAD_ANTIVIRAL_UNA_REVISION_GENERAL_MICROENCAPSULATED_HERBAL_EXTRACTS_WITH_ANTIVIRAL_ACTIVITY_POTENTIAL_AN_OVERVIEW
- Rojas-Angulo, R., Yáñez-Jara, F., Márquez-Hernández, I. y Campo-Fernández, M. (2020). Evaluación farmacognóstica de hojas y extractos de *Coriandrum sativum* L. de diferentes procedencias. *Revista Ciencia UNEMI*, 13(33), 73-84. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8375319.pdf>
- Rueda, B. (2020, 29 de octubre). *El eneldo: una hierba aromática con personalidad y mucha historia*. Bon Vivour. <https://www.bonviveur.es/gastroteca/el-eneldo-una-hierba-aromatica-con-personalidad-y-mucha-historia#:~:text=Esta%20planta%20arom%C3%A1tica%20pertenece%20a,sus%20cualidades%20calmantes%20y%20antioxidantes>.
- Salminen, H., Ankenbrand, J., Zeeb, B., Böhnish, G., Schäfer, C., Kohlus, R., y Weiss, J. (2018). Influencia del secado por aspersión en la estabilidad de lípidos sólidos de grado

- alimentario nanopartículas. *Investigación Internacional de Alimentos*, 1-27.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.056>
- Sánchez, M. (2020). *Microencapsulación de biocontroladores: revisión del estado del arte*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena]. Bitstream.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/14602/MARIA%20XIMENA%20SANCHEZ%20CAQUIMBO%20-%20Trabajo%20Final%20Monografia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez-Molina, D., Vargas-Porras, M., Ortega-Toro, R. y Piñeros-Castro, Y. (2018). Extracción y encapsulación de compuestos fenólicos provenientes de cascarilla de arroz. *Revista Colombiana de Ciencias Químicas Farmacéuticas*, 47(3), 410-423.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v47n3/0034-7418-rccqf-47-03-410.pdf>
- Sánchez, Z. (2016). *Evaluación de propiedades fisicoquímicas, morfológicas y sensoriales de microencapsulados de cacao obtenidos por spray drying*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Bitstream.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56654/1106778773.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santos, D. y Santos, L. (2021). *Microencapsulación del jugo de mora (Rubus glaucus) usando goma garrofin en el proceso de atomización*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Bitstream.
https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/9546/Santos_Cubas_Deysi_Jazm%3%adn_y_Santos_Cubas_Lourdes_Melinna.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Serrano, L. (2014). *La observación como base del componente empírico en la investigación científica* [Tesis de Doctorado, Universidad del Zulia]. Research gate.
https://www.researchgate.net/publication/340938721_LA_OBSERVACION_COMO_BASE_DEL_COMPONENTE_EMPIRICO_EN_LA_INVESTIGACION_CIENTIFICA
- Silva, J. (2022). *Optimización del proceso de extracción hidroalcohólica a partir del eneldo (Anethum graveolens) en función del contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi] Bitstream.
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8381/1/MUTC-001118.pdf>
- Tello, J., López, O., Pérez, Y., Ruiz, V. y Carpio, C. (2020). Potencial antiinflamatorio y citotóxico del extracto acuoso de *Taraxacum officinale* (diente de león). *Revista Cubana de*

