



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN

ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA



Tema: Microencapsulación de compuestos bioactivos a partir de la raíz de cúrcuma (*Curcuma longa*) y jengibre (*Zingiber officinale*) como alternativa al uso de antiinflamatorios convencionales.

Informe final de Integración Curricular, previo la obtención del Título de Ingeniero Biotecnólogo, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Alexis Vladimir Sancho Cando

Tutora: MSc. Danae Fernández Rivero

Ambato – Ecuador

Marzo - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

MSc. Danae Fernández Rivero

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final de Integración Curricular bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 10 de febrero del 2023

MSc. Danae Fernández Rivero

C.I. 1757181209

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Alexis Vladimir Sancho Cando, manifiesto que los resultados obtenidos en el Informe Final de Integración Curricular, modalidad proyecto de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Biotecnólogo, son absolutamente auténticos y personales a excepción de las citas bibliográficas.



Alexis Vladimir Sancho Cando

C.I. 1804786026

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Los suscritos docentes calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

PhD. Liliana Paulina Lalaleo Córdova

C.I. 180360185-3

Presidente del tribunal

Mg. Ruth Narcisa Pérez Salinas

C.I. 1802726628

Dra. Helena Maritza De La Torre Olvera

C.I. 1309651998

Ambato, 06 de marzo del 2023

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final de Integración Curricular o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final de Integración Curricular, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Alexis Vladimir Sancho Cando

C.I. 1804786026

AUTOR

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por las oportunidades que me ha dado a través de la vida, las mismas que me han permitido llegar al fin de esta etapa importante para mí como persona.

A mi familia, por ser un apoyo incondicional y mostrarme el valor del esfuerzo diario para conseguir mis objetivos.

A mi tutora, MSc. Danae Fernández Rivero, que, gracias a sus amplios conocimientos, me ha sabido aconsejar y guiar a través de este proceso.

Al apoyo del PhD. Orestes López, que, con sus conocimientos en la materia, permitieron que el presente trabajo cumpla con los objetivos propuestos.

A la Universidad Técnica de Ambato, que ha sido mi segundo hogar y al que le tengo un enorme cariño.

Gracias a los amigos y personas que hicieron ameno el trayecto en la carrera. Agradeciéndoles siempre su conocimiento y simpatía.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	1
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	2
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	3
DERECHOS DE AUTOR	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I.....	14
MARCO TEÓRICO.....	14
1.1. Antecedentes investigativos.....	14
1.1.1. Propiedades medicinales de las plantas	14
1.1.2. Cúrcuma.....	15
1.1.2.1. Clasificación taxonómica y morfología.....	15
1.1.2.2. Composición química.....	16
1.1.2.3. Propiedades medicinales	18
1.1.3. Jengibre.....	18
1.1.3.1. Clasificación taxonómica y morfología.....	18
1.1.3.2. Composición química.....	19
1.1.3.3. Propiedades medicinales	21
1.1.4. Actividad biológica con experimentación <i>in vitro</i>	21

1.1.4.1.	Actividad antiinflamatoria.....	21
1.1.4.2.	Acción antiinflamatoria de compuestos activos vegetales	22
1.1.4.3.	Actividad antiinflamatoria de los fármacos.....	22
1.1.4.4.	Actividad antiinflamatoria de los compuestos fenólicos.....	23
1.1.5.	Extracción con disolventes orgánicos.....	24
1.1.6.	Microencapsulación mediante secado por aspersión	24
1.2.	Objetivos	25
1.2.1.	Objetivo General.....	25
1.2.2.	Objetivos Específicos	25
1.3.	Hipótesis.....	26
	Hipótesis Nula	26
	Hipótesis Alternativa.....	26
1.4.	Variables	26
1.4.1.	Variables dependientes	26
1.4.2.	Variables independientes	27
CAPÍTULO II		28
METODOLOGÍA		28
2.1	Materiales.....	28
2.1.1	Recursos institucionales	28
2.1.2	Material vegetal	28
2.1.3	Materiales de laboratorio.....	28
2.1.4	Equipos.....	29
2.1.5	Reactivos	30
2.2.	Sección experimental	31
2.2.1.	Recolección del material vegetal.....	31

2.2.2. Obtención del material vegetal molido	31
2.2.3. Obtención de extracto etanólico	31
2.2.4. Determinación de humedad de extractos líquidos.....	32
2.2.5. Concentración de extractos líquidos.....	32
2.2.6. Microencapsulación.....	33
2.2.7. Espectrofotometría infrarroja	34
2.2.8. Cuantificación de fenoles totales.....	34
2.2.9. Cuantificación de flavonoides totales mediante espectrofotometría UV-VIS ...	35
2.2.10. Análisis estadístico	36
2.2.11. Evaluación de la actividad antiinflamatoria	37
CAPÍTULO III	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	38
3.1.1. Determinación de sólidos solubles totales (SST) de extractos líquidos	38
3.1.2. Determinación del mejor tratamiento de extracción.....	38
3.1.2.1. Cúrcuma	38
3.1.2.2. Jengibre	43
3.1.3. Microencapsulación por el método de secado por aspersión de la mezcla polimérica y extractos vegetales.....	47
3.1.4. Análisis de espectrofotometría infrarroja	49
3.1.5. Determinación de fenoles totales presentes en el microencapsulado y extracto. 51	
3.1.6. Determinación de flavonoides totales del microencapsulado y extracto.....	53
3.1.7. Evaluación <i>in vitro</i> de la actividad antiinflamatoria.....	54
3.2. Verificación de hipótesis.....	56

CAPÍTULO IV	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1. Conclusiones	57
4.2. Recomendaciones	59
MATERIAL DE REFERENCIA	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Curcuma longa</i> L.....	15
Figura 2 <i>Zingiber officinale</i> L.....	18
Figura 3 Análisis estadístico diagrama de Pareto Estandarizada de los tratamientos cúrcuma.....	40
Figura 4 Análisis estadístico Superficie de Respuesta de los tratamientos cúrcuma.....	41
Figura 5 Análisis estadístico diagrama de Pareto Estandarizada tratamientos jengibre .	44
Figura 6 Análisis estadístico Superficie de Respuesta tratamientos jengibre.....	46
Figura 7 Espectrofotometría infrarroja (FTIR) de mezcla MD y GA, microencapsulado y extracto vegetal	50
Figura 8 Determinación de fenoles totales, método Folin Ciocalteu	52
Figura 9 Determinación de flavonoides	53
Figura 10 Porcentaje de inhibición de desnaturalización de albúmina a partir de diclofenaco sódico y microencapsulado	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición nutricional de la cúrcuma.....	16
Tabla 2 Composición nutricional del jengibre	19
Tabla 3 Variables independientes en la extracción de SST	27
Tabla 4 Material vegetal.....	28
Tabla 5 Materiales de laboratorio	28
Tabla 6 Equipos de laboratorio	29
Tabla 7 Reactivos de laboratorio.....	30
Tabla 8 Diseño experimental con factores y niveles.....	36
Tabla 9 Sólidos solubles totales (SST) y rendimiento de raíz cúrcuma.....	38
Tabla 10 Sólidos solubles totales (SST) y rendimiento de raíz jengibre	43
Tabla 11 Resultados de la microencapsulación.....	48

RESUMEN

Las propiedades medicinales de las plantas han sido utilizadas desde la antigüedad para el tratamiento y alivio de enfermedades, brindando hasta la actualidad sus beneficios en la salud. El presente estudio está enfocado en las propiedades antiinflamatorias de la raíz de cúrcuma y jengibre, en conjunto al método de microencapsulación para potenciar la biodisponibilidad de los metabolitos extraídos.

Las condiciones óptimas de extracción se obtuvieron a partir de un diseño factorial, en donde, se evaluó el factor tiempo y concentración etanólica. A partir de la determinación del mejor tratamiento de extracción y usando la tecnología del secado por aspersión, se microencapsularon los compuestos bioactivos del material vegetal.

Se evaluó la eficiencia, rendimiento y concentración de metabolitos vegetales del microencapsulado. A partir del método de Folin Ciocalteu, se cuantificó la concentración de fenoles totales (142.37 mg AG sobre gramos de microencapsulado), con lo cual, se determinó el porcentaje de eficiencia del microencapsulado, el mismo que fue de 69,87. Así mismo, mediante espectrofotometría se determinó la concentración de flavonoides totales (17.93 mg QE. sobre gramos de microencapsulado).

La actividad antiinflamatoria fue evaluada mediante un ensayo *in vitro* de la inhibición de la desnaturalización proteica. Este ensayo empleó diclofenaco sódico como control, obteniendo así, un porcentaje de inhibición del microencapsulado de 69,67. Con lo que, la presente investigación demostró el efecto antiinflamatorio de las plantas de estudio, además del papel fundamental de los metabolitos microencapsulados que estas poseen, y su aplicabilidad en el desarrollo de alternativas medicinales para el tratamiento de cuadros inflamatorios.

Palabras clave: antiinflamatorio, microencapsulación, plantas medicinales, farmacéutica, cúrcuma, jengibre, extractos vegetales.

ABSTRACT

The medicinal properties of plants have been used since ancient times for the treatment and alleviation of diseases, providing until today their health benefits. The present study is focused on the anti-inflammatory properties of turmeric root and ginger, together with the microencapsulation method to enhance the bioavailability of the extracted metabolites.

The optimal extraction conditions were obtained from a factorial design, where time and ethanolic concentration were evaluated. From the determination of the best extraction treatment and using spray drying technology, the bioactive compounds of the plant material were microencapsulated.

The efficiency, yield and concentration of plant metabolites of the microencapsulation were evaluated. Using the Folin Ciocalteu method, the concentration of total phenols was quantified (142.37 mg AG over grams of microencapsulation), with which the percentage efficiency of the microencapsulation was determined, which was 69.87. Likewise, the concentration of total flavonoids was determined by spectrophotometry (17.93 mg QE. over grams of microencapsulation).

The anti-inflammatory activity was evaluated by means of an in vitro protein denaturation inhibition assay. This assay used diclofenac sodium as a control, thus obtaining an inhibition percentage of 69.67% of the microencapsulation. Thus, the present research demonstrated the anti-inflammatory effect of the plants studied, in addition to the fundamental role of the microencapsulated metabolites they possess, and their applicability in the development of medicinal alternatives for the treatment of inflammatory conditions.

Keywords: anti-inflammatory, microencapsulation, medicinal plants, pharmaceuticals, turmeric, ginger, plant extracts.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Propiedades medicinales de las plantas

La medicina tradicional, o también llamada complementaria (MTC), ha aportado con innumerables avances en el tratamiento y prevención de enfermedades a través de la historia (**Zhang et al., 2021**). Es así como, las autoridades de la salud a nivel internacional como la Organización Mundial de la Salud (OMS), promueve en la actualidad el uso de la MTC con su programa denominado "Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023", el mismo que tiene como objetivos establecer y reconocer a la MTC como un tratamiento terapéutico en varias regiones del mundo (**Organización Mundial de la Salud, 2014**).

Los conocimientos sobre las propiedades medicinales de las plantas, han sido heredados a través de los años, con la finalidad de poder dar alivio a las enfermedades y padecimientos de la humanidad (**Redvers & Blondin, 2020**). En la actualidad, los principios activos de las plantas siguen estando presentes en los avances tecnológicos y científicos, permitiendo la síntesis química de los metabolitos secundarios presentes en las plantas y poniendo a disposición de la humanidad para la cura y tratamiento de diferentes enfermedades (**Wawrosch & Zotchev, 2021**). Los productos naturales han tenido una participación significativa en el tratamiento de enfermedades como el cáncer, al aprovechar los metabolitos como los alcaloides presentes en *Catharanthus roseus* y terpenos de *Taxus baccata*, los que llegaron a estar presentes en un 54 % de la composición activa de los fármacos contra esta enfermedad, llegando a tener una gran aceptación y éxito en la medicina convencional (**Yuan et al., 2016**). Pese a los aportes de los fármacos sintetizados en laboratorios, la creciente preocupación por los efectos secundarios que estos poseen, ha permitido la pronta integración de la fitoterapia, haciendo uso de los principales metabolitos como los polifenoles, terpenoides y alcaloides, los mismos que han sido introducidos en la medicina gracias a las enseñanzas y sabiduría ancestral (**S. Zhang et al., 2021**).

1.1.2. Cúrcuma

1.1.2.1. Clasificación taxonómica y morfología

La cúrcuma, *Curcuma longa* L., según el *Angiosperm Phylogeny Group* (APG) IV del año 2016, posee la siguiente clasificación:

Reino: Plantae

Orden: Zingiberales

Familia: Zingiberáceas

Género: *Curcuma*

Clase: Angiosperma

Especie: *longa*

Nombre científico: *Curcuma longa*

Figura 1

Planta Curcuma longa L



Fuente. Autoría propia

Planta herbácea con raíces oblongopelmeadas, arrugada, el exterior es de color marrón y el interior, naranja (Figura 1). Su altura es alrededor de dos metros, con hojas verdes largas, lanceoladas y pecioladas, sus flores son de color amarillo, reunidas en braceas de cinco flores. Su forma de reproducción es a partir de esquejes los mismos que provienen del rizoma. En la cosecha de las raíces, se recolectan tubérculos de aproximadamente 8 cm de longitud con un periodo de desarrollo de diez meses (**The Catalogue of Life Partnership, 2017**).

1.1.2.2.Composición química

La cúrcuma posee una baja cantidad de calorías y grasas. Los minerales más abundantes en su composición (Tabla 1) son el potasio, fósforo y magnesio, además de, vitaminas como la C y E. Además, posee gran cantidad de fibra dietética y agua en su composición (USDA, 2018b).

Tabla 1

Composición nutricional de la cúrcuma

Elemento	Unidad	Valor por 100g
Nutrientes		
Agua	g	12.85
Azúcares totales	g	3.21
Energía	Kcal	312
Proteína	g	9.68
Carbohidratos	g	67.14
Lípidos totales	g	3.25
Fibra dietética	g	22.7
Minerales		
Zinc	mg	4.50
Calcio	mg	168
Sodio	mg	27
Hierro	mg	55.00
Potasio	mg	2080
Magnesio	mg	208
Fósforo	mg	299
Vitaminas		
Vitamina K	µg	13.4
Vitamina C	mg	0.7
Vitamina D (D2+D3)	µg	0.0

Elemento	Unidad	Valor por 100g
Riboflavina	mg	0.15
Vitamina A, RAE	IU	0.0
Niacina	mg	1.35
Vitamina B6	mg	0.11
Vitamina B12	µg	0.00
Folato, DFE	µg	20
Lípidos		
Ácidos grasos trans totales	g	0.06
Ácidos grasos monoinsaturados totales	g	0.45
Ácidos grasos poliinsaturados totales	g	0.76
Ácidos grasos saturados totales	g	1.84

Fuente. U.S. Department of Agriculture (**USDA, 2018b**)

La cúrcuma posee alrededor de 235 compuestos, entre los principales se encuentran los compuestos fenólicos como los diarilheptanoides y diarilpentanoides; además de, terpenoides como: los diarilpentanoides, monoterpenos, diterpenos, triterpenoides, alcaloides, etc (**Li, 2011**). Los curcuminoides presentes en la cúrcuma pertenecen al grupo de los diariheptanoides, los mismos que poseen una característica de pigmentación amarillenta, estos son usados en la industria alimentaria como colorantes (**Tsuda, 2018**). Estos polifenoles como la curcumina, se encuentran en aproximadamente el 15 % de las raíces de la planta, lo cual la convierte en una de las plantas más estudiadas (**Vanucci & Bedos, 2021**).

1.1.2.3. Propiedades medicinales

La cúrcuma tiene su origen como planta medicinal en la región tropical del sur de Asia, expandiéndose al occidente como especia, gracias a su atractivo color y sabor (**L. Zhang et al., 2018**). La cúrcuma posee una composición polifenólica, lipofílica, la misma que le brinda propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas y antioxidantes (**Vallée & Lecarpentier, 2020**). Estas propiedades han sido aprovechadas desde la antigüedad a partir de la medicina tradicional, teniendo como sus principales aplicaciones el tratamiento de enfermedades dermatológicas, estrés, depresión e infecciones. En la actualidad, los rizomas de esta planta han sido estudiadas en el área de la salud, ya que, por su composición química, aporta una gran variedad de aplicaciones en la prevención y tratamiento de enfermedades (**Kocaadam & Şanlier, 2017**).

