



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**LICENCIATURA EN INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

## **TESIS**

# **DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE UNA EMULSIÓN DE EXTRACTO Y CASCARILLA DE CAFÉ PARA ALIMENTOS**

**Para obtener el título de  
Licenciado en Ingeniería Agroindustrial**

### **Presenta**

Marco Antonio Hernández Cruz

### **Director**

M. en A. Melitón Jesús Franco Fernández

### **Codirectora**

Dra. Elizabeth Pérez Soto

### **Comité tutorial**

Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez  
Dr. Roberto González Tenorio  
Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo

Tulancingo de Bravo Hidalgo; 13 de enero 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

*Institute of Agricultural Sciences*

**Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos**

*Academic Area of Agroindustrial Engineering and Food Engineering*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 11 de noviembre de 2025.

Asunto: Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el comité que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **Marco Antonio Hernández Cruz**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Determinación de compuestos bioactivos de una emulsión de extracto y cascarrilla de café para alimentos”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los revisores:

Dra. Elizabeth Pérez Soto

Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez

Dr. Roberto González Tenorio

Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo

Mtro. Melitón Jesús Franco Fernández

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente  
“Amor, Orden y Progreso”

**Dr. Yair Olovaldo Santiago Saenz**  
Coordinador de la Licenciatura en  
Ingeniería Agroindustrial



“Amor, Orden y Progreso”



2025



Avenida Universidad #133. Col. San Miguel Huatengo.  
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,  
México. C.P. 43775

Teléfono: 7717172000 Ext. 42021

ricardo\_navarro@uah.edu.mx

uah.edu.mx

**La vida es un constante cambio y en cada giro nos enseña lecciones valiosas. No se trata de evitar los desafíos, sino de aprender de ellos y crecer; cada experiencia, buena o mala, nos forma y nos fortalece. Vivir plenamente es aceptar lo incierto con valentía y encontrar paz en el proceso.**

## **Agradecimientos**

Este trabajo de investigación está realizado a base de conocimiento científico y tecnológico, con apoyo y motivación de personas que valiosamente me brindaron su ayuda incondicional durante mi periodo universitario, además de compartirme sus conocimientos, experiencia de vida académica para llevarlo al término y así pueda ser presentado. Sin la participación de ellos esta investigación no podría sustentarse y concluirse con éxito. Además, siempre se necesita un pequeño empujón de alguien que te motive a realizar y alcanzar los sueños para poder lograr méritos académicos y personales en esta vida. Para mi comité de investigación, Mtro. Jesús, Dra. Elizabeth, Dra. Hayde, Dr. Roberto, Dr. Cenobio y Dra. Margarita doy las gracias por guiarme para así formarme como profesional. Para todos, espero lograr dejar mi más grande gratitud.

A los caficultores de la comunidad de La Sombra Chiconquiaco Veracruz, les estoy infinitamente agradecido por su paciencia, calidez, transmitirme sus conocimientos en el manejo del café y todo el apoyo brindado en ello, por mostrarme sus actividades diarias, culturales y sociales para así darme cuenta qué las condiciones de vida no son fáciles e igualitarias para todos y que todo necesita un esfuerzo para poder lograr algo. A don Beto y su familia que me abrieron las puertas de su hogar durante mi estadía, hacerme parte de ella, la bondad, apoyo y motivación que me brindaron gracias por ello, siempre estaré demasiado agradecido con todos por todo.

A mis amigos que forme durante mi estancia en la universidad. Eli, Pau, Diana Lau, Germain y Kevin mis más grandes confidentes, compañeros de aula y vida académica. A mi kínder garden de veterinaria sus abrazos, bromas y su confianza en mi fueron luz en los días grises y alegría en los momentos de celebración en verdad que siempre los llevare en mi alma por ayudarme en momentos difíciles.

Nuevamente por último y no menos importante a la Dra. Elizabeth que ha sido un punto clave en todo, que Dios y la vida la sigan llenando de bendiciones para que pueda seguir compartiendo su experiencia de vida con sus alumnos, personas de todas las comunidades a las que visita y que también la rodean. En lo personal, la cual me inspiro a ser lo que quiero lograr en mi vida, los consejos, las sugerencias, por decir que la vida de afuera es la mejor escuela que puede existir, que aprenda a ser justo, honesto y sobre todo a valorar el esfuerzo de los demás, le ofrendo mi más grande lealtad, gratitud y admiración por toda mi vida.

## **Dedicatoria**

A mis amados padres, Karina e Ivan, con todo el amor y la gratitud que mi alma puede expresar. Gracias por ser mi refugio en los días difíciles, mi impulso en cada logro, por sus sacrificios silenciosos, sus palabras de aliento en los momentos de duda, sus desvelos y por creer en mí incluso cuando yo ya no lo hacía. Por enseñarme el valor del esfuerzo y la gratitud, son mi motor, mi inspiración. Cada paso que doy lleva su huella, porque me han acompañado con amor incondicional, con valores firmes y con una fe que me sostuvo en todo momento, gracias por creer en mí, por confiar, escucharme y sobre todo en amarme tal y cual soy. Este logro es tan mío como suyo. Con todo mi corazón, gracias.

A mis hermanas Naomi y Jolette, por acompañarme con cariño, risas y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Gracias por ser parte fundamental de mi vida, por su amor y por estar presentes. Este logro también les pertenece a ustedes, porque sin su apoyo este camino habría sido mucho más difícil. Les agradezco profundamente por caminar a mi lado y por ser ese refugio seguro donde siempre puedo volver.

A mis abuelos, pero en especial a mi abuelo Ramon que ya falleció y mi abuela Concha, por darme su amor incondicional y creer en mí en cada momento, gracias por su apoyo, su cariño y sus sabios consejos. Sus palabras, siempre llenas de ternura y experiencia, han dejado huellas profundas en mi corazón, gracias por enseñarme demasiadas cosas.