- Plantas Medicinales*, 25(2), 1-18. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubplamed/cpm-2020/cpm202b.pdf>
- University of Illinois Extension. (s.f.). Eneido. *Jardinería con hierbas*. https://web.extension.illinois.edu/herbs_sp/dill.cfm#:~:text=Descripci%C3%B3n,se%20cosechan%20para%20usos%20culinarios.
- Urbina, E. (2020). Investigación cualitativa. *Ciencias Aplicadas en Odontología*, 1(3), 1-2. <https://ieya.uv.cl/index.php/asid/article/download/2574/2500>
- Vargas, L., Martínez, P. y Guarnizo, A. (2013). Algunas características fisicoquímicas del jugo del pseudotallo de plátano *Dominico Hartón*. *Revista de Ciencias Universidad del Valle*, (1), 47-57. https://revistaciencias.univalle.edu.co/index.php/revista_de_ciencias/article/download/498/620/1532#:~:text=El%20jugo%20de%20pseudotallo%20est%C3%A1,polisac%C3%A1ridos%20hacen%20parte%20de%20estos.
- Vázquez, V. (2021). *Desarrollo de un extracto prebiótico a partir del alga *Silvetia compressa**. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio de la universidad. <http://eprints.uanl.mx/22278/1/1080315361.pdf>
- Vergara, A., Páucar, K., Morales, C., Castro, O., Pizarro, P. y Díaz, J. (2018). Obtención de extractos de hojas de *Annona muricata* L. (Guanábana) inducidos por su efecto inhibitor de la corrosión. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(1). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2018000100011&script=sci_arttext&tlng=en
- Zamayo, Y. y Pfruyo, R. (2011). *Evaluación del efecto citoprotector gástrico y efecto hepatoprotector del extracto seco hidroalcohólico al 70% de *plantago major* l. (llantén) en animales de experimentación*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. Bitstream. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/1067/253T20110047.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos

Anexo 1. Evidencia fotográfica del proceso de obtención del polvo de eneldo

<p>Materia prima lista para limpieza.</p>	<p>Preparación de tallos, hojas y flores para la deshidratación de la materia prima.</p>	<p>Deshidratación en la estufa por un período de 48 horas.</p>
 <p>A photograph showing a large pile of fresh green fennel stalks and leaves. In the foreground, a white digital scale with a green display shows a weight of 154.74g. The scale is a Precisa XB 2200C model.</p>	 <p>A photograph showing the prepared fennel stalks and leaves, which have been cut into smaller pieces, arranged in a white tray. The tray is placed on a surface, possibly a scale or a counter.</p>	 <p>A photograph showing the prepared fennel stalks and leaves inside an oven. The oven door is open, revealing the contents on a metal tray. The oven's digital display shows a time of 0:48.</p>
<p>Molienda del eneldo deshidratado.</p>	<p>Pesaje del polvo obtenido de la molienda del eneldo deshidratado.</p>	<p>Sellado al vacío del polvo de eneldo.</p>
 <p>A photograph showing a person wearing a white lab coat and a black face mask, using a manual mortar and pestle to grind dried fennel powder. The person is holding the pestle over a small metal bowl.</p>	 <p>A photograph showing a pile of dried fennel powder on a white surface. Below the powder, a white digital scale with a green display shows a weight of 111.31g. The scale is a Precisa model with a maximum capacity of 2200g and a minimum capacity of 0.5g.</p>	 <p>A photograph showing a clear plastic vacuum seal bag filled with dried fennel powder. The bag is placed inside a vacuum sealer machine, which is shown in the background.</p>

Anexo 2. Evidencia fotográfica de preparación del extracto hidroalcohólico de eneldo.

<p>Preparación de disolución agua-etanol.</p>	<p>Medición de los grados de alcohol de la disolución.</p>
	
<p>Introducción del polvo de eneldo en el recipiente con alcohol.</p>	<p>Tratamiento térmico de la mezcla del extracto y la disolución hidroalcohólica para extracción de componentes bioactivos.</p>
	

Anexo 3. Evidencia fotográfica de extracción del disolvente del extracto hidroalcohólico de eneldo, mediante rotaevaporador.

Limpieza y preparación del rotaevaporador.



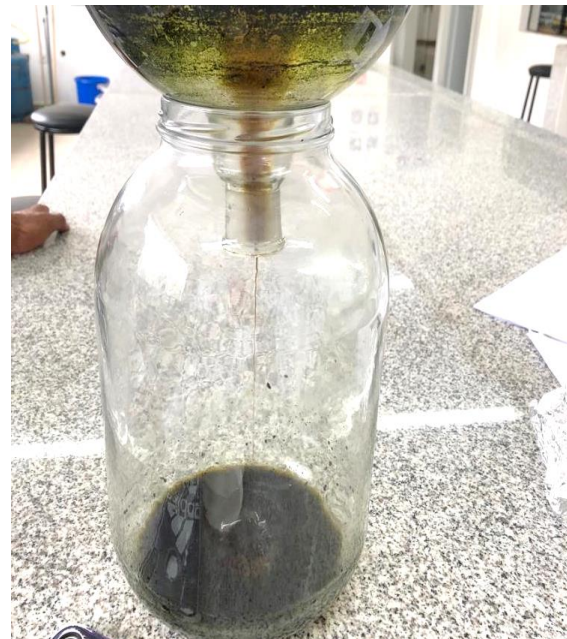
Filtrado e introducción de la muestra en el balón del rotaevaporador.