1.1.3. Jengibre

1.1.3.1. Clasificación taxonómica y morfología

El jengibre, *Zingiber officinale* L, según el *Angiosperm Phylogeny Group (APG) IV* del año 2016, posee la siguiente clasificación:

Reino: Plantae

Familia: Zingiberaceae

Orden: Zingiberales

Género: *Zingiber*

Clase: Liliopsida

Especie: *Officinalis*

Nombre científico: *Zingiber officinale*

Figura 2

Zingiber officinale L



Fuente. Autoría propia

Hierba con rizomas horizontales, tiene aromas muy característicos y sabor picante (Figura 2). En la parte externa posee un color marrón claro y en la parte interna blanco amarillento. Los tallos aéreos miden aproximadamente 90 cm de alto, con hojas de 20 cm lineares, presenta inflorescencias apretadas y en el extremo cortos escapos (**The Catalogue of Life Partnership, 2017**).

1.1.3.2. Composición química

El jengibre posee una gran cantidad de nutrientes, minerales y vitaminas dentro de su composición (Tabla 2). Entre los minerales más abundantes se encuentra el manganeso, magnesio, hierro zinc, potasio, fósforo y calcio. Posee también vitamina C y vitamina B como la B3, B6, B1, B2 y B9 (**USDA, 2018a**).

Tabla 2

Composición nutricional del jengibre

Elemento	Unidad	Valor por 100g
Nutrientes		
Energía	Kj	333
Calorías	Kcal	80
Grasas	g	0.75
Proteínas	g	1.82
Carbohidratos	g	17.8
Fibra	g	2
Agua	g	78.9
Minerales		
Calcio	mg	16
Hierro	mg	0.6
Magnesio	mg	43
Fósforo	mg	34

Elemento	Unidad	Valor por 100g
Potasio	mg	415
Sodio	mg	13
Zinc	mg	0.34
Cobre	mg	0.23
Manganeso	mg	0.23
Vitaminas		
Vitamina A, RAE	mg	5
Retinol	µg	0.00
Caroteno, beta	µg	0.00
Vitamina D	µg	0.00
Tiamina	mg	0.03
Riboflavina	mg	0.03
Niacina	mg	0.75
Vitamina B6	mg	0.16
Folato	µg	11
Vitamina B12	µg	0.00
Vitamina C	mg	5
Ceniza	g	2,73

Fuente. U.S. Department of Agriculture (**USDA, 2018a**)

El jengibre posee varios elementos en su composición química, destacando entre ellos, los ácidos grasos como: el ácido linoleico, oleico, palmítico y esteárico, además, posee una basta cantidad de tocoferoles (**Liu et al., 2021**). Entre los compuestos bioactivos tiene al zingibereno, arcurcumeno, citral, β-bisaboleno, geranial y canfeno. Estos compuestos propios del jengibre, poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatoria y anticancerígenas, lo cual ha permitido su pronta integración a la industria en general (**Ramadan, 2020**).

1.1.3.3.Propiedades medicinales

Esta planta originaria de las selvas tropicales del sur de Asia ha sido utilizada por los chinos desde su descubrimiento como especia y para el tratamiento de enfermedades como el reumatismo, náuseas y problemas intestinales (**Kocaadam & Şanlier, 2017**). Los compuestos activos de interés como los sesquiterpenos, que incluyen al zingiberol, bisapoleno y zingibereno, han permitido dar tratamiento a úlceras gástricas, son antiinflamatorios reumatoideos, reguladores del colesterol, mantienen efectos antimicrobianos y son anticoagulantes (**Seshadri et al., 2022**). Los estudios recientes han permitido introducir a esta planta en la industria farmacéutica para la elaboración de medicamentos, permitiendo tener una mayor accesibilidad a las propiedades medicinales de esta especie (**Imo, 2019**).

1.1.4. Actividad biológica con experimentación *in vitro*

1.1.4.1.Actividad antiinflamatoria

La inflamación es la respuesta ante un estímulo de origen físico, químico o biológico. La inflamación conlleva síntomas externos característicos como el enrojecimiento del área, aparición del hematoma, aumento de temperatura, hinchazón del tejido y daño estructural del mismo (**Recio et al., 2017**). Internamente las reacciones ante el estímulo agresor inician con procesos dados a partir del sistema inmune innato y adaptativo, los mismos que actúan acorde al estímulo o agente agresor (**Hillion et al., 2020**).

La respuesta antiinflamatoria inicia a partir de la fase aguda en donde se produce la activación del sistema inmunitario, desencadenando una migración celular, especialmente de leucocitos y granulocitos como los basófilos, neutrófilos, mastocitos y eosinófilos en respuesta al gradiente quimiotáctico como es la liberación de citocinas, quimiocinas y proteínas (**Hamilton, 2020**). La exposición prolongada al factor estimulante o agresor además de, condiciones específicas como la obesidad, presenta un mayor daño celular y de esta forma se da paso a la fase grave de la inflamación, en donde las principales señales

son el daño tisular y fibrosis. Este tipo de inflamación conlleva al desencadenamiento de enfermedades como el cáncer y enfermedades autoinmunes (**Germolec et al., 2018**).

1.1.4.2. Acción antiinflamatoria de compuestos activos vegetales

La acción antiinflamatoria a partir de los fenoles presentes en las variedades de plantas de interés, han reportado una notable actividad sobre la vía de señalización JAKSTAT. Mediante el bloqueo de la vía JAK-STAT, se inhibe la síntesis de IL12, la misma que es una potente citoquina encargada de iniciar procesos proinflamatorios (**Ge et al., 2018**). Un segundo rol de los bioactivos es la inhibición de la activación de la fosforilación STAT1 y STAT3, además de las vías inflamatorias pro-oncogénicas como el factor nuclear k-B y la interleucina-6 (**Tasneem et al., 2019**).

La composición fenólica de los medicamentos antiinflamatorios proporciona una protección a la membrana de las células, protegiéndolas de daños mecánicos como de infecciones. La estabilización de la membrana evita la liberación de factores proinflamatorios y oxidantes, además de, elementos lisosómicos con lo cual se evita el daño a las estructuras proteicas (**Cereceres-Aragón et al., 2019**).

Las plantas medicinales, aportan grandes beneficios en el tratamiento de enfermedades inflamatorias como la artritis, reumatismo y arterioesclerosis. Los metabolitos secundarios presentes en las variedades de plantas permiten la apertura y aprovechamiento de estas para el desarrollo de medicamentos con potenciales antiinflamatorios (**Zenkov et al., 2016**).

1.1.4.3. Actividad antiinflamatoria de los fármacos

Los fármacos no esteroideos (AINES) se encargan de la inhibición de la ciclooxigenasa (COX), la cual es la encargada de liberación de citoquinas y prostaglandinas (**Bindu et al., 2020**). La inhibición de la COX conlleva al deterioro del epitelio gástrico y renal,

debido a que la inhibición por parte de los AINES presenta a la COX1 encargada de la producción de prostaglandinas las mismas que protegen al estómago y riñón y la COX2 la cual induce la liberación de citoquinas y prostaglandinas las mismas que son proinflamatorias (**Tasneem et al., 2019**).

Los estudios recientes confirman la participación de la ciclooxigenasa en el deterioro y avance de otras enfermedades como, Alzheimer y algunos tipos de cáncer. Esta evidencia trae nuevos beneficios sobre la inhibición de las COX en la prevención del desarrollo de enfermedades. Sin embargo, los efectos secundarios de los AINES permiten la pronta incorporación de alternativas a los antiinflamatorios con notables daños a la salud (**S. Liu et al., 2016**).

1.1.4.4. Actividad antiinflamatoria de los compuestos fenólicos

Los principales metabolitos secundarios vegetales, que poseen propiedades antiinflamatorias son los fenoles, los mismos que se encuentran en la mayoría de los alimentos con pigmentaciones oscuras y moradas (**Khoo et al., 2017**). Entre los compuestos fenólicos más representativos se encuentran los carotenoides, alcaloides y otros compuestos fenólicos, los mismos que aportan beneficios de carácter antioxidativo, antiinflamatorio y anticancerígeno (**Scott et al., 2022**).

Los procesos inflamatorios al estar mediados por la liberación de factores proinflamatorios como la citoquina y enzimas que dañan los tejidos circundantes al área afectada, presentan síntomas como enrojecimiento y dolor (**Murata, 2018**). Varios estudios afirman la efectividad que poseen los flavonoides, ante la inhibición de este grupo de enzimas al bloquear su sitio activo, con lo cual se evita el proceso inflamatorio, lo que permite la apertura a la realización de más investigaciones acerca de las propiedades que poseen los fenoles en este tipo de condiciones (**Li et al., 2020**).

1.1.5. Extracción con disolventes orgánicos

A escala industrial los disolventes son los más utilizados, ya que, gracias a sus propiedades se los puede emplear en diferentes campos. Los primeros disolventes usados a nivel industrial fueron los hidrocarburos, los mismos que son derivados del petróleo y los alcoholes que provienen de procesos fermentativos y destilaciones (**Maytorena-Verdugo & García-Carreño, 2012**). En la actualidad estos solventes han sido reemplazados por clorocarbonados como el cloruro de metileno, tricloroetileno y percloroetileno, mismos que proporcionan una mayor estabilidad gracias a su baja capacidad inflamatoria (**Román et al., 2016**).

La extracción tiene como fundamento, separar y purificar un compuesto de interés a partir de una transferencia selectiva empleando un medio sólido o líquido (disolvente orgánico). Esta técnica aprovecha las diferencias de solubilidad del compuesto de interés, el disolvente y otros factores agregados. La característica principal de un disolvente es su alta capacidad de solubilidad en agua además de una baja temperatura de ebullición con la finalidad de poder eliminar el disolvente una vez que haya cumplido su finalidad (**Moyano, 2007**).

Los solventes orgánicos abordan varias aplicaciones a nivel industrial, especialmente en la fabricación de medicamentos, insecticidas, cosméticos, pinturas, etc (**Le Phuong et al., 2020**). Los procesos de extracción con solventes orgánicos están sujetos a factores que afectan su efectividad, como la temperatura, concentración del solvente, tiempo de macerado y la relación entre material vegetal/volumen del solvente orgánico (**Šic Žlabur et al., 2022**).

1.1.6. Microencapsulación mediante secado por aspersion

El secado por aspersion es un método el cual emplea un atomizador con un flujo líquido el mismo que atraviesa una corriente de gas a alta temperatura con lo que se obtiene un polvo fino (**Thi Anh Dao et al., 2021**). Generalmente el gas empleado en este proceso es

aire común, pero dependiendo del resultado que se desea obtener se puede emplear nitrógeno. El líquido o extracto que se desea microencapsular será mezclado homogéneamente con el polímero (goma arábica y maltodextrina) de elección para el proceso de secado, el mismo que tendrá como producto final, un polvo fino de 10 a 50 μm o partículas más grandes de 2 a 3 μm (**Gharsallaoui et al., 2007**).

Este proceso es ampliamente ocupado en la industria alimentaria y farmacéutica, debido a que, la microencapsulación garantiza el mantenimiento de las propiedades químicas del extracto o líquido de interés (**Grassia et al., 2021**). El polímero de recubrimiento, al homogenizarse con el concentrado, lo reviste, brindándole una mayor durabilidad, además de evitar su oxidación y degradación. Los metabolitos vegetales de mayor interés para la microencapsulación son los polifenoles, alcaloides y terpenoides, los mismos que brindan aplicaciones en la industria farmacéutica (**S. Zhang et al., 2021**).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Microencapsular compuestos bioactivos, con propiedades antiinflamatorias a partir de la raíz de cúrcuma y jengibre.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Extraer metabolitos vegetales de interés a partir de la raíz de cúrcuma y jengibre empleando etanol como solvente orgánico.
- Preparar un microencapsulado a partir de los compuestos bioactivos extraídos mediante el método de secado por aspersión.
- Cuantificar los flavonoides y polifenoles presentes en el microencapsulado final mediante espectrofotometría y método de Folin Ciocalteu.
- Evaluar la efectividad antiinflamatoria del compuesto bioactivo microencapsulado a partir del bioensayo *in vitro* de la desnaturalización de proteínas (albúmina).

1.3.Hipótesis

La relación entre los parámetros óptimos de extracción como: concentración del disolvente (EtOH) y tiempo (h) a partir de las raíces de cúrcuma y jengibre, incide en la obtención de compuestos bioactivos con propiedades antiinflamatorias con capacidad de ser microencapsulados a partir del método de secado por aspersión.

Hipótesis Nula

La relación entre los parámetros óptimos de extracción como: concentración del disolvente (EtOH) y tiempo (h) a partir de las raíces de cúrcuma y jengibre, no incide en la obtención de compuestos bioactivos con propiedades antiinflamatorias con capacidad de ser microencapsulados a partir del método de secado por aspersión.

Hipótesis Alternativa

La relación entre los parámetros óptimos de extracción como: concentración del disolvente (EtOH) y tiempo (h) a partir de las raíces de cúrcuma y jengibre, si incide en la obtención de compuestos bioactivos con propiedades antiinflamatorias con capacidad de ser microencapsulados a partir del método de secado por aspersión.

1.4.Variables

1.4.1. Variables dependientes

- Concentración de fenoles y flavonoides
- Eficiencia de microencapsulación
- Actividad antiinflamatoria por inhibición de desnaturalización proteica

1.4.2. Variables independientes

- Variables para la extracción de SST

Tabla 3

Variables independientes en la extracción de SST

Factores	Niveles
Concentración etanólica (EtOH)	75 %
	96 %
Tiempos de extracción	1 hora
	2 horas

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos institucionales

Laboratorios académicos y UODIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, carrera de Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.1.2 Material vegetal

Tabla 4

Material vegetal

MATERIAL VEGETAL	CANTIDAD
Raíz de cúrcuma	4 kg
Raíz de jengibre	4 kg

2.1.3 Materiales de laboratorio

Tabla 5

Materiales de laboratorio

MATERIAL	CANTIDAD
Frascos ámbar (125 ml)	26
Frascos ámbar (1 L)	3
Matraces Erlenmeyer (1L)	2
Matraces aforados (10 ml)	15
Magnetos Elicrom	2
Papel aluminio (DIAMOND)	1
Papel absorbente	1

MATERIAL	CANTIDAD
Micropipeta (10 – 100 μ L)	1
Micropipeta (20 – 200 μ L)	1
Micropipeta (100 – 1000 μ L)	1
Puntas de micropipeta	50
Tubos tipo Falcon (50 ml)	1 paquete
Vaso precipitado (500 ml)	4

2.1.4 Equipos

Tabla 6

Equipos de laboratorio

EQUIPO	CANTIDAD
Balanza analítica Ohaus PA-313	1
Balanza de humedad Kern MLS 50-3	1
Centrífuga Hettich Zentrifugen y Germany	1
Computador Hp con sistema operativo Windows 10	1
Destilador de agua	1
Espectrofotómetro infrarrojo Jasco FT/IR 4100	1
Espectrofotómetro UV-VIS Fisher Scientific AccuSkan Go	1
Espectrofotómetro infrarrojo	1
Homogeneizador Ultraturrax T25 (Ika, Staufen, Alemania)	1
Horno secador GANDER MTN	2

EQUIPO	CANTIDAD
Mini Spray Dryer BUCHI-B290	1
Molino triturador INOX-EQUIP	1
Plancha de calentamiento Corning PC-620D	2
Refrigerador Indurama	1
Rotaevaporador IKA HB10	1
Software de análisis de datos estadísticos y gráficos, Statgraphics Centurion XIX	1

2.1.5 Reactivos

Tabla 7

Reactivos de laboratorio

REACTIVOS	CANTIDAD
Ácido gálico (C ₇ H ₆ O ₅) 98%	0.1 g
Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃) 99%	1.4 g
Etanol (C ₂ H ₆ O) 75%	1 gal
Etanol (C ₂ H ₆ O) 96%	1 gal
Reactivo Folin Ciocalteu 2N, Merck	5 ml
Goma arábica	40 g
Maltodextrina	40 g
Tampón PBS pH 6.4	2 g
Cloruro de Aluminio (AlCl ₃) 99%	0.5 g
Quercetina (C ₁₅ H ₁₀ O ₇) 95%	0.5 g
Diclofenaco Sódico (C ₁₄ H ₁₁ NCl ₂ O ₂), Llorens	1 g
Agua destilada	4 gal

2.2. Sección experimental

2.2.1. Recolección del material vegetal

Las raíces de interés se las adquirió en los diferentes mercados (Mayorista y Central) y supermercados (Supermaxi) de la ciudad de Ambato. Los lugares seleccionados se caracterizan por poseer una gran variedad de plantas con propiedades antiinflamatorias, como son las raíces de cúrcuma y jengibre. Una vez adquiridas las raíces se las almacenó y transportó a los Laboratorios académicos y UODIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

2.2.2. Obtención del material vegetal molido

Las raíces adquiridas fueron higienizadas superficialmente con agua, esto retiró la mayor cantidad de impurezas y residuos extraños. Posteriormente, se cortaron de manera transversal y se colocaron en el horno secador GANDER MTN a una temperatura de 60°C. Una vez completado el secado se procedió a retirar el material seco de las bandejas para realizar el molido haciendo uso de un molino triturador INOX-EQUIP, el material vegetal obtenido se almacenó en fundas Ziploc y se pesó en la balanza analítica Ohaus PA-313 (Pimentel, 2018).