## Índice

Resumen.....	1
Abstract .....	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.1. Introducción .....	7
2.2. Objetivos .....	7
2.2.1. Objetivo general .....	7
2.2.2. Objetivos específicos.....	7
2.3. Problema de la investigación.....	8
2.4. Hipótesis.....	8
2.5. Variables.....	8
2.6. Justificación.....	8
CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
3.1 Introducción .....	10
3.2 Café.....	10
3.2.1 Origen del café .....	10
3.2.2 Importancia del café en México .....	11
3.2.3. Composición química del café .....	13
3.3.4. Composición química de la cascarilla de café.....	16
3.3. Compuestos bioactivos .....	17
3.3.1. Ácidos fenólicos .....	19
3.3.2. Flavonoides.....	20
3.4 Emulsiones.....	22
3.4.1. Tipos de emulsión .....	23
3.4.2. Caracterización de la emulsión .....	25
3.4.3 Aplicaciones .....	26
3.5 Maltodextrina .....	27
3.6 Cera de abeja .....	27
3.7 Yogur.....	28
3.7.1. Tipos de yogur .....	28
3.7.2. Producción de yogur en México .....	29
3.8. Análisis fisicoquímicos .....	30

3.8.1. Sólidos solubles expresados como °Brix .....	30
3.8.2. pH .....	31
3.8.3. Color .....	31
3.8.4. Viscosidad .....	32
3.9. Análisis de compuestos bioactivos.....	33
3.9.1. Digestión <i>in vitro</i> .....	33
3.9.2. Determinación de compuestos fenólicos .....	34
CAPITULO IV. METODOLOGIA .....	35
4.1. Introducción .....	35
4.2. Localización del trabajo de investigación .....	35
4.3. Materia prima y reactivos.....	35
4.4. Formulación y elaboración de emulsión .....	36
4.4. Determinación de análisis fisicoquímicos.....	38
4.4.1. Sólidos solubles .....	38
4.4.2. pH .....	39
4.4.3. Color .....	39
4.5. Determinación de compuestos bioactivos.....	40
4.5.1. Digestibilidad <i>in vitro</i> .....	40
4.5.2. Determinación de compuestos fenólicos .....	41
4.6. Determinación de viscosidad .....	43
4.7. Análisis estadístico.....	44
CAPITULO V. RESULTADOS.....	45
5.1. Evaluación de pH .....	45
5.2. Evaluación de °Brix .....	48
5.3. Evaluación de color (L, a*, b*, c* y h) .....	50
5.4. Digestión <i>in vitro</i> y liberación de compuestos fenólicos .....	56
5.5. Viscosidad .....	61
CAPITULO VI. CONCLUSIONES .....	63
CAPITULO VII. REFERENCIAS .....	65
CAPITULO VIII. ANEXOS.....	70
8.1. Fichas técnicas de equipos utilizados.....	70
8.2. Imágenes tomadas .....	71
8.3. Importancia científica y social de la investigación .....	72



## Índice de figuras

Figura 1. Estructura morfológica de una cereza de café .....	10
Figura 2. Diagrama de flujo de beneficiado del café adaptado, de Aboites. ....	13
Figura 3. Clasificación de ácidos fenólicos y polifenoles.....	18
Figura 4. Estructura del ácido 5-0-cafeoilquínico.....	19
Figura 5. Estructura química de los flavonoides.....	20
Figura 6. Esquematización de emulsiones simples O/W y W/O. ....	23
Figura 7. Esquematización de emulsiones dobles W/O/W y O/W/O. ....	24
Figura 8. Representación gráfica de producción de yogur en México .....	30
Figura 9. Escala de °Brix de un refractómetro manual .....	30
Figura 10. Escala indicadora de pH .....	31
Figura 11. Carta de color .....	32
Figura 12. Comparación de viscosidad.....	33
Figura 13. Resumen del proceso de digestión in vitro .....	34
Figura 14. La Sombra, Chiconquiaco Veracruz .....	36
Figura 15. Diagrama de flujo de la formulación de la emulsión. ....	38
Figura 16. Refractómetro de °Brix marca ATAGO.....	38
Figura 17. Medidor de pH marca HANNA checker's .....	39
Figura 18. Colorímetro marca 3nh.....	39
Figura 19. Preparación de muestras para digestión in vitro.....	40
Figura 20. Muestras tomadas durante la simulación de digestión in vitro.....	41
Figura 21. Solución de ácido gálico para determinación de fenoles.....	41
Figura 22. Muestras de compuestos fenólicos .....	42
Figura 23. Curva de calibración utilizado el estándar de ácido gálico. ....	43
Figura 24. Determinación de viscosidad en yogur.....	43
Figura 25. Muestras con emulsión CB.....	50
Figura 26. Muestras de fenoles. ....	71
Figura 27. Cascarilla pergamino y película plateada .....	71
Figura 28. Vivero de cerezo de café y cereza de café.....	71
Figura 29. Café verde y café tostado .....	72

## Índice de tablas

Tabla 1. Superficie y producción de café cereza por entidad federativa .....	12
Tabla 2. Compuestos químicos del grano de café en cereza.....	14
Tabla 3. Compuestos químicos del café tostado .....	15
Tabla 4. Compuestos químicos de la variedad arábica y robusta .....	15
Tabla 5. Composición química de la cascarilla pergamino .....	16
Tabla 6. Composición química de película plateada .....	17
Tabla 7. Análisis proximales de CB y CC de la Sombra .....	17
Tabla 8. Compuestos fenólicos .....	20
Tabla 9. Tipos de flavonoides con estructura química .....	21
Tabla 10. Tipos de yogur .....	29
Tabla 11. Tipos de yogur nacional.....	29
Tabla 12. Formulación de extracto de café .....	36
Tabla 13. Formulaciones de la emulsión con C.C y C.B.....	37
Tabla 14. Comparaciones para pH.....	46
Tabla 15. Comparaciones para °Brix .....	48
Tabla 16. Comparaciones para L .....	51
Tabla 17. Comparaciones para a* .....	51
Tabla 18. Comparaciones para b* .....	52
Tabla 19. Comparaciones para c* .....	53
Tabla 20. Comparaciones para h* .....	53
Tabla 21. Comparaciones para la fase extracto de digestión in vitro .....	56
Tabla 22. Comparaciones para la fase gástrica de digestión in vitro.....	57
Tabla 23. Comparaciones para la fase intestinal de digestión in vitro.....	58
Tabla 24. Comparaciones para la fase de ebullición de digestión in vitro .....	58
Tabla 25. Comparaciones para la fase completa de digestión in vitro.....	59
Tabla 26. Comparaciones de viscosidad .....	61

## Glosario

Descriptor	Siglas y/o acrónimos
Aceite / Agua	O / W
Aceite / Agua / Aceite	O / W / O
Ácido clorhídrico	HCl
Agua / Aceite	W / O
Agua / Aceite / Agua	W / O / W
Bicarbonato de sodio	NaHCO <sub>3</sub>
Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Cascarilla Pergamino	C. B.
Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>
Eficiencia de encapsulación	EE
Estabilidad	ES
Instituto de Ciencias Agropecuarias	ICAP
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural	SADER
Secretaría de Información Agroalimentaria	SIAP
Procuraduría Federal del Consumidor	PROFECO
Película Plateada	C. C.
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	UAEH

Unidades de medida	Unidad
Centipoise	cP
Gramos	G
Kilogramos	Kg
Micrómetros	µm
Miligramos	Mg
Mili pascal – segundo	mPa.S
Mililitros	MI
Poise	P
Litros	L

## Resumen

El sector agroalimentario enfrenta el desafío de producir alimentos funcionales que satisfagan la creciente demanda y al mismo tiempo, reduzcan el impacto ambiental de los procesos productivos. En este contexto, la cascarilla de café, subproducto que constituye entre el 12 y el 12.7 % del peso del grano procesado, representa una fuente importante de compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoides, cafeína y fibra, con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, en el beneficiado del café la cascarilla no tiene ningún uso y este es un desecho contaminante a la tierra por su fuente de compuestos bioactivos.