Obtención del extracto libre de etanol.



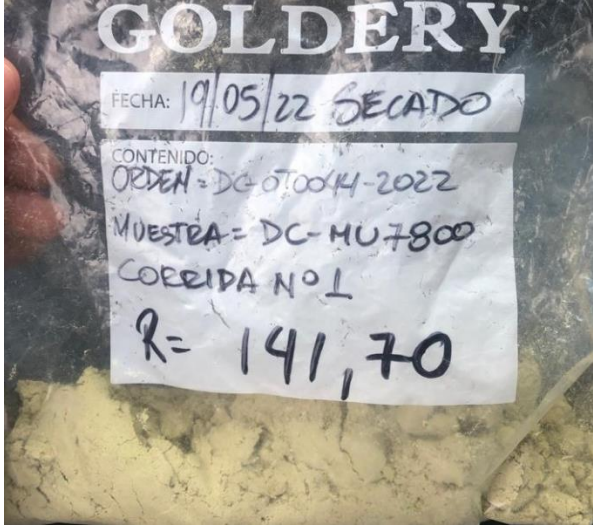
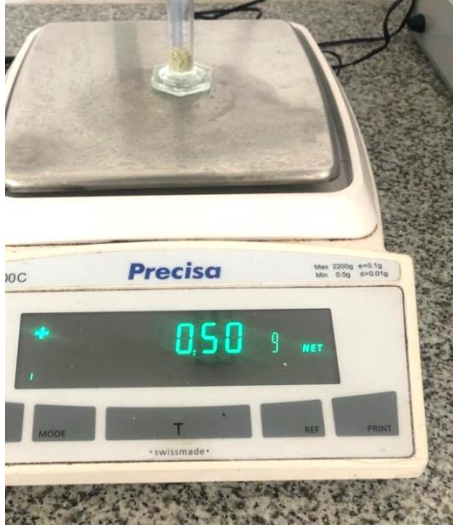
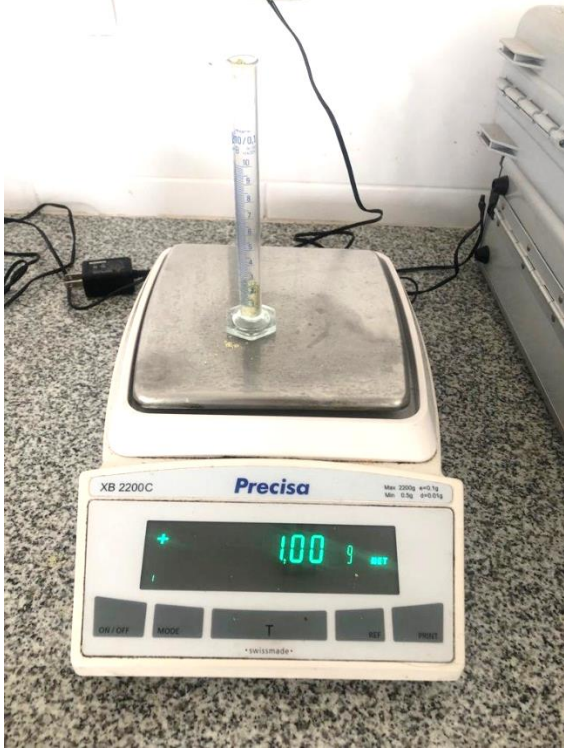

Mezcla del extracto libre del disolvente con agua destilada.