2.2.3. Obtención de extracto etanólico

Para la extracción se empleó etanol con dos concentraciones 75 % y 96 %, con un tiempo de 1 y 2 horas a una relación de concentración de gramos de material vegetal/volumen de solvente orgánico, relación 1:15 respectivamente. El material vegetal seco y molido se mezcló con etanol en un vaso de precipitación de 250 ml, con una agitación constante de 600 rpm. El material vegetal mezclado con el disolvente orgánico (etanol) se mantuvo a

una temperatura constante de 60°C, haciendo uso de una plancha de calentamiento Corning PC-620D (Pan et al., 2020).

2.2.4. Determinación de humedad de extractos líquidos

Con una micropipeta se colocó 4 ml de los extractos líquidos etanólicos de las raíces en la balanza de humedad Kern MLS 50-3. Seguidamente, se registró el porcentaje de humedad por triplicado para cada réplica. La determinación del porcentaje de sólidos solubles totales (SST) se realizó mediante la diferencia del cien por ciento menos el porcentaje de humedad obtenido en la balanza de humedad (Sishi et al., 2019).

La Ecuación 1 permitió determinar la masa de los sólidos extraídos:

$$\text{Masa de Sólidos Extraídos} = \frac{(\%SST)}{100} * V \text{ extracto} \quad (1)$$

Dónde:

%SST: porcentaje de sólidos solubles totales

V extracto: Volumen del extracto obtenido (ml)

2.2.5. Concentración de extractos líquidos

Se colocó el extracto etanólico de cada raíz en el balón de vidrio del rotaevaporador IKA HB10 para llevarlo a una temperatura de 68°C mediante baño María, con una rotación constante de 245 rpm, hasta que el disolvente (etanol) se evaporó en su mayoría.

2.2.6. Microencapsulación

Con la finalidad de preservar los metabolitos extraídos, se realizó un microencapsulado a partir de una combinación entre goma arábica y maltodextrina. La finalidad del microencapsulado fue la de aumentar la biodisponibilidad del extracto con los metabolitos de interés y garantizar la preservación de estos (**Mazuco et al., 2018**).

Para el microencapsulado se mezcló 40 ml del extracto de ambas raíces con 40 g de goma arábica (GA), 40 g de maltodextrina (MD) y 230 ml agua destilada. Con un homogeneizador Ultraturrax T25, se integró los compuestos a una temperatura de 45°C con agitación constante durante 5 minutos.

Posterior a la preparación de la disolución, se procedió a configurar el mini spray dryer BUCHI-B290, a una presión de 6.0 bar, caudal de solución 4 ml/min, temperatura 150°C y caudal del aire 35 m³/h. Finalmente se integró la mezcla a la bomba peristáltica, con la finalidad que alimente al atomizador con una temperatura de salida de 86°C, luego las micropartículas se almacenaron a 4 °C en una funda al vacío (**Bucurescu et al., 2018**).

La verificación del microencapsulado se realizó a partir de diluciones del microencapsulado en agua y etanol, se filtró y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 526 nm con un espectrofotómetro UV-VIS. Posteriormente, se determinó la concentración de fenoles y se evaluó el porcentaje de eficiencia del microencapsulado con la Ecuación 2 (**Escobar-Avello et al., 2021**).

$$EE\% = \frac{CT_{agua} - CS_{etanol}}{CT_{agua}} * 100 \quad (2)$$

Donde:

EE% = Eficiencia del microencapsulado

CT_{agua} = Concentración de fenoles totales en el microencapsulado

CS_{etanol} = Concentración de fenoles totales en la superficie del microencapsulado

2.2.7. Espectrofotometría infrarroja

El análisis de las muestras a partir de espectroscopia infrarroja se realizó a partir de un espectroscopio infrarrojo Jasco FT/IR 4100. La muestra del microencapsulado fue disuelta en agua para comparar las bandas de absorción infrarroja con la mezcla polimérica de maltodextrina y goma arábiga, así mismo, se comparó con el extracto etanólico concentrado para que de manera cualitativa, se verifique la eficiencia del microencapsulado (**Sun et al., 2022**).

2.2.8. Cuantificación de fenoles totales

La preparación del blanco se realizó a partir de la mezcla de 140 μ L de agua destilada, 10 μ L de solución del reactivo Folin Ciocalteu 2N y 100 μ L de solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) 7%, para posteriormente medir en el espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 750 nm.

Para la preparación de la muestra, se disolvió 5 g de microencapsulado en 50 ml de agua destilada (1:10), para posteriormente calentarlo a 60°C en una plancha y centrifugarlo durante 15 min a 400 rpm. Se realizaron diluciones seriadas en balones de aforo de 10 ml, tomando 1 ml del extracto líquido y aforándolo. En una placa de 96 celdas, se procedió a colocar 130 ml de agua destilada, 10 ml de extracto vegetal a diferentes concentraciones, 10 ml de reactivo Folin Ciocalteu 2N por un tiempo de reacción estimado de 6 minutos, seguidamente se agregó 100 μ L de carbonato de sodio (Na_2CO_3) 7 % y se incubó durante 90 minutos a temperatura ambiente (**Baek et al., 2021**).

Una vez transcurrido el tiempo de incubación se procedió a realizar la determinación de las absorbancias mediante un espectrofotómetro UV-VIS, a una longitud de onda de 750 nm, para lo cual, se realizó la calibración con un stock de ácido gálico (Anexo 6) a concentraciones de 10, 25, 50, 100, 150 y 200 ppm. Las mediciones se las realizó por triplicado y el contenido fenólico se expresó en mg de equivalentes de ácido gálico, sobre gramos de microencapsulado (mg GAE)/g (**Vasco et al., 2008**).

Los fenoles totales presentes se determinaron a partir de la Ecuación 3.

$$\text{TPC (mg GAE)/g} = \left(\frac{\text{Abs} - c}{m} \right) \quad (3)$$

Donde:

TPC = Concentración fenólica total

Abs: Absorbancia de muestra

m: pendiente

c: intercepto en el eje de las ordenadas (Y) de la curva estándar de ácido gálico

2.2.9. Cuantificación de flavonoides totales mediante espectrofotometría UV-VIS

La preparación de la muestra para la determinación de flavonoides totales se realizó mediante el pesaje de 1 g de microencapsulado el cual se lo diluyó en un balón volumétrico. Para las diluciones se agregó 1 ml del microencapsulado disuelto en un balón volumétrico y se aforó, siguiendo esta metodología se realizaron diluciones seriadas de concentración del microencapsulado (**Zevallos, 2018**).

La determinación se realizó mediante un método colorimétrico. En una placa de poliestireno de 96 celdas, se mezcló 60 µL de las diluciones del microencapsulado con 120 µL de cloruro de aluminio (AlCl₃) al 2 % (p/v). Seguidamente, se incubó durante 60 minutos y se procedió con la determinación de las absorbancias con el espectrofotómetro UV-VIS, a una longitud de onda, 420 nm por triplicado.

Para la curva estándar de quercetina (Anexo 8), se realizaron diluciones concentraciones de quercetina en un rango de 10 a 100 mg/L (Anexo 9). En una placa de 96 celdas, se agregó 60 µL de solución de quercetina en diferentes concentraciones y 120 µL de cloruro de aluminio al 2 % (p/v). Finalmente, después de incubar la muestra durante 60 minutos a temperatura ambiente, se procedió a determinar la absorbancia a una longitud de 420

nm con la ayuda de un espectrofotómetro UV-VIS. Los resultados fueron expresados como equivalentes de mg de quercetina/g de microencapsulado (mg QE/g).

2.2.10. Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado para la determinación del mejor tratamiento para la extracción fue de 2^2 . Los factores de interés a considerar fueron la concentración etanólica (%) y tiempo (h), con dos niveles cada uno y tres replicas. De este modo, se pudo determinar el influjo y variación de los factores cuantitativos en donde se obtuvo el mejor tratamiento para la extracción de los bioactivos vegetales de la raíz de cúrcuma y jengibre.

Tabla 8

Diseño experimental con factores y niveles

Tratamiento	Factor A ETOH (%)		Factor B Tiempo (h)	
1	75 %	-	1 h	-
2	75 %	-	1 h	+
3	96 %	+	2 h	-
4	96 %	+	2 h	+

Fuente. Autoría propia

Con el empleo del Software de análisis de datos estadísticos y gráficos, Statgraphics XVII64x, se evaluó el mejor tratamiento a partir del análisis ANOVA con lo que se verificó la eficacia de los factores, interacciones y tratamientos, así mismo, se analizaron las gráficas obtenidas con el programa estadístico. Una vez que se determinó la existencia de una significancia del 95 % ($p < 0,05$) en la aplicación de los tratamientos, se procedió a efectuar pruebas de ANOVA, Pareto y superficie de respuesta para la determinación del mejor tratamiento (Fernández-Marín et al., 2021).

2.2.11. Evaluación de la actividad antiinflamatoria

Se preparó una mezcla de reacción con un volumen total de 5 ml, el cual constó de 0.2 ml de albúmina (proteína de huevo de gallina), 2.8 ml de tampón PBS con un pH de 6.4 y 2 ml del microencapsulado a diferentes concentraciones: 100, 200, 500, 1000 y 2000 $\mu\text{g/ml}$. Como referencia (control) de la actividad antiinflamatoria, se sustituyó el microencapsulado en la misma metodología, con diclofenaco sódico (antiinflamatorio comercial) a concentraciones similares a las del microencapsulado (**Chandra et al., 2012**).

Las muestras preparadas se las incubaron a una temperatura de $37 \pm 2^\circ\text{C}$ por un tiempo de 15 minutos. Para iniciar la desnaturalización, las muestras se calentaron a una temperatura de 70°C por un tiempo de 5 minutos, usando agua. Con el empleo del espectrofotómetro UV-VIS, se determinaron las absorbancias a una longitud de onda de 660 nm.

Para calcular el porcentaje de inhibición de la desnaturalización de las proteínas se empleó la Ecuación 4.

$$\% \text{ Inhibición} = 100 * \left(\frac{V_c - V_t}{V_c} \right) \quad (4)$$

Donde:

V_t = absorbancia de la muestra (microencapsulado/diclofenaco sódico)

V_c = absorbancia control

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Determinación de sólidos solubles totales (SST) de extractos líquidos

La determinación de las mejores condiciones para la extracción de los metabolitos de interés de la raíz de cúrcuma y jengibre se la realizó a partir de la evaluación de los tratamientos bajo la influencia de los factores, concentración del solvente y tiempo de extracción. Para esto, se empleó un diseño experimental de 2^2 con lo cual, se pudo determinar el mejor tratamiento a partir de la obtención de los sólidos solubles totales (SST). En la tabla 9 y 10, se observan los porcentajes de SST y rendimiento de sólidos extraídos de la raíz cúrcuma y jengibre respectivamente.

3.1.2. Determinación del mejor tratamiento de extracción

3.1.2.1. Cúrcuma

Los factores influyentes a la hora de realizar la obtención de sólidos solubles totales (SST) a partir de un material vegetal son: el tiempo, temperatura y concentración del solvente (Lee et al., 2006). Como se observa en la tabla 9, la extracción de SST posee dependencia sobre la concentración del solvente orgánico, ya que, esta determina la solubilidad y saturación del medio de extracción (Park et al., 2019).

Tabla 9

Sólidos solubles totales (SST) y rendimiento de raíz cúrcuma

Tratamiento	Concentración de etanol (%v/v)	Tiempo de extracción (hora)	SST (%)	Rendimiento de sólidos extraídos (%)
E1R1	75	1	1.88±0.33	18.78±1.68
E1R2	75	1	1.92±0.18	19.48±1.24
E1R3	75	1	1.89±0.29	19.72±1.70

Tratamiento	Concentración de etanol (%v/v)	Tiempo de extracción (hora)	SST (%)	Rendimiento de sólidos extraídos (%)
E2R1	96	1	1.32±0.57	13.89±0.65
E2R2	96	1	1.50±0.00	14.54±1.06
E2R3	96	1	1.13±0.66	12.31±0.83
E3R1	75	2	1.74±0.17	17.47±1.66
E3R2	75	2	1.97±0.00	19.64±1.89
E3R3	75	2	1.80±0.04	18.15±1.25
E4R1	96	2	1.39±0.13	11.61±1.09
E4R2	96	2	1.01±0.20	9.66±1.11
E4R3	96	2	1.11±0.00	11.16±0.94

Nota. La tabla presenta los factores de los tratamientos (concentración y tiempo) para la extracción de sólidos solubles totales, el porcentaje de SST y el rendimiento de la extracción de la raíz cúrcuma. *Fuente:* Autoría propia

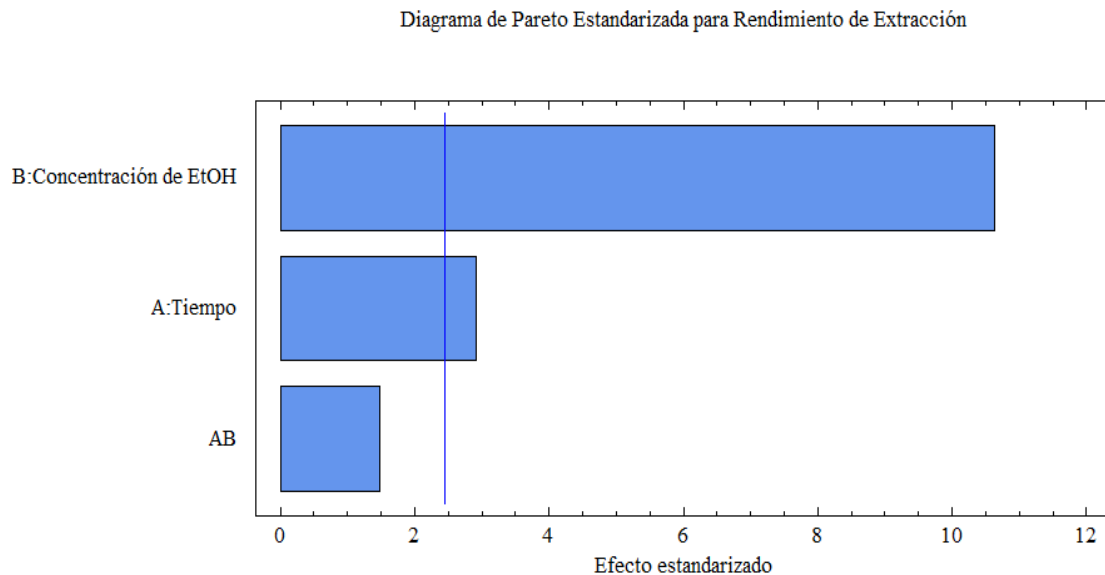
Los porcentajes obtenidos de SST a partir de una concentración etanólica de 75 % y temperatura de 60°C fueron de: 1.92 ± 0.18 y 1.97 ± 0.00 %, en un tiempo de 1 y 2 horas respectivamente. A partir de una concentración etanólica de 96 % y una temperatura de 60°C fueron de: 1.39 ± 0.13 y 1.50 ± 0.00 %, en un tiempo de 1 y 2 horas respectivamente. Los SST extraídos pueden depender de la matriz de la planta que se empleó para el ensayo, además de, la influencia de la temperatura la misma que permite una mayor permeabilidad e interacción con el solvente orgánico (Nguyen & Chuyen, 2020). Estudios afirman que la extracción de SST en la raíz cúrcuma incrementan a partir del aumento de temperatura en rangos de 50 a 90°C y tiempos de 10 a 50 minutos (Sogi et al., 2010). Los porcentajes obtenidos en el presente ensayo se encuentran en los rangos aceptables en la determinación de SST extraídos, para raíz de cúrcuma, teniendo así, un rango de 0.8 y 3.4 % SST (Paulucci et al., 2013). La diferencia presente entre los porcentajes más elevados del ensayo que se usa como referencia, se da posiblemente por los factores seleccionados, tanto para la temperatura y relación material vegetal/disolvente orgánico, ya que, para la

optimización de la extracción de metabolitos vegetales a partir de la raíz cúrcuma, la temperatura de 70°C, concentración etanólica de 80 % y la relación material vegetal/disolvente 1:20, presentan un mayor porcentaje de rendimiento de extracción (**Pan et al., 2020**).