La presente investigación tuvo como objetivo formular una emulsión simple (agua/aceite) base de extracto y cascarilla de café, utilizando maltodextrina y cera de abeja como agentes encapsulantes y estructurantes, para su aplicación en yogur natural. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, color, sólidos solubles), viscosidad y se realizó una simulación de digestión *in vitro* para verificar la liberación de ácidos fenólicos durante 28 días de almacenamiento.

Los resultados evidenciaron que la emulsión mejoró la estabilidad de los compuestos, incrementó la viscosidad y favoreció la liberación de fenólicos en la digestión *in vitro*, lo que confirma el potencial antioxidante y funcional del producto. De esta manera, se propone una alternativa innovadora para la valorización de residuos agroindustriales, contribuyendo a la economía circular y a la elaboración de alimentos funcionales con propiedades benéficas para la salud.

Palabras clave: Cascarilla de café; compuestos bioactivos; emulsión; digestión *in vitro*; ácidos fenólicos.

## Abstract

The agri-food sector faces the challenge of producing functional foods that meet the growing demand while reducing the environmental impact of production processes. In this context, coffee husk, a by-product representing between 12 and 12.7% of the processed bean weight, is a valuable source of bioactive compounds such as phenolic acids, flavonoids, caffeine, and fiber, with antioxidant and anti-inflammatory properties.

This research aimed to formulate an emulsion based on coffee extract and husk, using maltodextrin and beeswax as encapsulating and structuring agents, for application in natural yogurt. Physicochemical parameters (pH, color, soluble solids), viscosity, and bioactive compound release were evaluated during 28 days of storage.

The results showed that the emulsion improved compound stability, increased viscosity, and enhanced phenolic release during *in vitro* digestion, confirming the antioxidant and functional potential of the product. Thus, this study proposes an innovative alternative for the valorization of agro-industrial residues, contributing to the circular economy and the development of functional foods with health-promoting properties.

Keywords: Coffee husk; bioactive compounds; emulsion; *in vitro* digestion; phenolic acids.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el sector agroalimentario ha tenido el doble reto de cubrir la demanda creciente de alimentos funcionales y simultáneamente reducir el efecto ambiental producido por sus procesos de producción. Esta situación ha impulsado la investigación de nuevas materias primas derivadas de residuos agrícolas que tradicionalmente se consideran desechos, tienen un gran potencial para ser revalorados. Uno de estos derivados es la cascarilla de café, producto obtenido del tostado y beneficiado del grano que constituye entre el 12 y el 12.7 % del peso total del café procesado, contiene compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoides, cafeína y fibra, posee propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y de protección contra algunas enfermedades crónico-degenerativas (Setyobudi *et al.*, 2019).

La presente investigación tuvo como objetivo formular una emulsión simple (agua/aceite) para aplicar en yogur, la emulsión se realizó con extracto y cascarilla de café, maltodextrina y cera de abeja como agentes encapsulantes y estructurantes para mejorar la estabilidad, biodisponibilidad y conservación de los compuestos bioactivos presentes en el café. Su aplicación en yogur tiene el propósito de evaluar el comportamiento fisicoquímico de la emulsión aplicada en un alimento (color, pH, sólidos solubles), la viscosidad y la estabilidad de estos compuestos durante un periodo de almacenamiento de 28 días, con mediciones realizadas en intervalos semanales.

Esta propuesta para aplicar la cascarilla de café en sistemas alimentarios funcionales contribuye a disminuir la cantidad de desechos producidos por la industria del café, al mismo tiempo que se fomenta el crecimiento económico de las comunidades productoras a través del uso completo del cultivo del café. La integración de subproductos en la cadena productiva no solo

diversifica las fuentes de compuestos funcionales, sino que también posibilita la adopción de tecnologías sustentables que pueden ser transformadas en diversos escenarios agroindustriales.

La emulsificación es un método eficaz para proteger compuestos sensibles de factores como la oxidación, la luz y el pH. Consiste en una simple emulsión de agua en aceite (agua en aceite) que transporta los compuestos activos, facilitando su regulación en el alimento base. Estas formulaciones mejoran la funcionalidad de los alimentos procesados, mejorando su valor nutricional, durabilidad, textura y aceptación sensorial.

De forma general se describen los capítulos de la tesis:

En el capítulo I integra la información general de la investigación, las limitaciones y los resultados alcanzados durante el tiempo de trabajo.

En el capítulo II plantea la investigación de esta tesis, se presenta iniciando con el objetivo general, específicos y el problema de investigación. Aquí se destaca si la formulación de la emulsión funciona como medio de encapsulamiento para los compuestos bioactivos que presenta el café y sin perderlos en la aplicación, por lo tanto en la hipótesis existen variables a controlar, dando así la justificación del por qué la cascarilla de café se puede aprovechar como una materia prima o sistema alimentario para la elaboración de productos y poder aprovechar su componentes bioactivos, además al ser un residuo que se genera en grandes cantidades y se convierte en un contaminante que no tiene un control, por tanto, se propone el desarrollo de un sistema alimentario como es la emulsión de extracto de café adicionada con la cascarilla para ser aplicada en alimentos.

En el capítulo III se integra la revisión de la literatura que describe que es el café por ser materia prima principal y del cual se obtiene la cascarilla como residuo en el beneficiado del mismo, además, se menciona cuál es su taxonomía ya que suele diferenciar entre las variedades de cerezo de café que existen, al igual de su composición química ya que es abundante en ácidos

fenólicos y flavonoides, de aquí surge la investigación para la realización de la simulación de digestión *in vitro*, también se describe brevemente su origen, el consumo per cápita en México y cuál es su nivel de producción nacional mexicana.

Al ser un producto alto en compuestos bioactivos también se integra la estructura química del café, cascarillas, los tipos de compuestos que estas contienen y cuáles son las más abundantes, los flavonoides y ácidos fenólicos son los más representativos, así mismo se representa con figuras las estructuras químicas de cada clase de compuestos y cuál es su función bioquímica general.

Como la investigación está centrada en la formulación de una emulsión para poder contener compuestos bioactivos y así mismo poder hacer uso de un desecho agroindustrial del beneficiado del café, en la búsqueda de información se especifica sobre emulsiones, ya que existen diferentes tipos y cada una de ellas tiene una función diferente, hay emulsiones simples y dobles las cuales su morfología y nombre cambia depende del tamaño de la gota, estructura y reactivo utilizado para su formación, la estabilidad, la eficiencia y la viscosidad dependen de una buena formulación y así poder aplicarla en algún alimento, cosmético, farmacéutico o para lo que este dirigida la emulsión.