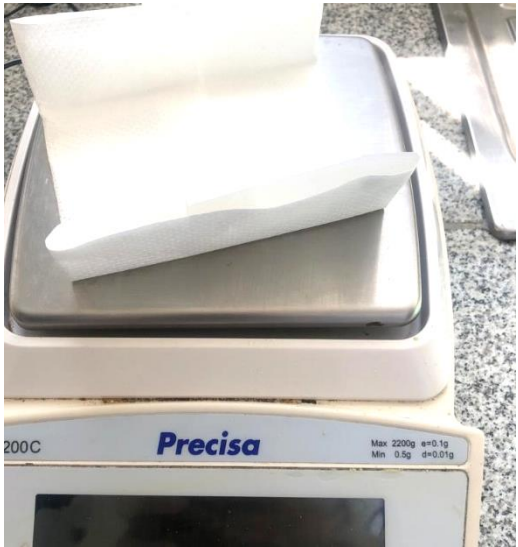
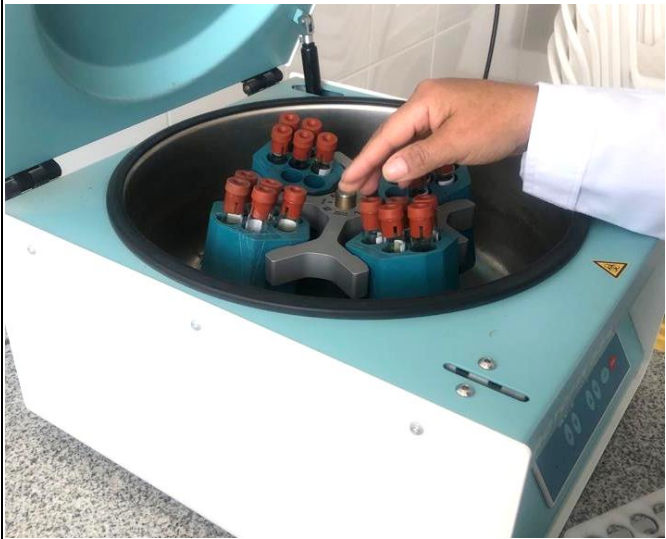
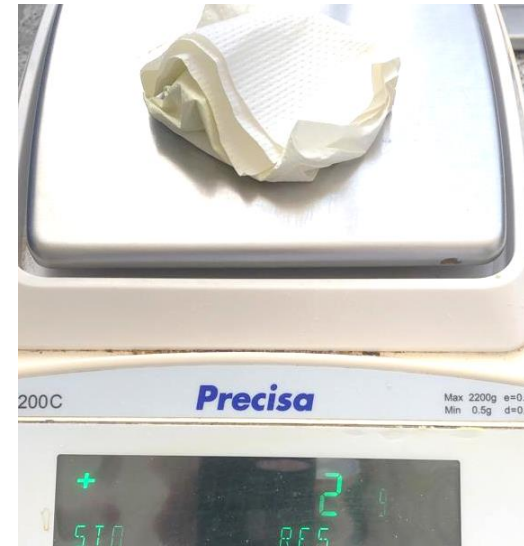
Anexo 4. Caracterización del extracto de eneldo.

Preparación de reactivos para la determinación de FRAP.	Determinación de sólidos solubles mediante el refractómetro.
	
Preparación de la muestra para determinación de pH.	Disolución para la curva de calibración.
	