La figura 3 del análisis estadístico a partir del diagrama de Pareto, indica los factores que poseen significancia en el rendimiento de la extracción de sólidos solubles totales, con lo cual se pudo comprobar la relevancia que posee la concentración etanólica y tiempo para la extracción.

Figura 3

Análisis estadístico diagrama de Pareto Estandarizada de los tratamientos cúrcuma



Nota. A: Tiempo, B: Concentración de EtOH (etanol), AB: Interacción entre Concentración de EtOH y Tiempo de extracción. Los bloques que superan la línea limitante poseen significancia en el tratamiento. *Fuente.* Autoría propia

El diagrama de Pareto de la Figura 3, presenta la relación de los factores para la selección de las mejores condiciones y la maximización del rendimiento de la extracción de los sólidos solubles totales (SST), aplicados a la raíz de cúrcuma. Los análisis estadísticos (Anexo 1), para la determinación del mejor método de extracción, indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) para un 95 % de confianza, con respecto al tiempo y concentración etanólica, en donde, el mayor rendimiento obtenido fue de $19.72 \pm 1.70\%$ y el menor fue de $18.78 \pm 1.68 \%$ con solvente etanol a una concentración del 75 % por un tiempo de 1 hora.

Los estudios previos para la extracción de metabolitos de interés a partir de la raíz de cúrcuma, indican el nivel de influencia de los factores a la hora de realizar las extracciones, teniendo así que, la concentración del disolvente es el factor más influyente, seguido de la relación liquido/material, temperatura y por último el tiempo de extracción (**Pan et al., 2020**).

La figura 4 del análisis estadístico de Superficie de Respuesta para la raíz jengibre, presentó un valor óptimo de 19.33 %. En tanto a los factores seleccionados para maximizar el rendimiento de extracción, fueron de 1 hora y concentración etanólica del 75%.

Figura 4

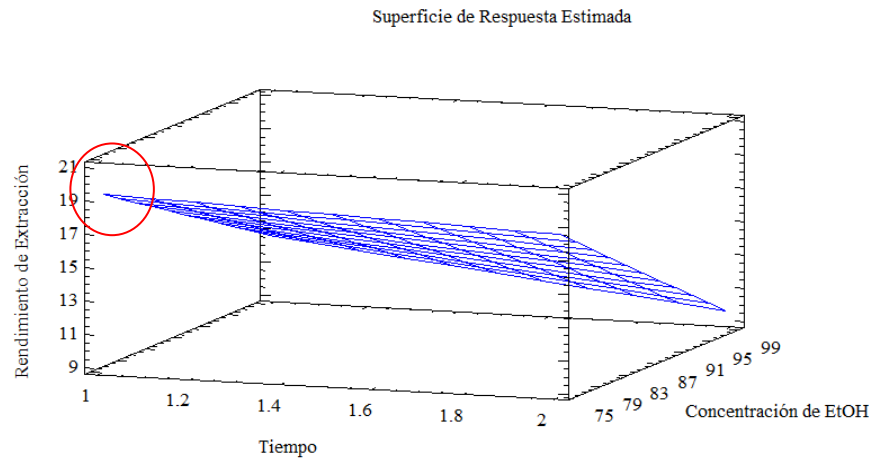
Análisis estadístico Superficie de Respuesta de los tratamientos cúrcuma

Optimizar respuesta

Meta: Maximizar el rendimiento de extracción

Valor Óptimo: 19.33

Factor	Bajo	Medio	Óptimo
Tiempo de extracción	1.0 h	2.0 h	1.0 h
Concentración EtOH	75 %	96 %	75 %



Nota. La figura muestra la influencia de cada factor de extracción sobre el rendimiento en la obtención de SST presentes en los extractos y las condiciones óptimas obtenidas a partir del paquete estadístico Statgraphics. El rendimiento se maximiza en el área señalada con un círculo. *Fuente.* Autoría propia

En la figura 4 del gráfico de superficie respuesta, se observa que el mejor tratamiento corresponde al tiempo de 1 hora y concentración etanólica del 75 %. Con lo que, posteriormente se procedió a realizar la extracción de los metabolitos de interés a gran escala. La tendencia observada con respecto a la concentración etanólica indica que, a mayor concentración de etanol la cantidad de sólidos extraídos por gramo de material vegetal disminuye significativamente (**Pan et al., 2020**). La relación entre un mayor porcentaje de rendimiento de extracción de sólidos con la concentración etanólica, incrementa al disminuir la concentración etanólica, ya que, de este modo la solubilidad del solvente es mayor, permitiendo un mejor rendimiento al extraer metabolitos de interés (**Klongdee & Klinkesorn, 2022**).

El tiempo seleccionado de una hora y la temperatura de 60°C, permitió en primeras instancias, la extracción por difusión de los metabolitos por el cambio de fase, en un intercambio de concentraciones entre el solvente y el material vegetal, permitiendo la

extracción por la tendencia al equilibrio de los medios y polaridad del solvente orgánico (Lezoul et al., 2020).

3.1.2.2.Jengibre

Los factores influyentes a la hora de realizar la obtención de sólidos solubles totales (SST) a partir de un material vegetal son: el tiempo, temperatura y concentración del solvente (Lee et al., 2006). Como se observa en la tabla 9, la extracción de SST posee dependencia sobre la concentración del solvente orgánico, ya que, esta determina la solubilidad y saturación del medio de extracción (Park et al., 2019).

Tabla 10

Sólidos solubles totales (SST) y rendimiento de raíz jengibre

Tratamiento	Concentración de etanol (%v/v)	Tiempo de extracción (hora)	SST (%)	Rendimiento de sólidos extraídos (%)
E1R1	75	1	1.49±0.46	14.97±0.95
E1R2	75	1	1.32±0.28	13.21±0.48
E1R3	75	1	1.14±0.41	12.44±1.06
E2R1	96	1	0.54±0.24	5.29±0.13
E2R2	96	1	0.49±0.13	4.52±0.24
E2R3	96	1	0.46±0.32	4.37±0.56
E3R1	75	2	1.44±0.11	13.70±1.98
E3R2	75	2	1.24±0.03	11.40±1.41
E3R3	75	2	1.27±0.35	12.48±1.04
E4R1	96	2	0.44±0.23	4.71±0.47
E4R2	96	2	0.52±0.00	5.22±0.22
E4R3	96	2	0.25±0.00	2.58±0.78

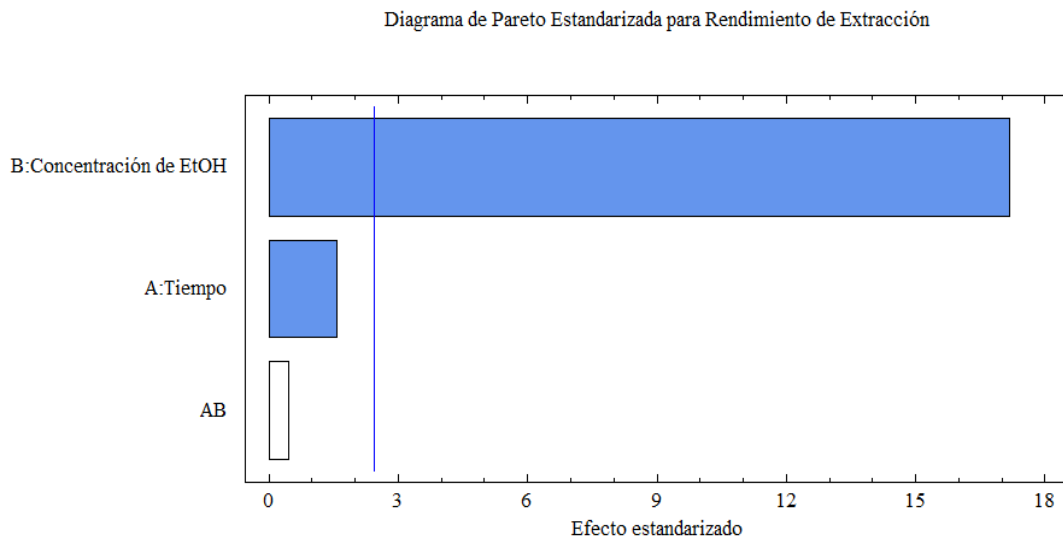
Nota. La tabla presenta los factores de los tratamientos (concentración y tiempo) para la extracción de sólidos solubles totales, el porcentaje de SST y el porcentaje de rendimiento de la extracción. *Fuente:* Autoría propia

Como se observa en la Tabla 10, el tratamiento con mejor rendimiento y porcentaje de SST extraídos es de 1 hora y concentración etanólica de 75 %, ya que, se obtuvieron valores máximos para los sólidos totales y rendimiento de 1.49 ± 0.45 % y 14.97 ± 0.95 % respectivamente. Estos porcentajes se encuentran en los rangos alcanzados por ensayos similares en la extracción de SST a partir de la raíz de jengibre, 0.1 y 1.8 % SST (Paulucci et al., 2013)

La figura 5 del análisis estadístico del diagrama de Pareto, indica los factores que poseen significancia en el rendimiento de la extracción de sólidos solubles totales, con lo cual se pudo comprobar la relevancia que posee la concentración etanólica para la extracción.

Figura 5

Análisis estadístico diagrama de Pareto Estandarizada tratamientos jengibre



Nota. A: Tiempo, B: Concentración de EtOH (etanol), AB: Interacción entre Concentración de EtOH y Tiempo de extracción. Los bloques que superan la línea limitante poseen significancia en el tratamiento. *Fuente.* Autoría propia

El diagrama de Pareto presentado en la Figura 5, presenta la relación de los factores para la selección de las mejores condiciones en la maximización del rendimiento para la extracción de SST, aplicados a la raíz de jengibre. Los análisis estadísticos (Anexo 2) para la determinación del mejor método de extracción indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) para un 95 % de confianza, con respecto a la concentración etanólica, en donde, el mayor rendimiento fue de 14.97 ± 0.95 % y el menor fue de 12.44 ± 1.06 % con disolvente etanol a una concentración del 75 % por un tiempo de 1 hora.

El tiempo seleccionado de 1 hora y la temperatura de 60°C, permitió en primeras instancias la extracción por difusión de los metabolitos por el cambio de fase, en un intercambio de concentraciones entre el disolvente (75%) y el material vegetal, permitiendo la extracción por la tendencia al equilibrio de los medios y polaridad del disolvente orgánico (**Lezoul et al., 2020**).

La figura 6 del análisis estadístico de Superficie de Respuesta para la raíz jengibre, presentó un valor óptimo de 13.54 %. En tanto a los factores seleccionados para maximizar el rendimiento de extracción, fueron de 1 hora y concentración etanólica del 75%.

Figura 6

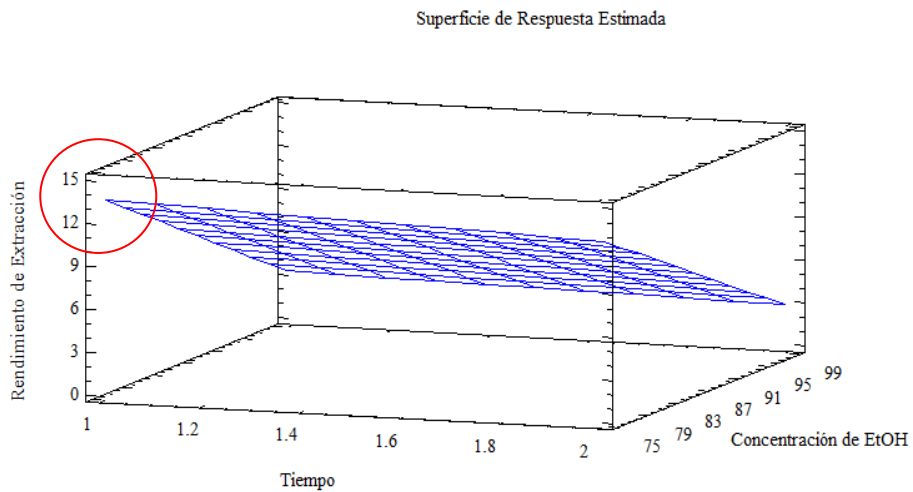
Análisis estadístico Superficie de Respuesta tratamientos jengibre

Optimizar respuesta

Meta: Maximizar el rendimiento de extracción

Valor Óptimo: 13.54

Factor	Bajo	Medio	Óptimo
Tiempo de extracción	1.0 h	2.0 h	1.0 h
Concentración EtOH	75 %	96 %	75 %



Nota. La figura muestra la influencia de cada factor de extracción sobre el rendimiento en la obtención de SST presentes en los extractos y las condiciones óptimas obtenidas a partir del paquete estadístico Statgraphics. El rendimiento se maximiza en el área señalada con un círculo. *Fuente.* Autoría propia

En la figura 6 del gráfico de superficie respuesta, se observa que el mejor tratamiento corresponde al tiempo de 1 hora y concentración etanólica del 75 %. Con lo que, posteriormente se procedió a realizar la extracción de los metabolitos de interés a gran escala. La tendencia observada con respecto a la concentración etanólica indica que, a mayor concentración de etanol la cantidad de sólidos extraídos por gramo de material vegetal disminuye significativamente (**Cha et al., 2020**). La relación entre un mayor porcentaje de rendimiento de extracción de sólidos con la concentración etanólica, incrementa al disminuir la concentración etanólica, ya que, de este modo la solubilidad del solvente es mayor, permitiendo un mejor rendimiento al extraer los metabolitos vegetales de interés (**Klongdee & Klinkesorn, 2022**).

Para la optimización de la extracción de metabolitos a partir del material vegetal se obtuvieron resultados en ensayos similares, en donde, se registró un mayor rendimiento al mantener la concentración del disolvente orgánico (etanol) por debajo del porcentaje de concentración en un rango del 60 al 96 % (**Kim et al., 2014**). Los mejores resultados se obtuvieron en rangos de concentración de EtOH de 55 a 75 %, siendo esta última la concentración que obtuvo un mayor rendimiento de extracción (**Shouqin et al., 2005**). Los factores óptimos en la extracción de jengibre de acuerdo a ensayos previos indican un mayor rendimiento a una temperatura de 62.29°C, un tiempo de 51.90 minutos y una concentración etanólica de 70 % (**Cha et al., 2020**). Estos datos poseen similitud con el tiempo y concentración con mayor rendimiento presentado en este ensayo, teniendo así, una temperatura de 60°C, tiempo de 1 hora y concentración etanólica de 75 %.

3.1.3. Microencapsulación por el método de secado por aspersión de la mezcla polimérica y extractos vegetales

Los criterios para evaluar un microencapsulado está dado por la determinación de la eficiencia y el rendimiento. La temperatura, humedad y tipo de compuestos bioactivos que se requiere microencapsular, poseen influencia en la variabilidad de los criterios que determinan una microencapsulación eficiente (**Macías-Cortés et al., 2019**). Un

microencapsulado exitoso, depende de la retención de los metabolitos en el interior del polímero y una mínima cantidad en el exterior de la micropartícula. Las características y propiedades de la pared y núcleo dependen de las condiciones bajo las que se realizó la microencapsulación, tanto de entrada como de salida, así como del material que se emplea para el recubrimiento y formación de la microcápsula (Akhavan et al., 2016).