Se investigaron diversos reactivos que contendría la formulación y de fácil adquisición, además, cumplieran con su función de proteger los compuestos, para que fueran estables a través del tiempo y estos no cambiaran la composición química, física y microbiológica.

Además, en la investigación el yogur se utilizó para el análisis de la encapsulación de los compuestos y analizar cómo se comportaba la emulsión, por lo tanto, es de importancia investigar que es el yogur y como se origina, ya que al existir diferentes tipos y se puede clasificar de la misma manera depende de su consistencia, contenido y formulación, también se explica brevemente cuál es su producción en toneladas a nivel nacional mexicano.



Se describe cada uno de los análisis fisicoquímicos realizados como el pH, sólidos solubles, determinación de color, viscosidad y para finalizar los de compuestos bioactivos donde la simulación *in vitro* e explica las etapas, los reactivos que se ocupan y la determinación de compuestos fenólicos.

En el capítulo IV describe la investigación que se lleva de forma cuantitativa para poder aplicar el conocimiento teórico empírico y así poder llevar a cabo la formulación que se logró estabilizar, donde se encuentra la ubicación geográfica de donde se extrajo la materia prima principal en este caso el café y las cascarillas, la metodología empleada, los parámetros que se establecieron para que esta fuera estable y los métodos utilizados en los análisis.

En el capítulo V expone el análisis y la discusión de los hallazgos adquiridos y se complementa con el trabajo realizado para responder a las hipótesis formuladas.

En el capítulo VI expone las conclusiones fundamentales de la investigación.

En el capítulo VII se integran la bibliografía básica y las referencias bibliográficas que se citan en el texto.

En el capítulo VIII se anexan fichas técnicas de los equipos utilizados e imágenes de análisis experimentales, además de cuál es la importancia de científica y social de la investigación.

## **CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Introducción**

Se presentan el objetivo general y los objetivos específicos, las variables, así como la hipótesis que orientan el estudio. También se plantea el problema principal determinar si es viable emplear extracto de café y cascarilla en una emulsión que se aplique al yogur, con el fin de examinar sus propiedades funcionales y fisicoquímicas.

### **2.2. Objetivos**

#### **2.2.1. Objetivo general**

Formular y caracterizar una emulsión simple a base de extracto y cascarilla de café, utilizado maltodextrina y cera de abeja como agentes encapsulantes y estructurantes, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos, viscosidad y digestión *in vitro*, con el propósito de determinar su estabilidad y biodisponibilidad de compuestos bioactivos, así como valorar su potencial aplicación como ingrediente en yogur natural.

#### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las características fisicoquímicas y el contenido de compuestos fenólicos de la emulsión durante una simulación de digestión *in vitro* con el propósito de determinar su estabilidad y biodisponibilidad.
- Analizar la viscosidad del yogur adicionado con la emulsión de extracto y cascarilla de café, a través de mediciones y pruebas de almacenamiento controlado, para identificar la influencia de la emulsión en textura y conservación del producto.

### 2.3. Problema de la investigación

¿La cascarilla de café es un residuo agroindustrial con alto contenido de fibra y compuestos bioactivos como fenoles, ácidos clorogénicos y agentes antioxidantes? Entonces pueden ser extraídos y utilizados como ingredientes funcionales en alimentos, agentes de textura, emulsificante o espesante.

### 2.4. Hipótesis

Si la emulsión de extracto y cascarilla de café mantiene estabilidad fisicoquímica en yogur durante 28 días, se podrá considerar una alternativa viable para incrementar la biodisponibilidad de compuestos bioactivos.

### 2.5. Variables

<b>X variables dependientes:</b>	<b>Y variables independientes:</b>
X <sub>1</sub> estabilidad de la emulsión	Y <sub>1</sub> temperatura
X <sub>2</sub> concentración	Y <sub>2</sub> tiempo de almacenamiento
X <sub>3</sub> sabor	
X <sub>4</sub> color	

### 2.6. Justificación

Hoy en día los consumidores prefieren alimentos de alto valor nutricional que contribuyan a prevenir enfermedades y mejorar la salud, por ello en esta investigación se evalúan los compuestos bioactivos en la emulsión de la cascarilla y extracto de café, aporta este valor agregado y con ello a mitigar el impacto ambiental de la región, debido a que este residuo agroindustrial se genera en un 12.5% del peso total al acondicionar el café pergamino, se le conoce como pajilla o cascarilla blanca (CB), después del proceso de tueste se denomina película plateada o cascarilla café (CC) (Vargas *et al.*, 2023). Por lo tanto, es un beneficio para los productores de café a nivel socio – económico, es un polo de desarrollo por la mano de obra ocupada ya que es uno de los

cultivos más importantes de México (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2025).

La innovación de productos alimentarios contribuye a mejorar su calidad nutricional y biodisponibilidad, ya sea para mejorar el metabolismo, obtener mayor energía o disminuir problemas gastrointestinales a través de la adición de compuestos bioactivos y de fibra como los otorga la cascarilla de café.

Dada esta problemática, se presenta la oportunidad de ofrecer alternativas para el desarrollo de nuevos productos a base de café y sus subproductos, permitiendo dar un valor agregado mediante el desarrollo de técnicas de impregnación de ingredientes bioactivos como una emulsión simple de agua / aceite, conteniendo en su interior extracto de café para preservar los compuestos bioactivos con la posibilidad de incluirlo en algunos alimentos. En este caso el yogur es un alimento versátil que se puede consumir solo, se puede agregar algún saborizante, color, además de tener una textura cremosa.

## CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA

### 3.1 Introducción

Este capítulo compila antecedentes científicos que justifican la investigación. Se detallan las propiedades del café y de sus componentes bioactivos, la función de las emulsiones como vehículos de liberación y protección, las propiedades de la cera de abeja y la maltodextrina como agentes encapsulantes, además de los parámetros bioactivos y fisicoquímicos importantes en el yogur.

### 3.2 Café

El café forma parte del género *Coffea* de la familia *Rubiácea*, se distingue por ser un fruto de dos semillas, con flores hermafroditas formando hojas paralelas con bordes lisos, de un tono verde intenso, con 4 o más flores de color blanco, y cuenta con tres especies principales: robusta que es la *Coffea canephora*, arábica y liberiana la *Coffea liberica* (Suárez, 2019). En la figura 1 se esquematiza la morfología de una cereza de café.

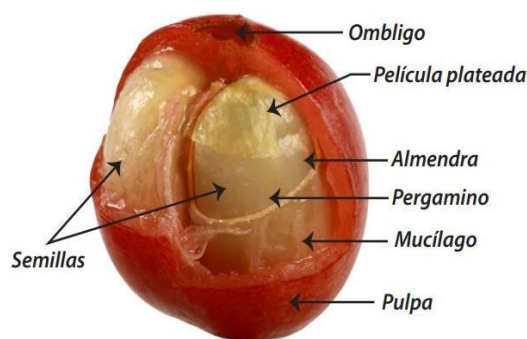


Figura 1. Estructura morfológica de una cereza de café (Aboites 2020).