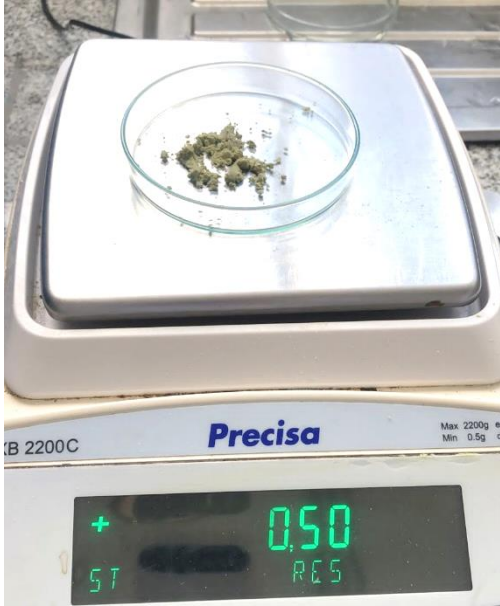

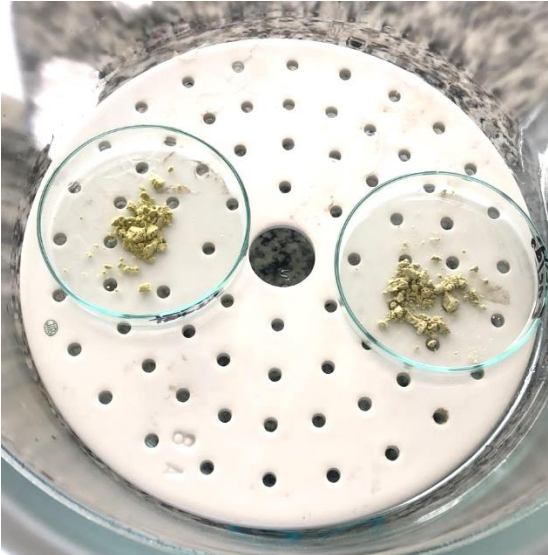
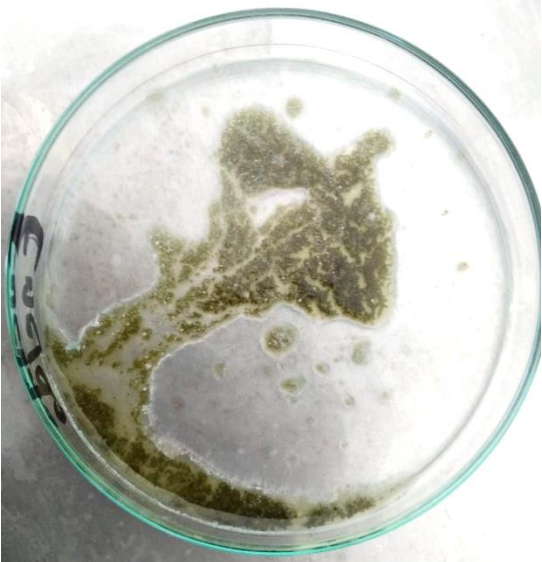
Anexo 5. Análisis de densidad aparente y compactada del microencapsulado.

<p>Muestra del microencapsulado con mejor rendimiento.</p>	<p>Peso de la muestra para determinación de densidad aparente.</p>
	
<p>Peso de la muestra para densidad compactada.</p>	<p>Determinación del volumen para cálculo de densidad compactada.</p>
	

Anexo 6. Determinación de solubilidad del microencapsulado.

Filtrado de la muestra diluida en agua destilada.	Peso del papel filtro.
	
Muestra en la centrifugadora.	Peso del papel filtro con la muestra seca.
	

Anexo 7. Análisis de higroscopía del microencapsulado.

Peso de las muestras.	Sulfato de sodio para el desecador.
	
Introducción de dos muestras en el desecador.	Muestra húmeda al cabo de una semana en el desecador.
	

Anexo 8. Informe recibido del análisis morfológico de las microcápsulas.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS No. IS-2022-029

Orden de trabajo: DT-OT0022-2022

Quito, 11 de julio de 2022

DATOS DE LA EMPRESA/INSTITUCIÓN SOLICITANTE

Solicitado por: Evelin Rodríguez
Empresa / Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi
Teléfono: 0992691101
Dirección: Latacunga
E-Mail: evelin.rodriguez1256@utc.edu.ec

Identificación de la(s) muestra(s) (cliente):

- Tzinzo
- Eneldo

Descripción de la(s) muestra(s):

Materiales sólido pulverizado de color amarillo-verdoso correspondientes a extractos de origen orgánico.

LABORATORIO

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2022/07/05

Identificación de la(s) muestra(s) (código LANUM):

MS-22-0395 para la muestra Tzinzo
MS-22-0396 para la muestra Eneldo

Fecha en que se realizó el análisis: 2022/07/08

Área del laboratorio donde se realizó el ensayo: Área de análisis (Microscopía SEM)

Condiciones ambientales corregidas

Para microscopía electrónica de barrido no se registran las condiciones ambientales, ya que el ensayo se realiza en una cámara cerrada sin influencia significativa de las condiciones ambientales.