Como se observa en la Tabla 11, la determinación de la eficiencia del microencapsulado de los extractos de las raíces de cúrcuma y jengibre, obtuvo un porcentaje de eficiencia del 69.87 %, esto a partir de la determinación de fenoles totales con el método de Folin Ciocalteu. De acuerdo con ensayos de microencapsulación de metabolitos de interés con secado por aspersión a partir de raíz de cúrcuma y jengibre, se presentan rangos porcentuales con un máximo de eficiencia de microencapsulado (EME) de 82.50 ± 0.62 % y un mínimo de 51.49 ± 3.16 % (Guo et al., 2020).

Tabla 11

Resultados de la microencapsulación

Peso del microencapsulado obtenido (g)	Eficiencia de microencapsulación (%)	Rendimiento (%)	Color
78.6	69.87	80.52	Amarillo pálido

Nota: En esta tabla se presenta el peso final en gramos, la eficiencia en porcentaje de fenoles superficiales totales por fenoles totales y rendimiento en porcentaje del peso real por peso teórico del microencapsulado. *Fuente:* Autoría propia

En tanto al rendimiento del microencapsulado, a partir de la obtención del peso real y peso teórico se obtuvo un valor de 80.52 %, lo cual indica un alto porcentaje de recuperación de los gramos de la mezcla polimérica con sólidos presentes en los extractos vegetales (Boyano-Orozco et al., 2020).

La disminución en la eficiencia del microencapsulado, se puede deber a la variación de condiciones con las que se realizó la microencapsulación, además de, otros factores como, una alta presencia de oxígeno, temperatura y desgaste del equipo Mini Spray Dryer BUCHI-B290 empleado para este ensayo **(Cano-Higuita et al., 2015)**. A pesar de que el porcentaje de eficiencia de este ensayo no se encuentra en los rangos más altos obtenidos en ensayos similares, se puede considerar como aceptable.

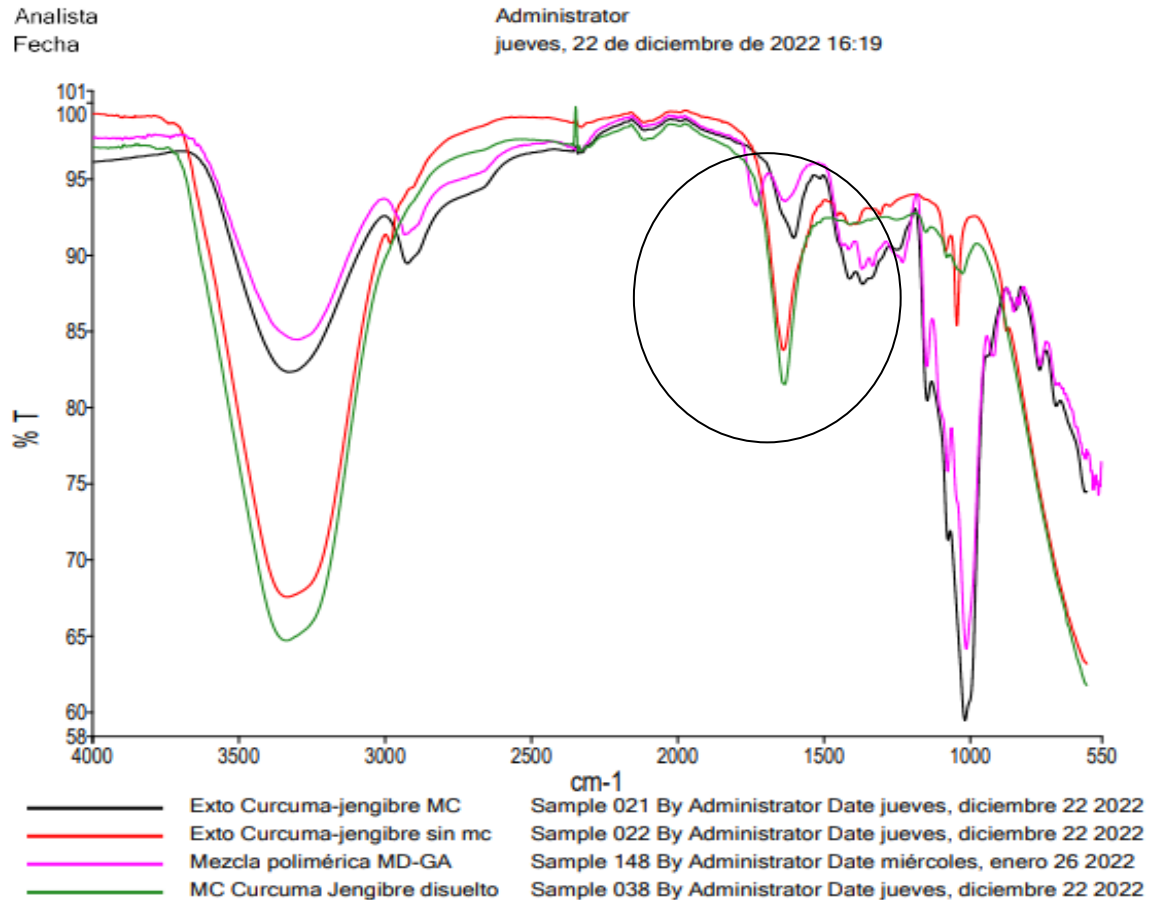
3.1.4. Análisis de espectrofotometría infrarroja

La FTIR es un método el cual permite el sondeo de vibraciones moleculares, las mismas que se las caracteriza a partir de bandas de absorción infrarroja correspondiente a los grupos funcionales presentes **(Berthomieu & Hienerwadel, 2009)**. Este método cualitativo permite la determinación de los grupos funcionales existentes en las muestras, situando en regiones específicas las señalizaciones existentes **(Tiernan et al., 2020)**. Los cambios de energía vibracional generalmente se encuentran en la zona media del IR entre 4000 y 400 cm^{-1} , presentando una banda de absorción en esta región. Existen cuatro regiones específicas identificables, las mismas que detectan el tipo de enlace como el simple (2500 y 4000 cm^{-1}), doble (2000 – 2500 cm^{-1}) y triple (1500 y 2000 cm^{-1}) **(Mohamed et al., 2017)**.

En la figura 7, se puede observar los picos de absorción presentes en 3340.51 cm^{-1} , estos corresponden a la vibración de los grupos OH que se encuentran libres en las muestras analizadas, con lo cual, se encontró similitudes entre el microencapsulado de los extractos vegetales de interés (color negro) y la mezcla polimérica de maltodextrina y goma arábica (color azul), además, se observa similitud entre los picos del extracto puro de los extractos de vegetales de interés sin microencapsular (color verde) y el microencapsulado disuelto en agua (color rojo), lo cual indica que, al disolver el microencapsulado, este liberó los metabolitos que fueron encapsulados, presentando así, una similitud con el extracto vegetal puro.

Figura 7

Espectrofotometría infrarroja (FTIR) de mezcla MD y GA, microencapsulado y extracto vegetal



Nota. En esta figura se observa las curvas obtenidas a partir de los espectros de las muestras del microencapsulado (negro), extracto de cúrcuma y jengibre (rojo), mezcla polimérica de maltodextrina y goma arábica (azul) y microencapsulado disuelto (verde).

Fuente: Autoría propia

Los picos en 1633.77 cm^{-1} , corresponden a los alargamientos de los enlaces de carbono y oxígeno ($\text{C}=\text{C}$ y $\text{C}=\text{O}$) presentes en curcumina y gingerol. Los picos descritos que se encuentran en un círculo indican una diferencia entre el microencapsulado y la mezcla

polimérica de MD y GA, esto se debe a la eficiencia del microencapsulado, la misma que, corresponde al 69.87 %. Debido a que el microencapsulado no posee una eficiencia del 100 %, se puede observar una diferencia entre los picos ubicados en 1600 cm⁻¹. Los picos en 1400 cm⁻¹, corresponde a la vibración C-OH y al alargamiento del anillo aromático C-C-C. Así mismo, los picos en 1250 y 1025 cm⁻¹ corresponden a la vibración de C-C-H (Patel et al., 2022).

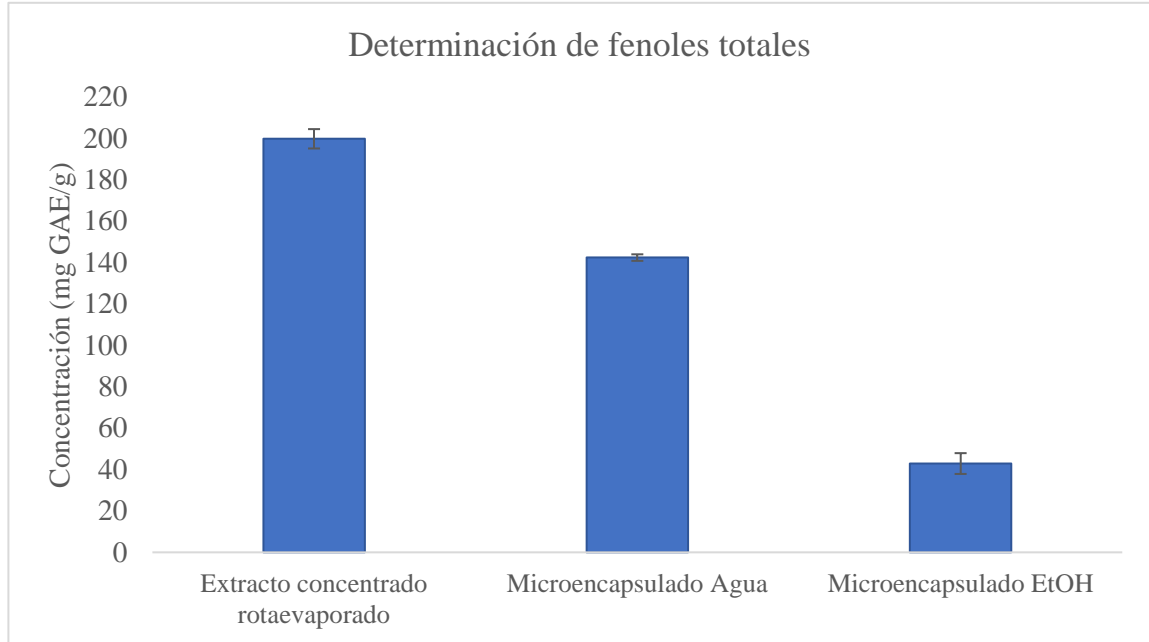
3.1.5. Determinación de fenoles totales presentes en el microencapsulado y extracto.

La cantidad de compuestos fenólicos en el material vegetal, puede estar ligado a las funciones fisiológicas que la planta posee (Arruda et al., 2018). Por su naturaleza, las plantas almacenan más polifenoles en tejidos de protección en relación a nutritivos, ya que, por lo general los últimos se encuentran ocupados por nutrientes como almidones, lípidos y proteínas (Wang et al., 2020).

En la figura 8, se puede observar la concentración de fenoles obtenidos a partir de la curva de calibración de ácido gálico, como se evidencia en el Anexo 6 y 7, en donde, se obtuvo la ecuación de la recta $y = 0.0019x + 0.0725$ con lo cual, se pudo determinar la concentración de fenoles del extracto concentrado rotaevaporado de las raíces de cúrcuma y jengibre, del microencapsulado disuelto en agua y del microencapsulado disuelto en etanol, teniendo así concentraciones de 199.73, 142.36 y 42.89 mg GAE/g respectivamente.

Figura 8

Determinación de fenoles totales, método Folin Ciocalteu



Nota. En la gráfica se puede observar la variación entre los fenoles obtenidos para las muestras de: extracto concentrado y rotaevaporado, microencapsulado disuelto en agua y microencapsulado disuelto en EtOH. *Fuente:* Autoría propia

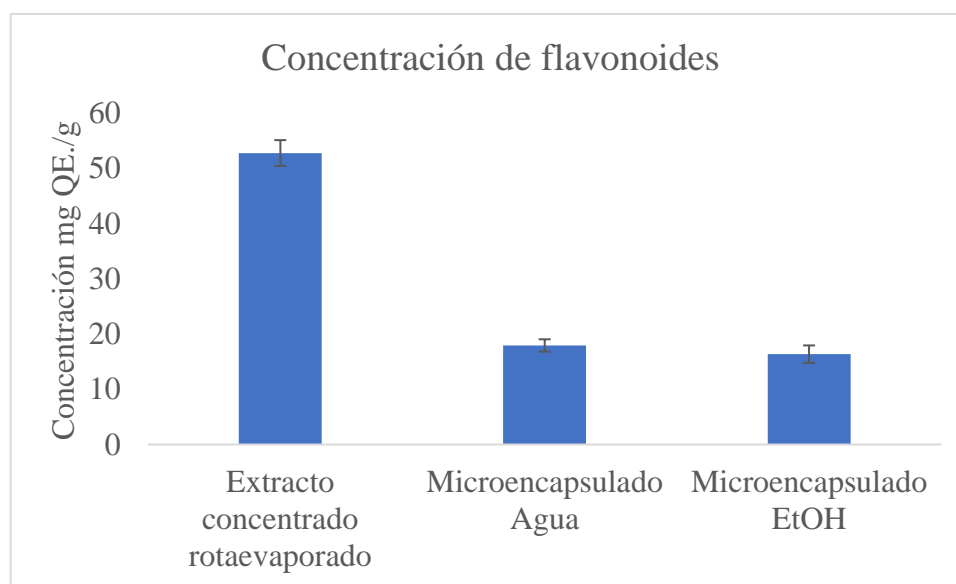
Las concentraciones obtenidas presentan similitud con ensayos previos, los mismos que registran una concentración máxima de 260 ± 0.25 mg GAE/g (Sahu & Saxena, 2013) y un mínimo de 82.47 ± 2.70 mg GAE/g (Erdoğan & Erbaş, 2021), teniendo en cuenta la variabilidad de los factores aplicados, se considera que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos aceptables para el ensayo. A partir de las concentraciones de fenoles del microencapsulado disuelto en agua y microencapsulado disuelto en etanol, se determinó el porcentaje de eficiencia del microencapsulado total el mismo que fue de 69.87 % (Patel et al., 2022).

3.1.6. Determinación de flavonoides totales del microencapsulado y extracto.

Los flavonoides presentes en especies vegetales poseen propiedades que disminuyen la acumulación de especies reactivas ROS evitando de esta manera la aparición de una degradación oxidativa y una mayor tolerancia ante factores de estrés (Dias et al., 2021).