#### 3.2.1 Origen del café

La comercialización de café inicia en el siglo XV cuando fue introducido a Yemen, originario de Etiopía, donde se consumía en rituales religiosos como bebida estimulante (Pérez, 2013). Las poblaciones holandesas dispersaron el café por Asia y lo llevaron a Europa, se logró

comercializar por primera vez en 1615, en 1668 el café se comercializó como bebida en América y con el tiempo se dispersó por América Central y del Sur. En 1723 introdujeron el cultivo del café en la colonia francesa de Martinica en las Antillas. De la misma manera, los franceses cultivaron por primera vez el café en Haití en 1734. En 1788 esta isla abastecía la mitad del café para el mundo (Pendergrast, 2010).

La historia del café en México refiere que en el año 1740 ingresó por el puerto de Veracruz, pero solo era consumido por importación, su siembra comenzó en 1790 pero su consumo aún era raro y nulo hasta antes de 1803. Las variedades que destacaban principalmente por su importancia económica y comercial fueron las variedades de café arábigo y café robusto en el centro y Sur de América ocupan las tres cuartas partes de la producción mundial (Bances *et al.*, 2014).

### **3.2.2 Importancia del café en México**

Las condiciones geográficas y climáticas han permitido cultivar variedades clasificadas de alta calidad, a nivel mundial es el 11º productor de café y representa el 0.66% del Producto interno bruto (PIB) agrícola nacional y el 1.34% de la producción de bienes agroindustriales (SADER, 2020). Se estima que al 2030 el consumo nacional sea 0.80 a 0.94 millones de toneladas y que la producción nacional pase de 0.82 a 4.70 millones de toneladas, lo cual representa un crecimiento acumulado de 16.48 y 471.46%; y el consumo per cápita anual de 1.4 kg. Una de las características socioeconómicas en este rubro, es la mano de obra de productores y jornaleros, ocupa cerca de 500 mil productores de 15 entidades federativas y 480 municipios que incluye a hombres, mujeres y comunidades indígenas y los volúmenes de residuos que se generan durante el proceso y acondicionamiento del café (SADER, 2022). Actualmente, los principales estados de producción son Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero e Hidalgo, la producción fue de 1 millón 025

mil toneladas de café cereza (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2022).

En la tabla 1 se muestra la superficie y producción sembrada en 2023 y 2024.

Tabla 1. *Superficie y producción de café cereza por entidad federativa*

Entidad federativa	Superficie sembrada (ha)		Superficie cosechada (ha)		Producción (ton)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Chiapas	243,947	243,955	240,301	240,106	391,582	392,903
Veracruz	142,52	145,122	134,823	137,049	253,448	256,256
Puebla	71,752	75,012	66,429	67,747	223,580	228,006
Oaxaca	131,494	131,461	113,330	116,668	85,282	88,171
Guerrero	45,564	45,569	39,846	40,000	38,366	35,024
Hidalgo	22,578	22,252	22,538	22,221	29,014	25,734

Fuente: SIAP, (2024).

En el beneficiado del café se obtienen residuos que son de utilidad en determinadas industrias, los métodos más utilizados son el seco y húmedo. En el método seco, la primera parte del proceso la cereza es cultivada, hasta el secado genera residuos como la cáscara que está conformada por el exocarpio, la pulpa, el pergamino y granos que no cumplen con la calidad requerida. En el método húmedo no se realiza el proceso de secado por lo que los residuos generados son la pulpa los cuales están conformados por el exocarpio, la pulpa, el mucílago, agua de lavado, granos defectuosos y pergamino (Echeverría *et al.*, 2017). En el tostado que es la etapa final del proceso, se genera parte de los principales residuos los cuales son la película plateada y la borra del café (Mussatto *et al.*, 2011). El proceso de producción del café en polvo se realiza mediante una serie de fases que permiten a la cereza alcanzar la calidad y la forma deseada del producto final. La cadena de beneficiado consta de ocho etapas esenciales desde la plantación del café hasta su procesamiento, que incluyen: cultivo del café, recolección de los granos de café, descascarillado, despulpado, lavado y limpiado del grano, pre secado y secado al sol o en húmedo (García *et al.*, 2006). Los pasos fundamentales del beneficiado del café se esquematizan en la figura 2.

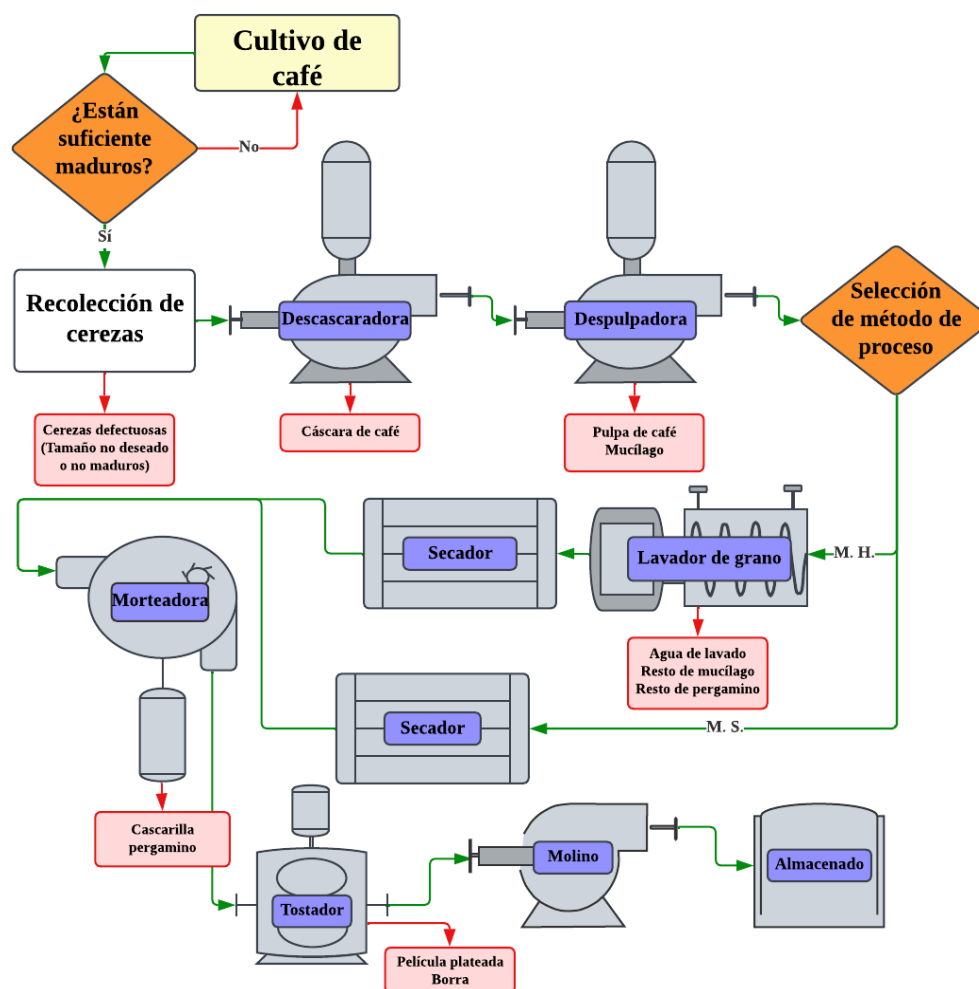


Figura 2. Diagrama de flujo de beneficiado del café adaptado, de Aboites (2020).