EQUIPOS UTILIZADOS

Microscopio electrónico de barrido: Marca ASPEX, Modelo PSEM eXpress, rango de detección 500 nm a 5 mm.

MÉTODO EMPLEADO

Las micrografías fueron adquiridas con las siguientes condiciones:

Voltaje de aceleración: 20 kV carga
Porcentaje de carga del filamento: 65,2%
Emisión de corriente: 119,2 μ A
Presión de vacío: $2,3 \times 10^{-5}$ Torr

F-PT-07-05

Página 1 de 8



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Dorellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000

Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fin@epn.edu.ec • Quito – Ecuador

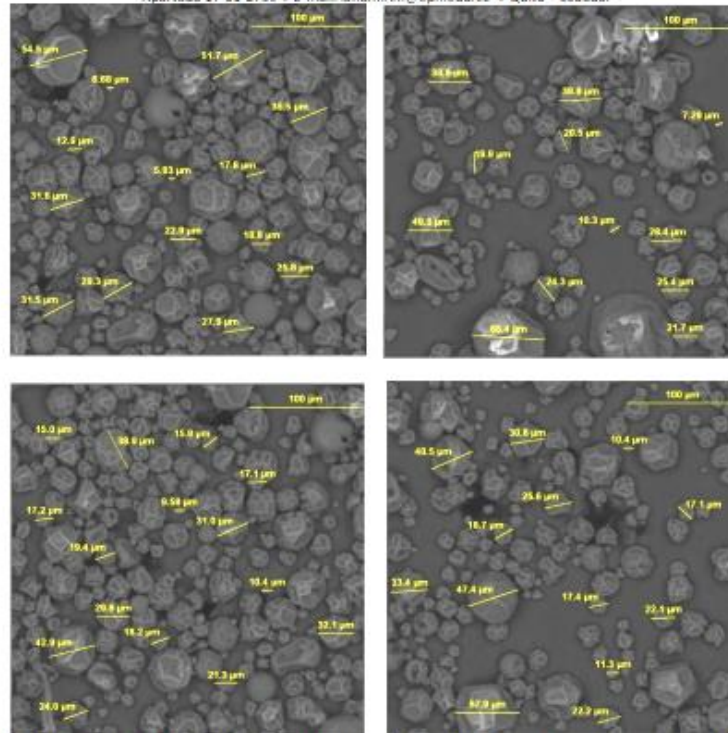


Figura 2. Micrografías SEM a 750X de la muestra "Eneldo" (MS-22-0396) - Cuatro áreas diferentes.

Las micrografías completas de las muestras con y sin medidas, y a otras magnificaciones se encuentran adjuntas al presente informe en formato digital al cliente.

OBSERVACIÓN: La normativa para la organización y gestión de los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, capítulo IV (De la difusión) menciona: "Si la contribución de un laboratorio es significativa y sustancial para la realización de una publicación, se deberá colocar al miembro(s) del laboratorio que contribuyó al desarrollo de la investigación como co-autor(es) de la publicación realizada". En este caso, por favor mantener comunicado al LANUM.

"El cliente puede hacer uso académico de los resultados presentados en este informe, así como de los respaldos enviados en formato digital para su tratamiento".

NOTA: ESTOS RESULTADOS ESTÁN RELACIONADOS ÚNICAMENTE A LA(S) MUESTRA(S) SOMETIDA(S) A ENSAYO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
 RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000

Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



NOTA DE DESCARGO DE RESPONSABILIDAD: En caso de que las muestras entregadas no cumplieran con las especificaciones solicitadas por el LANUM (dimensiones, cantidad de muestra), y a pesar de eso el cliente diera su consentimiento para la realización de análisis, el LANUM no se responsabiliza si los resultados son afectados debido a estas desviaciones (no cumplimiento de especificaciones)

Realizado por:

Ing. Karina Lagos
 Analista Técnica

Revisado y aprobado por:

Ing. Orlando Campaña
 Responsable Técnico (s)

Autorizado por:

Paulina Romero, Ph.D.
 Coordinadora del Laboratorio

Anexo 9. Datos del tutor

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 0502645435

FECHA DE NACIMIENTO: 15/10/1984

ESTADO CIVIL: Casado

CIUDAD: Latacunga

DOMICILIO: La Merced, Quijano y Ordoñez y Juan Abel Echeverría 7-60

TELÉFONO: 032802455/0999084592

LUGAR/OCUPACIÓN ACTUAL:

DOCENTE UNIVERSIDAD TÉCNICA DE

COTOPAXI

TELÉFONO: 0322253162

CORREO ELECTRÓNICO: rojas_orlando1984@hotmail.com



Anexo 10. Datos de la estudiante

Nombres: Claudia Nohelia

Apellidos: Pacheco Párraga

Fecha de Nacimiento: 21 de Octubre de 1994

Nacionalidad: Ecuatoriana

Cédula de Identidad: 050273560-8

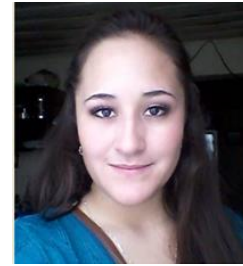
Edad: 27 años

Estado Civil: casada

Dirección: 2 de Mayo y Baltazara Terán

Teléfono: 0998092323

Correo electrónico: noheliapacheco94@hotmail.com

**INSTRUCCIÓN:**

Primaria: Escuela “Dr. Otto Arosemena Gómez” (6 años)

Secundaria: Unidad Educativa San José “La Salle” Latacunga (6 años)

Título Obtenido: Especialidad Ciencias Sociales con Auxiliaría en Asistente Jurídico

Estudios Superiores: Universidad de las Américas, la carrera de Ingeniería en Negocios Internacionales (4 semestres)

Universidad Técnica de Cotopaxi, Ingeniería Agroindustrial. (actualmente)

EXPERIENCIA LABORAL:

1. Asistente/Recepcionista en Clínica de Especialidades Odontológicas ECUDENTAL. (Administración de la agenda de los pacientes, cobro del dinero proveniente de los servicios prestados, archivo de historias clínicas, etc.; 2 meses)
2. Asistente/asesoría en venta en la empresa Ecuador Fitness (Ventas, atención al cliente, seguimiento a clientes, coordinación logística, manejo de página web, manejo de redes sociales, etc.; 2 años)
3. Cajera en Quik Market (atención al cliente, manejo de caja, recepción productos, pago proveedores, etc.)

REFERENCIAS PERSONALES:

1. Sra. Diana Franco (laboral)
Av. Amazonas y calle La Ciénega
Teléfono: 032801659, 09987988587
2. Dra. Carmen Pacheco (familiar)
Cda. El Carmen, calle García Moreno 2-16 y Aurelio Mosquera
Teléfono: 032808824, 0983115044
3. Ing. Daniel Montalvo (laboral)
Ponceano, Av. Juan Barrezueta N74-103 y Av. José Andrade
Teléfono: 0992743773

Anexo 11. Datos del estudiante

PERFIL

NOMBRES	Jefferson Miguel
APELLIDOS	Toapanta Quishpe
DOCUMENTO DE IDENTIDAD	050437167-5
FECHA DE NACIMIENTO	07 de junio del 1996 DIRECCIÓN
	Saquisilí, Barrio el Tambillo
TELÉFONO	0995568909
ESTADO CIVIL	Soltero
NACIONALIDAD	Ecuatoriano



Estudios Primarios:	Escuela "Mariscal Antonio José de Sucre" Estudios
Secundarios:	Colegio "Ramón Barba Naranjo" Superior:
agroindustrias	Universidad Técnica De Cotopaxi - Ingeniería en
Suficiencia en Inglés:	Cursando
	Aprobado

Center drive — licencia de conducir tipo "B"

Universidad Técnica de Cotopaxi- desafíos de nuestra región en procesos tecnológicos, desarrollo e innovación, investigación y publicación de artículos científicos

EXPERIENCIA LABORAL

PRODUCTOS LÁCTEOS LA VICTORIA
 CARGO: Practicas preprofesionales
 TIEMPO: 3 meses

REFERENCIAS PERSONALES

Ing. Pablo Jayac	TELF.: 0983597204
Lic. Manuel Toapanta	TELF.: 0984080967

Anexo 12. Aval de Traductor