Figura 9

Determinación de flavonoides



Nota. En esta grafica se puede observar la comparación entre las variaciones de flavonoides obtenidos para: el extracto concentrado y rotaevaporado, microencapsulado disuelto en agua y microencapsulado disuelto en EtOH. *Fuente:* Autoría propia

Como se observa en la Figura 9, a partir de la determinación de las absorbancias mediante espectrofotometría UV-VIS y la curva de calibración de quercetina (Anexo 8 y 9), se obtuvieron las concentraciones de flavonoides totales presentes en el extracto vegetal concentrado rotaevaporado (52.77 ± 2.33 mg QE/g), microencapsulado disuelto en agua 17.93 ± 1.11 mg QE/g) y microencapsulado disuelto en etanol (16.36 ± 1.57 mg QE/g). Estas concentraciones obtenidas se encuentran dentro del rango presentados en ensayos previos, realizados en la determinación de flavonoides presentes en extractos etanólicos

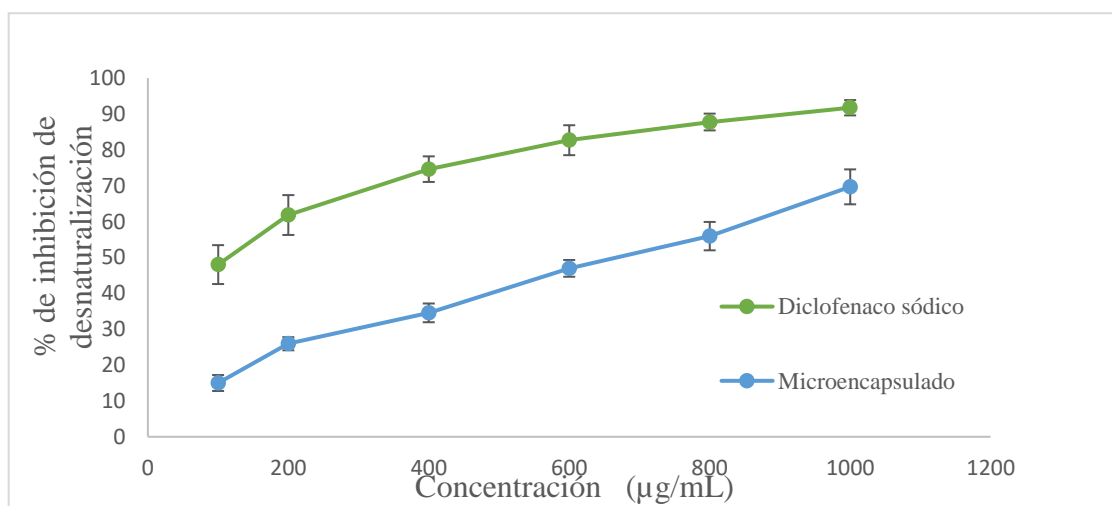
de las raíces de cúrcuma y jengibre, obteniendo así, un máximo de flavonoides en la raíz de cúrcuma de 79.36 ± 0.01 y un mínimo de 22.52 ± 0.02 mg QE/g (Sahu & Saxena, 2013), la concentración de flavonoides en los extractos etanólicos de la raíz de jengibre se obtuvo un máximo de 4.21 ± 0.98 y un mínimo de 3.66 ± 0.45 mg QE/g (Ghasemzadeh et al., 2010).

3.1.7. Evaluación *in vitro* de la actividad antiinflamatoria

El ensayo de la inhibición de la desnaturalización de albúmina de huevo a partir de diclofenaco sódico (Anexo 12) y microencapsulado de las raíces cúrcuma y jengibre (Anexo 13), presentó un aumento en relación con la concentración de las dos muestras (Hossain et al., 2020).

Figura 10

Porcentaje de inhibición de desnaturalización de albúmina a partir de diclofenaco sódico y microencapsulado



Nota. En la gráfica se observa la comparación entre el porcentaje de inhibición de desnaturalización proteica (albúmina de huevo) por parte de diclofenaco sódico (verde) y microencapsulado de las raíces cúrcuma y jengibre (azul). *Fuente:* Autoría propia

Como se observa la figura 10, el diclofenaco sódico alcanzó un valor máximo de porcentaje de inhibición de 91.73 % a una concentración de 1000 $\mu\text{g/mL}$ y un mínimo de 48 % de inhibición a una concentración de 100 $\mu\text{g/mL}$. Por otro lado, el porcentaje de inhibición máximo que se obtuvo a partir del microencapsulado de las raíces de interés fue de 69.67 % a una concentración de 1000 $\mu\text{g/mL}$ y un mínimo de 14.99 % a una concentración de 100 $\mu\text{g/mL}$. Estas propiedades de inhibición de la desnaturalización proteica de albúmina de huevo en presencia de altas temperaturas se deben a la interacción con los compuestos polifenólicos y antioxidantes presentes en los extractos obtenidos de cúrcuma y jengibre (**Maleki et al., 2019**).

Los porcentajes de inhibición obtenidos en ensayos previos, demuestran un mayor porcentaje de inhibición al usar extractos de las raíces de interés a partir de solventes orgánicos, ya que, con una concentración de 600 $\mu\text{g/mL}$ obtuvieron un porcentaje de inhibición mayor al 70 % (**Anwar et al., 2022**) el mismo que es superior al del presente ensayo realizado, a una concentración similar en la cual se obtuvo un porcentaje de inhibición de 46.95 %. Esta variabilidad en los porcentajes se debe a la reducción de fenoles y flavonoides del microencapsulado (142.37 GAE/g) en relación con el extracto etanólico puro de las dos raíces (199.74 GAE/g), además de, las condiciones de almacenamiento, el nivel de oxígeno y temperatura al momento de microencapsular (**Janiszewska-Turak et al., 2017**).

La desnaturalización proteica se presenta al modificar las estructuras secundarias y terciarias de las proteínas, debido a la alteración de los enlaces disulfuro e hidrógeno (**Khalid et al., 2021**). La gran cantidad de metabolitos antioxidantes presentes en la cúrcuma (curcumina) y jengibre (gingerol), permiten obtener una tasa de desnaturalización proteica mucho más baja al someter a altas temperaturas (**Heidari-Beni et al., 2020**). Los compuestos bioactivos microencapsulados a partir de las dos raíces, presentan un porcentaje de inhibición aceptable a la hora de realizar los ensayos de desnaturalización proteica con albúmina de huevo, lo cual, está dado por la alta cantidad de polifenoles y flavonoides que estas contienen (**Fu et al., 2021**). Al comparar ensayos similares de plantas con propiedades antiinflamatorias, los porcentajes de inhibición de la

desnaturalización de albúmina de huevo es superior en este ensayo, a concentraciones similares (1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$) y porcentaje de inhibición de 69.67 %, en relación a 27,65 % (**Dharmadeva et al., 2018**), 26.5 % (**Akoto et al., 2020**) y 47 % de inhibición de desnaturalización proteica (**Prabakaran et al., 2020**).

3.2.Verificación de hipótesis

$H_0 \neq 0$ Se rechaza la hipótesis nula

$H_a \neq 0$ Se acepta la hipótesis alternativa en donde se verificó que la relación entre los parámetros óptimos de extracción como: concentración del disolvente (EtOH) y tiempo (h) a partir de las raíces de cúrcuma y jengibre, si incidió en la obtención de compuestos bioactivos con propiedades antiinflamatorias con capacidad de ser microencapsulados a partir del método de secado por aspersión.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se extrajeron metabolitos de interés, a partir del empleo de etanol como solvente orgánico. El rendimiento de esta extracción se cuantificó a partir de la determinación de sólidos solubles totales (SST) presentes en los extractos de la raíz de cúrcuma (*C. longa*) y jengibre (*Z. officinale*). Los resultados presentaron porcentajes aceptables al comparar con ensayos previos, los cuales, indican un porcentaje ligeramente superior al obtenido en este estudio. Pese a la variación de los resultados, los rendimientos de extracción obtenidos fueron aceptables teniendo un máximo porcentaje de rendimiento SST para la raíz de cúrcuma de $19.72 \pm 1.70\%$ y para la raíz jengibre $14.97 \pm 0.95\%$.
- A partir de una mezcla polimérica de malto dextrina y goma arábica, en conjunto con la tecnología de secado por aspersión, se preparó un microencapsulado a partir de los compuestos bioactivos obtenidos de la raíz de cúrcuma y jengibre. La espectrofotometría infrarroja aplicada permitió de manera cualitativa constatar la eficiencia de la microencapsulación, al comparar los picos de absorción de la mezcla polimérica y extractos vegetales, en relación con el microencapsulado. Este análisis se corroboró a partir de la determinación de la eficiencia del microencapsulado, el mismo que fue de 69.87 %.
- Se cuantificó los compuestos fitoquímicos del material vegetal de estudio confirmando la existencia de fenoles y flavonoides. A partir de la espectrofotometría UV-VIS, se determinó la concentración de fenoles del extracto vegetal concentrado rotaevaporado (199.74 ± 4.68 mg GAE/g), microencapsulado disuelto en agua (142.37 ± 1.58 mg GAE/g) y del microencapsulado disuelto en etanol (42.89 ± 5.02 mg GAE/g). Para las concentraciones de flavonoides totales presentes, se obtuvieron valores en el extracto vegetal concentrado rotaevaporado (52.77 ± 2.33 mg QE/g),

microencapsulado disuelto en agua (17.93 ± 1.11 mg QE/g) y microencapsulado disuelto en EtOH (16.36 ± 1.57 mg QE/g).

- Se evaluó la actividad antiinflamatoria del microencapsulado de compuestos bioactivos de la raíz de cúrcuma y jengibre, a partir del ensayo *in vitro* de la inhibición de la desnaturalización proteica (albúmina de huevo), obteniéndose un porcentaje máximo de inhibición de 69.68% a una concentración de 1000 $\mu\text{g/mL}$ y un mínimo de 14.99 % a una concentración de 100 $\mu\text{g/mL}$. Estos porcentajes presentan similitud con ensayos similares, lo cual indica que, las propiedades antiinflamatorias de estas especies vegetales pueden contribuir a la elaboración de fármacos, aprovechando sus compuestos activos como una alternativa a los antiinflamatorios de uso convencional.
- Se comprobó la actividad antiinflamatoria que poseen los metabolitos vegetales microencapsulados presentes en la raíz de cúrcuma y jengibre. A partir de la experimentación *in vitro* y la determinación de polifenoles totales presentes en el material vegetal. Con los resultados obtenidos, se pudo concluir que, los extractos microencapsulados de plantas con alta concentración de metabolitos con propiedades antiinflamatorias pueden ser una alternativa natural para el tratamiento y disminución de síntomas producidos por agentes proinflamatorios.

4.2. Recomendaciones

- Realizar estudios sobre la asimilación del microencapsulado en el organismo, con la finalidad de registrar los efectos antiinflamatorios y dosis adecuadas para obtener un efecto y estabilidad adecuada del compuesto.
- Realizar más ensayos *in vitro* e *in vivo* de la actividad antiinflamatoria del microencapsulado obtenido en este estudio, con la finalidad de verificar de una manera completa los efectos antiinflamatorios que este posee.
- Revisar estudios sobre la optimización de la extracción de metabolitos de plantas con propiedades antiinflamatorias, además de, la aplicabilidad de métodos complementarios como la extracción por microondas y ultrasonido, con lo cual, se puede llegar a maximizar el rendimiento de la extracción.
- Realizar extracciones con diferentes tipos de disolventes orgánicos, con la finalidad de poder comparar la eficiencia de extracción de los disolventes y seleccionar el mejor método para la extracción.

MATERIAL DE REFERENCIA
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhavan, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>
- Anwar, S., Raut, R., Kanwai, B., & Yahia, E. (2022). In vitro investigation of anti-inflammatory and antioxidant activities of *Curcuma longa* rhizome methanol extract. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*. https://www.researchgate.net/publication/364950380_In_Vitro_Investigation_of_Anti-inflammatory_and_Antioxidant_Activities_of_Curcuma_Longa_Rhizome_Methanol_Extract
- Arruda, H. S., Pereira, G. A., de Moraes, D. R., Eberlin, M. N., & Pastore, G. M. (2018). Determination of free, esterified, glycosylated and insoluble-bound phenolics composition in the edible part of araticum fruit (*Annona crassiflora* Mart.) and its by-products by HPLC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, 245(August 2017), 738–749. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.120>
- Baek, S. H., Cao, L., Jeong, S. J., Kim, H. R., Nam, T. J., & Lee, S. G. (2021). The comparison of total phenolics, total antioxidant, and anti-tyrosinase activities of korean *Sargassum* species. *Journal of Food Quality*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6640789>
- Berthomieu, C., & Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis Research*, 101(2–3), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>
- Bindu, S., Mazumder, S., & Bandyopadhyay, U. (2020). Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and organ damage: A current perspective. *Biochemical*

Pharmacology, 180(July). <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114147>

- Boyano-Orozco, L., Gallardo-Velázquez, T., Meza-Márquez, O. G., & Osorio-Revilla, G. (2020). Microencapsulation of rambutan peel extract by spray drying. *Foods*, 9(7), 899. <https://doi.org/10.3390/foods9070899>
- Bucurescu, A., Blaga, A. C., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2018). Microencapsulation of curcumin by a Spray-Drying technique using gum arabic as encapsulating agent and release studies. *Food and Bioprocess Technology*, 11(10), 1795–1806. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2140-3>
- Cano-Higuita, D. M., Malacrida, C. R., & Telis, V. R. N. (2015). Stability of curcumin microencapsulated by spray and freeze drying in binary and ternary matrices of maltodextrin, gum arabic and modified starch. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2049–2060. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12448>
- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E., & Rodríguez-Tadeo, A. (2019). Consumption of phenolic compounds in the elderly population. *Nutricion Hospitalaria*, 36(2), 470–478. <https://doi.org/10.20960/nh.2171>
- Cha, J., Kim, C. T., & Cho, Y. J. (2020). Optimizing extraction conditions for functional compounds from ginger (*Zingiber officinale*) using response surface methodology. *Food Science and Biotechnology*, 29(3), 379–385. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00667-9>
- Chandra, S., Dey, P., Bhattacharya, S., Division, P., & Bengal, W. (2012). Preliminary in vitro assessment of anti-inflammatory property of Mikania scandens flower extract. *Journal of Advanced Pharmacy Education & Research*, 2(1), 25–31. <https://japer.in/storage/models/article/o7oFhPQqOLtJneASIAZU8QDQoCRZuFVdOq0WQXWakKBNwvabl5UfxiI9TIhh/preliminary-in-vitro-assessment-of-anti-inflammatory-property-of-mikania-scandens-flower-extract.pdf>
- Dharmadeva, S., Galgamuwa, L. S., Prasadinie, C., & Kumarasinghe, N. (2018). In vitro anti-inflammatory activity of Ficus racemosa L. bark using albumin denaturation

method. *Ayu*, 39(4), 239–242. https://doi.org/10.4103/ayu.AYU_27_18

Dias, M. C., Pinto, D. C. G. A., & Silva, A. M. S. (2021). Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*, 26(17), 1–16. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>

Erdoğan, Ü., & Erbaş, S. (2021). Phytochemical profile and antioxidant activities of *Zingiber officinale* (ginger) and *Curcuma longa L.*(turmeric) rhizomes. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1–6. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.991202>

Escobar-Avello, D., Avendaño-Godoy, J., Santos, J., Lozano-Castellón, J., Mardones, C., von Baer, D., Luengo, J., Lamuela-Raventós, R. M., Vallverdú-Queralt, A., & Gómez-Gaete, C. (2021). Encapsulation of phenolic compounds from a grape cane pilot-plant extract in hydroxypropyl beta-cyclodextrin and maltodextrin by spray drying. *Antioxidants*, 10(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/antiox10071130>

Fernández-Marín, R., Fernandes, S. C. M., Andrés, M. A., & Labidi, J. (2021). Microwave-assisted extraction of *Curcuma longa L.* oil: optimization, chemical structure and composition, antioxidant activity and comparison with conventional soxhlet extraction. *Molecules*, 26(6), 1516. <https://doi.org/10.3390/molecules26061516>

Fu, Y. S., Chen, T. H., Weng, L., Huang, L., Lai, D., & Weng, C. F. (2021). Pharmacological properties and underlying mechanisms of curcumin and prospects in medicinal potential. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 141(April), 111888. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111888>

Ge, Y., Huang, M., & Yao, Y. ming. (2018). Autophagy and proinflammatory cytokines: Interactions and clinical implications. *Cytokine and Growth Factor Reviews*, 43(June), 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2018.07.001>

Germolec, D. R., Shipkowski, K. A., Frawley, R. P., & Evans, E. (2018). Markers of inflammation. *Methods in Molecular Biology*, 1803, 57–79.

https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8549-4_5

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., & Rahmat, A. (2010). Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6), 4324–4333. <https://doi.org/10.3390/molecules15064324>

Grassia, M., Messia, M. C., Marconi, E., Demirkol, Ş., Erdoğan, F., Sarghini, F., Cinquanta, L., Corona, O., & Planeta, D. (2021). Microencapsulation of phenolic extracts from cocoa Shells to Enrich Chocolate Bars. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(4), 449–457. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00917-4>

Guo, J., Li, P., Kong, L., & Xu, B. (2020). Microencapsulation of curcumin by spray drying and freeze drying. *LWT*, 132(February), 109892. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109892>

Hamilton, J. A. (2020). GM-CSF in inflammation. *Journal of Experimental Medicine*, 217(1), 1–16. <https://doi.org/10.1084/jem.20190945>