En la agroindustria del café se producen entre el 30% y el 50% de desechos o subproductos, lo que ocasiona que en los lugares con mayor producción se generen residuos de gran magnitud y provocan problemas medioambientales y de contaminación debido al elevado contenido de componentes propios del fruto como la cafeína, taninos, alcaloides y polifenoles (Setyobudi *et al.*, 2019). Basado en esto, han surgido investigaciones que utilizan los desechos producidos como recurso para la elaboración de otros productos (Huang et al., 2018).

### 3.2.3. Composición química del café

La composición del café varía según la variedad, los métodos de cultivo y las condiciones meteorológicas. Por lo general, se compone de más de 1,000 elementos químicos diferentes, que



incluyen aminoácidos, compuestos nitrogenados, carbohidratos, ácidos volátiles y no volátiles, cafeína, sustancias volátiles (más de 800 identificadas de las cuales 60 - 80 aportan al aroma del café), vitaminas y minerales. Sin embargo, también los componentes varían en función del grano ya sea en cereza o tostado (Puerta, 2013). En la tabla 2 se describe la composición del grano en cereza.

Tabla 2. *Compuestos químicos del grano de café en cereza*

Compuestos	Actividad química / bioquímica
Agua	Para contenidos de agua del grano de café entre 10% y 12%.
Carbohidratos	Los polisacáridos se componen del 50% de galactomanano, el 30% de arabinogalactano, el 15% de celulosa y el 5% de componentes péptidos.
Lípidos	El 75% de los lípidos en el café son triglicéridos, que incluyen principalmente ácidos linoleicos y palmíticos. La materia insaponificable representa entre el 20% y el 25% de los lípidos del café, mientras que en los esteroides predomina el ácido palmítico.
Nitrógeno	Conforman las proteínas y los alcaloides del grano de café. El café almendra contiene entre 1.30% y 3.23% del peso seco del grano (promedio 2.05%) y el café tostado de 1.51% a 2.14% (promedio 2.10%).
Proteínas	Los granos de café maduros tienen un mayor contenido de aminoácidos que los inmaduros, así como en los granos almacenados que en los frescos. Las enzimas presentes en el café de almendra tienen la capacidad de catalizar la descomposición de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos clorogénicos del grano durante su conservación.
Alcaloides	Contribuyen al sabor amargo del café, así como mayor contenido de paraxantina, teobromina y teofilina.
Ácidos clorogénicos	Corresponden a varios ácidos fenólicos hidroxycinámicos, como el quínico, cinámico, sinápico, cumárico, ferúlico, cafeico, clorogénicos o cafeoilquínico (CQA). Los granos de café almendra contienen más de 40 ácidos clorogénicos, los principales son ésteres del ácido quínico como CQA, di-CQA y FQA.
Ácidos alifáticos	Los ácidos carboxílicos más abundantes del café almendra son el cítrico y málico, seguidos del ácido fosfórico y otros 35 ácidos. Los ácidos representan diferentes sabores como agrio, picante y refrescante.
Cenizas	Las cenizas del café contienen entre 40% y 45% de K, 7.9% de S, 3.9% de MG, 3.4% de P y 2.1 de Ca. El contenido de azufre del grano de café disminuye durante la tostación por la formación de los compuestos volátiles azufrados.
Compuestos volátiles	El aroma del grano de café almendra está conformado por unos 300 compuestos, la mayoría piridinas, fuéramos, aminas, aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos y varios compuestos azufrados. Estas sustancias dan los diversos olores a verde, hierbas, tierra, dulzor, arveja, pimienta, pepino, flores y frutas, del grano sano.

Fuente: Puerta, (2013).

La composición del grano tostado se describe en la tabla 3.

Tabla 3. *Compuestos químicos del café tostado*

Compuestos	Actividad química / bioquímica
Agua	El grano de café tostado contiene entre 3.5% y 5.0% de agua.
Carbohidratos	De un 15% al 20% de los polisacáridos de los granos de café almendra se transforman en la tostación; la sacarosa se carameliza y en consecuencia se producen pigmentos que dan color caramelo y amargo a la bebida, así como ácido fórmico, acético, glicólico, láctico y compuestos aromáticos como los furanos.
Lípidos	Los insaponificables disminuyen, algunos lípidos se oxidan y forman aldehídos y otros compuestos volátiles.
Proteínas	Disminuyen, según el grado de tostación. Los aminoácidos se transforman en aldehídos, CO <sub>2</sub> y amoníaco, en la reacción de Strecker y en la reacción de Maillard, junto con los azúcares reductores, producen las melanoidinas y diversos compuestos volátiles nitrogenados y azufrados.
Alcaloides	La cafeína es estable en la tostación, es soluble en agua y pasa completamente en la bebida. El 85% de la trigonelina se transforma en piridinas, pirroles, ácido nicotínico y otros compuestos nitrogenados.
Ácidos clorogénicos	Se isomerizan, se unen a las melanoidinas, se hidrolizan, formando quinolatonas y se transforman en catecol, guayacol, pirogallol, que tienen olores a humo y quemado.
Ácidos	Clorogénico, quínico, cítrico, acético, málico, fórmico, fosfórico, glicólico, láctico, propanoico, butanoico, pentanoico, heptanoico y ácidos grasos, entre otros.
Aromas del café tostado	El aroma del café tostado está conformado por unos 850 compuestos volátiles, que incluyen 244 compuestos nitrogenados y 75 azufrados. En términos de masa 1 Kg de café tostado contiene cerca de 500 mg de sustancias volátiles, mientras que 1 Kg de bebida contiene unos 20 mg. Estos compuestos otorgan a la bebida varios sabores como caramelo, tostados, almendras, cítricos, frutales, cocinado, y también desagradables como tierra, ahumados y fétidos, entre otros.

Fuente: Puerta, (2013).