Heidari-Beni, M., Moravejolahkami, A. R., Gorgian, P., Askari, G., Tarrahi, M. J., & Bahreini-Esfahani, N. (2020). Herbal formulation “turmeric extract, black pepper, and ginger” versus Naproxen for chronic knee osteoarthritis: A randomized, double-blind, controlled clinical trial. *Phytotherapy Research*, 34(8), 2067–2073. <https://doi.org/10.1002/ptr.6671>

Hillion, S., Arleevskaya, M. I., Blanco, P., Bordron, A., Brooks, W. H., Cesbron, J. Y., Kaveri, S., Vivier, E., & Renaudineau, Y. (2020). The innate part of the adaptive immune system. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*, 58(2), 151–154. <https://doi.org/10.1007/s12016-019-08740-1>

- Hossain, R., Rahman, M. A., J. Rafi, M. K., Siddique, T. A., Noman, A. A., Makki, A., Alelwani, W., Hajjar, D., & Tangpong, J. (2020). Pharmacological and ADMET-based pharmacokinetic properties of *Syzygium samarangense* var. *parviflorum* leaf extract in in vitro, in vivo and in silico models. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3), 1155–1175. <https://doi.org/10.15835/nbha48311986>
- Imo, C. (2019). Medicinal properties of ginger and garlic: A Review. *Current Trends in Biomedical Engineering & Biosciences*, 18(2). <https://doi.org/10.19080/CTBEB.2019.18.555985>
- Janiszewska-Turak, E., Dellarosa, N., Tylewicz, U., Laghi, L., Romani, S., Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. *Food Chemistry*, 236, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.134>
- Khalid, M., Alqarni, M. H., Shoaib, A., Arif, M., Foudah, A. I., Afzal, O., Ali, A., Ali, A., Alqahtani, S. S., & Altamimi, A. S. A. (2021). Anti-arthritic and anti-inflammatory potential of spondias mangifera extract fractions: An in silico, in vitro and in vivo approach. *Plants*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/plants10050825>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*, 61(1), 0–21. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Kim, M. B., Park, J. E., Woo, S. W., Lim, S. Bin, & Hwang, J. K. (2014). Optimization of high hydrostatic pressure process for the extraction of kireinol from *Siegesbeckia orientalis* L. using response surface methodology. *Food Science and Biotechnology*, 23(3), 731–738. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0099-z>
- Klongdee, S., & Klinkesorn, U. (2022). Optimization of accelerated aqueous ethanol extraction to obtain a polyphenol-rich crude extract from rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel as natural antioxidant. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-25818-7>

- Kocaadam, B., & Şanlıer, N. (2017). Curcumin, an active component of turmeric (*Curcuma longa*), and its effects on health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(13), 2889–2895. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1077195>
- Le Phuong, H. A., Blanford, C. F., & Szekeley, G. (2020). Reporting the unreported: The reliability and comparability of the literature on organic solvent nanofiltration. *Green Chemistry*, 22(11), 3397–3409. <https://doi.org/10.1039/d0gc00775g>
- Lee, W. C., Yusof, S., Hamid, N. S. A., & Baharin, B. S. (2006). Optimizing conditions for hot water extraction of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Engineering*, 75(4), 473–479. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.062>
- Lezoul, N. E. H., Belkadi, M., Fariborz, H., & Guillén, F. (2020). Extraction Processes with Several Solvents on Total Bioactive Compounds in Different Organs of Three. *Molecules*, 25, 4672.
- Li, G., Ding, K., Qiao, Y., Zhang, L., Zheng, L., Pan, T., & Zhang, L. (2020). Flavonoids regulate inflammation and oxidative stress in cancer. *Molecules*, 25(23). <https://doi.org/10.3390/molecules25235628>
- Li, S. (2011). Chemical composition and product quality control of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Pharmaceutical Crops*, 5(1), 28–54. <https://doi.org/10.2174/2210290601102010028>
- Liu, H., Yang, H., Zhao, T., Lin, C., Li, Y., Zhang, X., Ye, Y., & Liao, J. (2021). Combined metabolome and transcriptome analyses of young, mature, and old rhizome tissues of *Zingiber officinale* Roscoe. *Frontiers in Genetics*, 12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.795201>
- Macías-Cortés, E., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., Moreno-Jiménez, M. R., Medina-Torres, L., & González-Laredo, R. F. (2019). Microencapsulation of

- phenolic compounds: Technologies and novel polymers. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 491–521. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim642>
- Maleki, S. J., Crespo, J. F., & Cabanillas, B. (2019). Anti-inflammatory effects of flavonoids. *Food Chemistry*, 299(July). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125124>
- Maytorena-Verdugo, C., & García-Carreño, F. (2012). Uso de enzimas en solventes orgánicos en la industria de bioprocesos. *BioTecnología*, 16(1), 21–35. [https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2390/1/Maytorena and García carreño 2012.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2390/1/Maytorena%20and%20García%20carreño%202012.pdf)
- Mazuco, R. A., Cardoso, P. M. M., Bindaco, É. S., Scherer, R., Castilho, R. O., Faraco, A. A. G., Ruas, F. G., Oliveira, J. P., Guimarães, M. C. C., de Andrade, T. U., Lenz, D., Braga, F. C., & Endringer, D. C. (2018). Maltodextrin and gum arabic-based microencapsulation methods for anthocyanin preservation in juçara palm (*Euterpe edulis* Martius) fruit pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(3), 209–215. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0676-z>
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>
- Moyano, M. A. (2007). *Extracción con solventes*. 36.
- Murata, M. (2018). Inflammation and cancer. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 23(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0740-1>
- Nguyen, Q. V., & Chuyen, H. Van. (2020). Processing of herbal tea from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): Effects of drying temperature and brewing conditions on total soluble solid, phenolic content, antioxidant capacity and sensory quality. *Beverages*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/beverages6010002>
- Organización Mundial de la Salud. (2014). Estrategia de la OMS sobre medicina

tradicional 2014 - 2023. *OMS*.

- Osei Akoto, C., Acheampong, A., Boakye, Y. D., Naazo, A. A., & Adomah, D. H. (2020). Anti-Inflammatory, Antioxidant, and Anthelmintic Activities of *Ocimum basilicum* (Sweet Basil) Fruits. *Journal of Chemistry*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2153534>
- Pan, Y., Ju, R., Cao, X., Pei, H., Zheng, T., & Wang, W. (2020). Optimization extraction and purification of biological activity curcumin from *Curcuma longa L* by high-performance counter-current chromatography. *Journal of Separation Science*, 43(8), 1586–1592. <https://doi.org/10.1002/jssc.201901174>
- Park, C. Y., Lee, K. Y., Gul, K., Rahman, M. S., Kim, A. N., Chun, J., Kim, H. J., & Choi, S. G. (2019). Phenolics and antioxidant activity of aqueous turmeric extracts as affected by heating temperature and time. *Lwt*, 105(August 2018), 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.014>
- Patel, S. S., Pushpadass, H. A., Franklin, M. E. E., Battula, S. N., & Vellingiri, P. (2022). Microencapsulation of curcumin by spray drying: Characterization and fortification of milk. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1326–1340. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05142-0>
- Paulucci, V. P., Couto, R. O., Teixeira, C. C. C., & Freitas, L. A. P. (2013). Optimization of the extraction of curcumin from *Curcuma longa* rhizomes. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(1), 94–100. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000117>
- Prabakaran, G., Sampathkumar, P., Kavisri, M., & Moovendhan, M. (2020). Extraction and characterization of phycocyanin from *Spirulina platensis* and evaluation of its anticancer, antidiabetic and antiinflammatory effect. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.009>
- Ramadan, M. F. (2020). Cold pressed ginger (*Zingiber officinale*) oil. In *Cold Pressed*

Oils. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818188-1.00059-1>

Recio, F., Pérez, J., & Avelleyra, M. (2017). Revision de las bases fisiopatológicas de la inflamación. *Conamed*, 22(1), 48–51.

Redvers, N., & Blondin, B. (2020). Traditional indigenous medicine in North America: A scoping review. *PLoS ONE*, 15(8 August), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237531>

Román, M., Rivera, C., Cardona, L., Muñoz, L., Gomez, D., Passaro, C., & Quiceno, J. M. (2016). Guia de extracción por fluidos super criticos: fundamentos y aplicaciones. *Tecnoparque*, 1, 48.

S. Liu, C., Ruthirakuhan, M., A. Chau, S., Herrmann, N., F. Carvalho, A., & L. Lanctôt, K. (2016). Pharmacological management of agitation and aggression in alzheimer's disease: a review of current and novel treatments. *Current Alzheimer Research*, 13(10), 1134–1144. <https://doi.org/10.2174/1567205013666160502122933>

Sahu, R., & Saxena, J. (2013). Screening of total phenolic and flavonoid content in conventional and non conventional species of curcuma. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 21(2), 24–26.

Scott, K. A., Cox, P. B., & Njardarson, J. T. (2022). Phenols in pharmaceuticals: analysis of a recurring motif. *Journal of Medicinal Chemistry*, 65(10), 7044–7072. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.2c00223>

Seshadri, V. D., Oyouni, A. A. A., Bawazir, W. M., Alsagaby, S. A., Alsharif, K. F., Albrakati, A., & Al-Amer, O. M. (2022). Zingiberene exerts chemopreventive activity against 7,12-dimethylbenz(a)anthracene-induced breast cancer in Sprague-Dawley rats. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 36(10). <https://doi.org/10.1002/jbt.23146>

Shouqin, Z., Jun, X., & Changzheng, W. (2005). High hydrostatic pressure extraction of flavonoids from propolis. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*,

80(1), 50–54. <https://doi.org/10.1002/jctb.1153>

- Šic Žlabur, J., Radman, S., Opačić, N., Rašić, A., Dujmović, M., Brnčić, M., Barba, F. J., Castagnini, J. M., & Voća, S. (2022). Application of ultrasound as clean technology for extraction of specialized metabolites from stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.870923>
- Sishi, M., Muller, M., de Beer, D., van der Rijst, M., & Joubert, E. (2019). Rooibos agro-processing waste as herbal tea products: optimisation of soluble solids extraction from dust and application to improve sensory profile, colour and flavonoid content of stem infusions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3653–3661. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9587>
- Sogi, D. S., Sharma, S., Oberoi, D. P. S., & Wani, I. A. (2010). Effect of extraction parameters on curcumin yield from turmeric. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 300–304. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0047-8>
- Sun, J., Cheng, Y., Zhang, T., & Zang, J. (2022). Microencapsulation of carvacrol by complex coacervation of walnut meal protein isolate and gum arabic: preparation, characterization and bio-functional activity. *Foods*, 11(21), 3382. <https://doi.org/10.3390/foods11213382>
- Tasneem, S., Liu, B., Li, B., Choudhary, M. I., & Wang, W. (2019). Molecular pharmacology of inflammation: Medicinal plants as anti-inflammatory agents. *Pharmacological Research*, 139, 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2018.11.001>
- The Catalogue of Life Partnership. (2017). *APG IV: Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants*. <https://doi.org/10.15468>
- Thi Anh Dao, D., Van Thanh, H., Viet Ha, D., & Duc Nguyen, V. (2021). Optimization of spray-drying process to manufacture green tea powder and its characters. *Food Science and Nutrition*, 9(12), 6566–6574. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2597>

- Tiernan, H., Byrne, B., & Kazarian, S. G. (2020). ATR-FTIR spectroscopy and spectroscopic imaging for the analysis of biopharmaceuticals. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 241, 118636. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118636>
- Tsuda, T. (2018). Curcumin as a functional food-derived factor: Degradation products, metabolites, bioactivity, and future perspectives. *Food and Function*, 9(2), 705–714. <https://doi.org/10.1039/c7fo01242j>
- USDA. (2018a). *Central de datos de alimentos*. USDA. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172231/nutrients>
- USDA. (2018b). *Central de datos de alimentos*. USDA. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169231/nutrients>
- Vallée, A., & Lecarpentier, Y. (2020). Curcumin and endometriosis. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijms21072440>
- Vanucci-Bacqué, C., & Bedos-Belval, F. (2021). Anti-inflammatory activity of naturally occurring diarylheptanoids – A review. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 31(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2020.115971>
- Vasco, C., Ruales, J., & Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4), 816–823. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>
- Wang, Z., Li, S., Ge, S., & Lin, S. (2020). Review of distribution, extraction methods, and health benefits of bound phenolics in food Plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(11), 3330–3343. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06574>
- Wawrosch, C., & Zotchev, S. B. (2021). Production of bioactive plant secondary metabolites through in vitro technologies—status and outlook. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(18), 6649–6668. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11539-w>

- Yuan, H., Ma, Q., Ye, L., & Piao, G. (2016). The traditional medicine and modern medicine from natural products. *Molecules*, 21(5). <https://doi.org/10.3390/molecules21050559>
- Zenkov, N. K., Chechushkov, A. V., Kozhin, P. M., Kandalintseva, N. V., Martinovich, G. G., & Menshchikova, E. B. (2016). Plant phenols and autophagy. *Biochemistry (Moscow)*, 81(4), 297–314. <https://doi.org/10.1134/S0006297916040015>
- Zevallos, D. R. R. (2018). Estudio fitoquímico cualitativo preliminar y cuantificación de flavonoides y taninos del extracto etanólico de hojas de *Desmodium vargasianum* Schubert. *Rev Soc Quím Perú*, 84(2).
- Zhang, L., Wei, J., Yang, Z., Chen, F., Xian, Q., Su, P., Pan, W., Zhang, K., Zheng, X., & Du, Z. (2018). Distribution and diversity of twelve *Curcuma* species in China. *Natural Product Research*, 32(3), 327–330. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1350667>
- Zhang, S., Zhang, L., Zou, H., Qiu, L., Zheng, Y., Yang, D., & Wang, Y. (2021). Effects of light on secondary metabolite biosynthesis in medicinal plants. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.781236>
- Zhang, X., Qiu, H., Li, C., Cai, P., & Qi, F. (2021). The positive role of traditional Chinese medicine as an adjunctive therapy for cancer. *BioScience Trends*, 15(5), 283–298. <https://doi.org/10.5582/BST.2021.01318>

ANEXOS

Anexos. figuras y tablas

Anexo 1

Análisis de varianza (ANOVA) para la selección optima de extracción, raíz cúrcuma.

Fuente	Suma de Cuadrados	Df	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
A: Tiempo extracción	10.1384	1	10.1384	8.56	0.0265
B: Concentración EtOH	133.8	1	133.8	112.91	0.0000
AB	2.60401	1	2.60401	2.20	0.1888
Bloques	0.546117	2	0.273058	0.23	0.8009
Total, error	7.11035	6	1.18506		
Total, corregido	154.199	11			

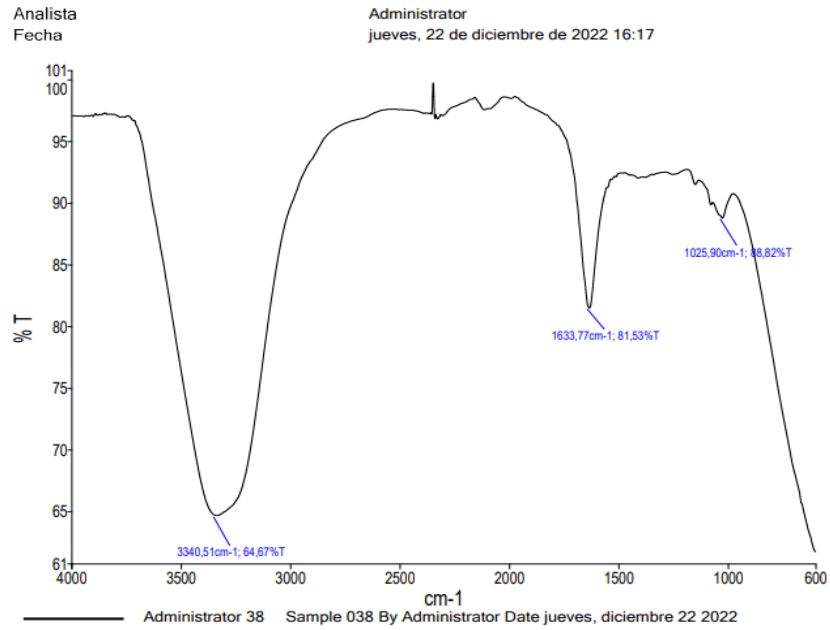
Anexo 2

Análisis de varianza (ANOVA) para concentración de etanol optima de extracción, raíz jengibre.

Fuente	Suma de Cuadrados	Df	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
A: Tiempo extracción	1.84868	1	1.84868	2.46	0.1675
B: Concentración EtOH	221.107	1	221.107	294.78	0.0000
AB	0.156408	1	0.156408	0.21	0.6640
Bloques	5.92107	2	2.96053	3.95	0.0805
Total, error	4.50047	6	0.750078		
Total, corregido	233.533	11			

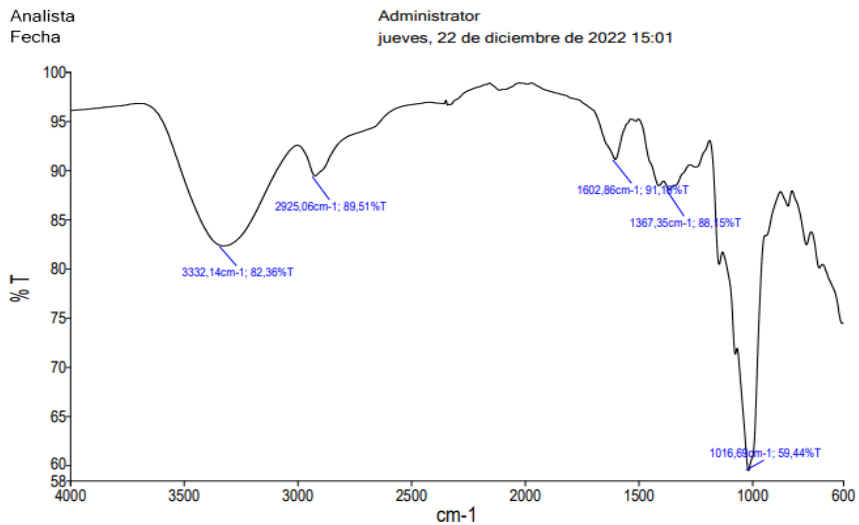
Anexo 3

Espectrofotometría infrarroja (FTIR) del microencapsulado disuelto en agua.



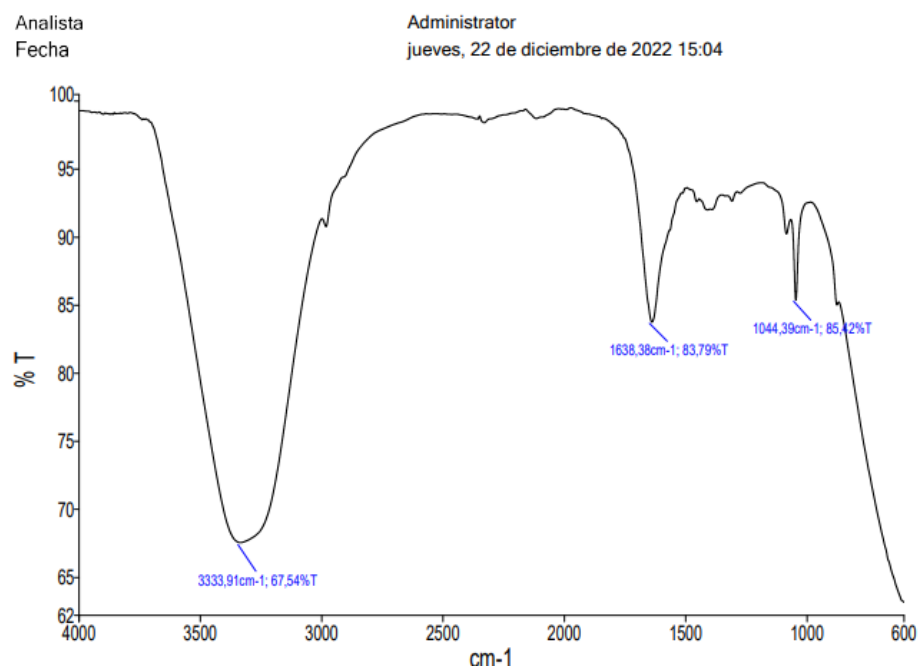
Anexo 4

Espectrofotometría infrarroja (FTIR) del microencapsulado del extracto cúrcuma y jengibre.



Anexo 5

Espectrofotometría infrarroja (FTIR) del extracto de cúrcuma y jengibre.



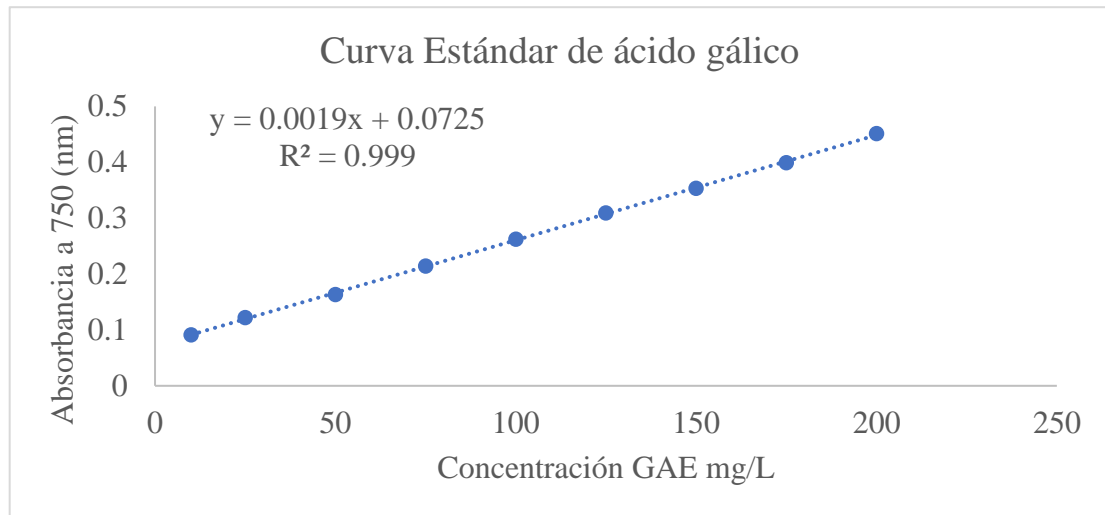
Anexo 6

Absorbancias para la elaboración de la curva de calibración de ácido gálico para cuantificación de polifenoles totales.

Concentración de ácido Gálico (mg/L)	Absorbancia a 750 (nm)
10	0.091
25	0.122
50	0.163
75	0.214
100	0.262
125	0.309
150	0.353
175	0.399
200	0.451

Anexo 7

Curva de calibración ácido gálico



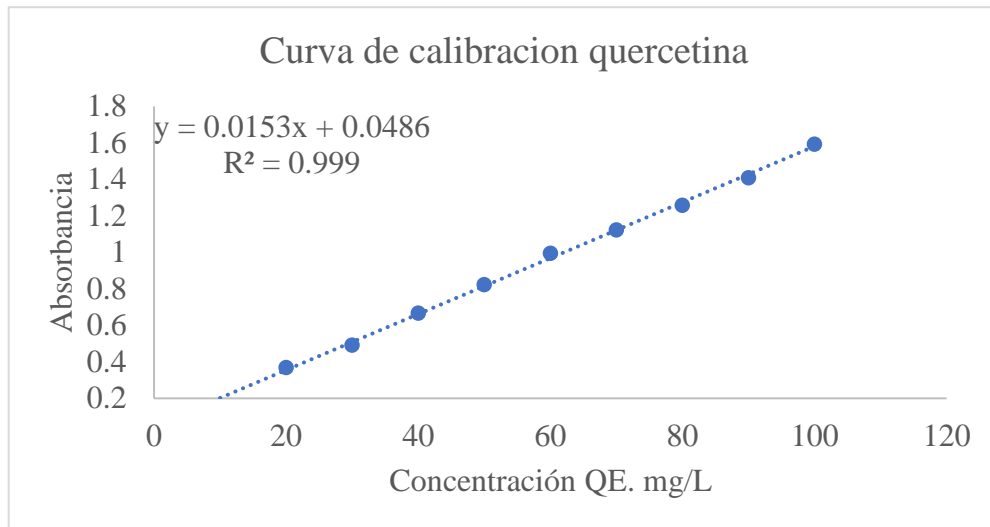
Anexo 8

Absorbancias para la elaboración de la curva de calibración de quercetina para cuantificación de flavonoides totales.

Concentración QE. Mg/L	Absorbancia 420(nm)
10	0.189
20	0.368
30	0.492
40	0.667
50	0.823
60	0.994
70	1.123
80	1.257
90	1.409
100	1.593

Anexo 9

Curva de calibración de quercetina



Anexo 10

Absorbancias y concentraciones de fenoles totales

Extracto concentrado Rotaevaporado				
Réplica	Absorbancia Fenoles	Concentración (mg GAE) /g	\bar{X}	σ
1	0.462	205		
2	0.445	196.06	199.74	4.68
3	0.449	198.16		
Microencapsulado disuelto en Agua				
1	0.343	142.37		
2	0.346	143.95	142.37	1.59
3	0.34	140.79		

Microencapsulado disuelto en EtOH				
1	0.144	37.63		
2	0.155	43.42	42.89	5.02
3	0.163	47.63		

Anexo 11

Absorbancias y concentraciones de flavonoides totales

Réplica	Absorbancia flavonoides	Concentración mg QE /g	X	σ
Extracto concentrado Rotaevaporado				
1	0.823	50.61		
2	0.894	55.25	52.77	2.34
3	0.851	52.44		
Microencapsulado disuelto en Agua				
1	0.342	19.18		
2	0.318	17.61	17.93	1.11
3	0.309	17.02		
Microencapsulado disuelto EtOH				
1	0.274	14.73		
2	0.301	16.49	16.37	1.57
3	0.322	17.87		

Anexo 12

Porcentaje de inhibición de desnaturalización proteica (albúmina de huevo) a partir del diclofenaco sódico

Concentración ($\mu\text{g/mL}$)	Diclofenaco sódico % inhibición de desnaturalización	X	σ
100	46.47	48.00	5.42
	43.51		
	54.03		
200	55.71	61.82	5.56
	63.18		
	66.57		
400	70.86	74.61	3.57
	77.96		
	75.02		
600	78.03	82.69	4.18
	83.92		
	86.11		
800	88.36	87.76	2.34
	89.73		
	85.17		
1000	92.68	91.73	2.14
	89.29		
	93.24		

Anexo 13

Porcentaje de inhibición de desnaturalización proteica (albúmina de huevo) a partir del microencapsulado de extractos vegetales

Concentración ($\mu\text{g/mL}$)	Microencapsulado		
	% de desnaturalización	\bar{X}	σ
100	15.11	14.99	2.22
	12.72		
	17.16		
200	23.53	25.53	1.83
	27.11		
	25.95		
400	34.15	34.55	2.61
	32.16		
	37.34		
600	44.28	46.96	2.34
	48.63		
	47.96		
800	60.21	55.94	3.96
	52.39		
	55.22		
1000	71.56	69.69	4.87
	64.15		
	73.33		

Anexos. Fotografías

- **Obtención del material vegetal seco y molido.**

Foto 1

Secado de la raíz cúrcuma (C. longa)



Foto 2

Secado de la raíz jengibre (Z. officinale)



Foto 3

Rices de cúrcuma y jengibre molido



- **Extracción de Sólidos solubles totales (SST)**

Foto 4

Extracción de SST para la selección de las mejores condiciones de extracción

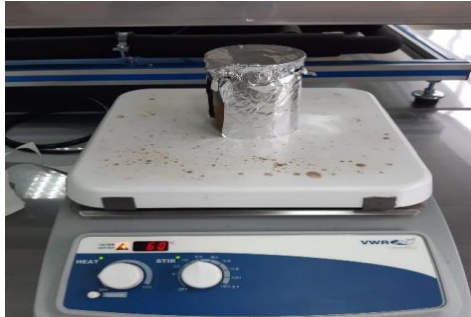


Foto 5

Extracción a gran escala de extracto vegetal



- **Determinación de porcentaje de humedad de los extractos vegetales**

Foto 6

Determinación de porcentaje de humedad de los tratamientos



Foto 7

Determinación del porcentaje de humedad de los extractos a gran escala



- **Concentración de extractos vegetales**

Foto 8

Rotaevaporación de extractos vegetales

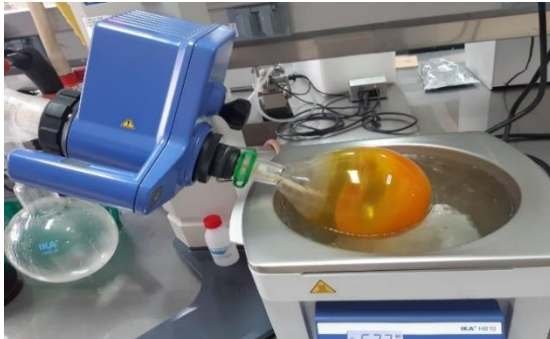


Foto 9

Determinación del volumen final de los extractos vegetales concentrados



Foto 10

Determinación del porcentaje de humedad de los extractos concentrados



- **Microencapsulación del extracto vegetal concentrado**

Foto 11

Homogenización de la mezcla polimérica, agua y extractos vegetales concentrados



Foto F12

Mezcla homogenizada en el alimentador



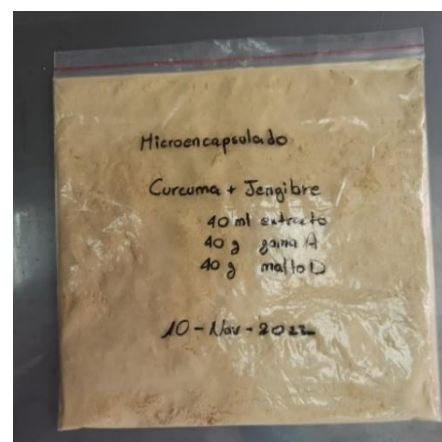
Foto 13

Recolección del microencapsulado



Foto 14

Almacenamiento del microencapsulado



- **Determinación de metabolitos vegetales de interés**

Foto 15

Elaboración de diluciones para curva estándar del ácido gálico



Foto 16

Determinación de absorbancias para la curva estándar de ácido gálico



Foto 17

Diluciones de las concentraciones del microencapsulado



Foto 18

Determinación de las absorbancias mediante el método Folin Ciocalteu

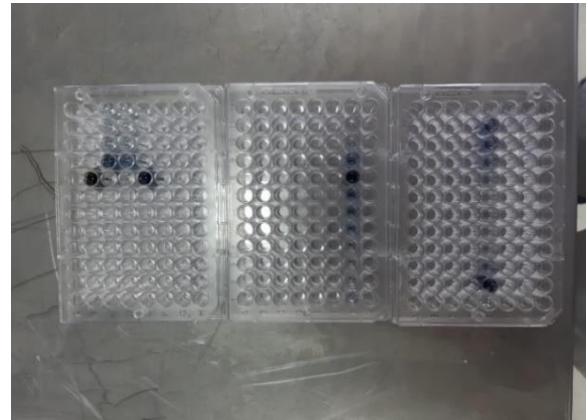
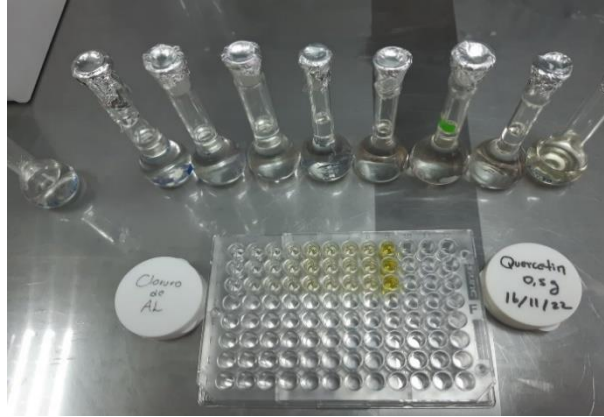


Foto 19

Curva de quercetina y determinación de absorbancias para la cuantificación de flavonoides totales



- **Determinación de las propiedades antiinflamatorias**

Foto 20

Determinación de las absorbancias de la desnaturalización proteica



Foto 21

Desnaturalización proteica