En la tabla 4 se describen de forma general en porcentaje por cada 100 g los compuestos químicos de la variedad arábica y robusta

Tabla 4. *Compuestos químicos de la variedad arábica y robusta*

Componente químico	Arábica (%)	Robusta (%)
Polisacárido	50.8	56.4
Sacarosa	8.0	4.0
Proteínas	9.80	9.50
Cafeína	1.20	2.20
Lípidos	16.20	10.0
Ácidos alifáticos	1.10	1.20
Ácidos clorogénicos	6.90	10.40

Fuente: Cenicafe, (2011).

### 3.3.4. Composición química de la cascarilla de café

En la obtención de cascarilla de café se necesitan dos operaciones importantes en el beneficiado de esta. La operación de morteo implica la separación de la cascarilla que recubre el café pergamino. Similar al tostado, es uno de los procedimientos en la elaboración del café, dado que su calidad se encuentra directamente relacionada con las variables de humedad del grano, el tiempo y la temperatura a los que se exponen. En ambos procedimientos se consiguen la cascarilla blanca (CB) y la película plateada (CC), las cuales constituyen entre el 12% y el 12.7% del grano de café en estado seco y poseen un elevado contenido de fibra y sustancias bioactivas (Gutiérrez *et al.*, 2020). Otra investigación indica que la cascarilla de café contiene un 5,1% de proteína, un 2,2% de grasa, un 2,6% de ceniza, un 12,0% de humedad, un 26,1% de carbohidratos y un 52,0% de fibra en su estado bruto (Garza, 2024).

Barrera y Sánchez (2020) llevaron a cabo una investigación acerca de la composición de la cascarilla de café, obtenido a partir de la molienda del café en pergamino, en la tabla 5 se describe la composición química de la CB después de la molienda.

Tabla 5. *Composición química de la cascarilla pergamino*

Composición	Valor en %
Proteína	18.6 ± 0.6
Grasa	2.2 ± 0.1
Carbohidratos	62.1 ± 1.6
Azúcares reductores	0.21 ± 0.01
Humedad	7.30 ± 0.2
Cenizas	7.0 ± 0.2
Fibra dietética total	62.4 ± 0.6
Fibra dietética insoluble	53.7 ± 0.2
Fibra dietética soluble	8.8 ± 0.4

Fuente: Barrera y Sánchez (2020).

En la tabla 6 se describe la composición química de la CC después del tostado del grano de café.

Tabla 6. *Composición química de película plateada*

Composición	Valor en %
Humedad	6.16
Proteína	11.82
Cenizas	5.59
Fibra	59.97
Grasa	2.11
Carbohidratos totales	14.35

Fuente: Barrera y Sánchez (2020).

En la tabla 7 se describe los análisis proximales que se realizaron en muestras de CB y CC que se trajeron de la comunidad de La Sombra Chiconquiaco Veracruz.

Tabla 7. *Análisis proximales de CB y CC de la Sombra*

Variables	Cascarilla blanca %	Película plateada %
Grasa	3.5872±0.0064	4.5988±0.0075
Ceniza	2.4033 ±0.0001	1.7188±0.0001
Proteína	3.8705 ±0.0001	2.9477±0.0001
Fibra	57.2776 ±0.0064	57.0889±0.0069
Humedad	8.6422 ± 0.6652	8.6966±0.6710
Carbohidratos	24.2400±0.0014	24.9522±0.0014

Fuente: adaptado de Zarco *et al.*, (2025)

### 3.3. Compuestos bioactivos

Se originan de fuentes naturales y aportan ventajas a la salud humana, las frutas y vegetales son ricas en diversos componentes como antioxidantes, carotenoides, fenoles, vitaminas y minerales. La metodología para extraer estos se fundamentan en varios elementos como la materia prima, el método utilizado y el tipo de disolvente orgánico que se emplea (Soquetta *et al.*, 2018). Por lo general, se categorizan en dos principales grupos flavonoides de ellos derivan las antocianinas, flavonas, chalconas, favanoles, entre otros y no flavonoides como ejemplo están los ácidos fenólicos que provienen principalmente de los ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico y estilbenos (Ruiz L. *et al.*, 2020). Los procedimientos para conservar las materias primas influyen de manera notable en la concentración de los compuestos (Stamenkovic *et al.*, 2019). Un ejemplo

de ellos son los antioxidantes carecen de estabilidad y se degradan en presencia de oxígeno, luz y calor durante extensos periodos de secado (Liu *et al.*, 2019).

Los compuestos fenólicos son un extenso conjunto de sustancias que poseen al menos un anillo fenólico en su composición química, reemplazado por uno o varios grupos hidroxilos libres con una propiedad química distinta. Se pueden identificar desde formas básicas hasta formas complejas de alto peso molecular, vinculados o conjugados con otras moléculas, como los azúcares. Son comunes en las plantas, donde se transforman en metabolitos secundarios y son los encargados de gran parte de las propiedades funcionales y sensoriales del café (Ruiz L. *et al.*, 2020). En la figura 3 se esquematizan la clasificación de ácidos fenólicos y polifenoles.

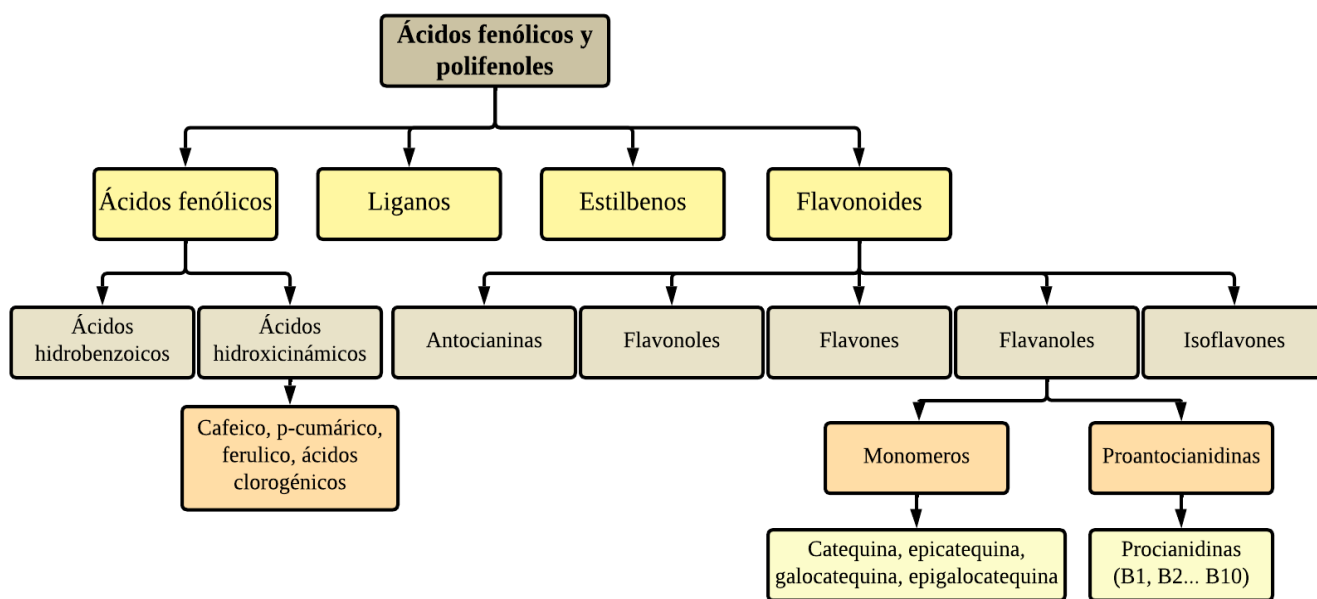


Figura 3. Clasificación de ácidos fenólicos y polifenoles (Belščak-Cvitanović *et al.*, 2015).

El café en su composición tiene una estructura molecular amplia en variedad caracterizada por uno o más anillos fenólicos como los antioxidantes, ácidos clorogénicos, fenoles, flavonoides y se reconoce como un alimento funcional (Fonseca *et al.*, 2014). Los compuestos fenólicos, frecuentemente más encontrados en el café son los ácidos clorogénicos, se forman estructuralmente mediante la esterificación, los ácidos hidroxinámicos como el cafeico, ferúlicos

y p-cumáricos, utilizan ácido quínico para formar diversas estructuras conjugadas como los ácidos clorogénicos (Lara *et al.*, 2016).

Los granos verdes del café representan la mayor fuente de estos compuestos, dado que representan cerca del 7 y 10% de su materia seca. El 5-O-cafeoilquínico es el ácido clorogénico más relevante (Budryn *et al.*, 2016). En la figura 4 se esquematiza la estructura química del ácido 5-O-cafeoilquínico.

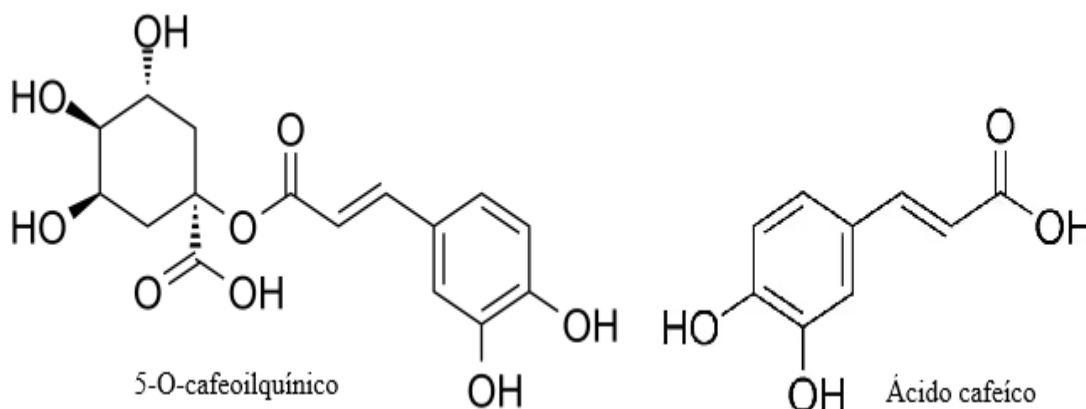


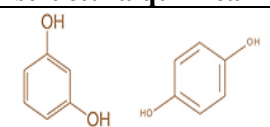
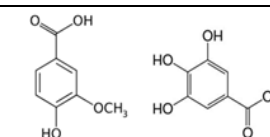
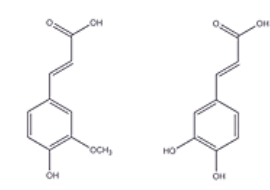
Figura 4. Estructura del ácido 5-0-cafeoilquínico.

### 3.3.1. Ácidos fenólicos

Son compuestos químicos que se clasifican principalmente como ácidos hidroxicinámicos e hidroxibenzoicos; su función primordial en la célula vegetal es desempeñar el papel de metabolito secundario en el crecimiento, reproducción y protección frente a determinados patógenos (Arriaga, 2021).

Los tres grupos fundamentales de compuestos fenólicos comprenden: flavonoides, ácidos fenólicos. Desde un punto de vista químico, los fenoles son compuestos con un anillo aromático formado por uno o más grupos hidroxilo, incluyendo a sus derivados orgánicos (Soriano, 2020). En la tabla 8 se representan las estructuras químicas y los tipos de fenoles.

Tabla 8. *Compuestos fenólicos*

Compuestos Fenólicos	Estructura química
<b>Fenoles simples</b> Estos compuestos poseen en su anillo aromático dos o tres grupos hidroxilo.	 <b>Resorcinol</b> <b>Hidroquinona</b>
<b>Fenoles ácidos</b> Pueden dividirse en: hidroxibenzoico e hidroxicinámicos.	 <b>Ácido vanílico</b> <b>Ácido gálico</b>
a) Ácidos hidroxibenzoicos: pueden dividirse en: hidroxibenzoico e hidroxicinámicos. a) ácidos hidroxibenzoicos. b) Ácidos hidroxicinámicos: esta categoría de ácidos fenólicos se distingue por tener un grupo CH=CH-COOH en sustitución del grupo COOH que se encuentra en los ácidos hidroxibenzoicos. El doble enlace de carbono (C=C) en la cadena potencia la resonancia química, que se puede definir como una transferencia de electrones a los enlaces $\pi$ , estabilizando los radicales libres y aumentando la habilidad antioxidante de la molécula	 <b>Ácido ferúlico</b> <b>Ácido cafeico</b>

Fuente: Soriano, (2020).

### 3.3.2. Flavonoides

Los flavonoides son moléculas disponibles dentro del reino vegetal, comúnmente encontradas en frutas, vegetales, legumbres, cereales integrales y bebidas como el café (Williamson *et al.*, 2009), son compuestos fenólicos polihidroxilados, formados por dos anillos aromáticos conectados mediante tres átomos de carbono, constituyendo una estructura base conocida como C6-C3-C6 (Feng *et al.*, 2016). En la figura 5 se representa la estructura química de los flavonoides.

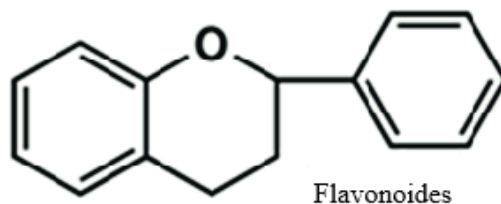
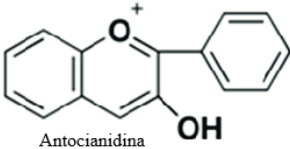
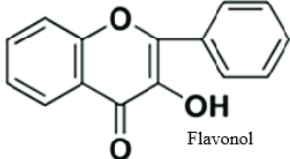
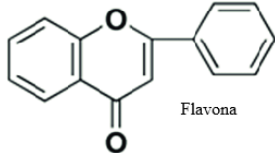
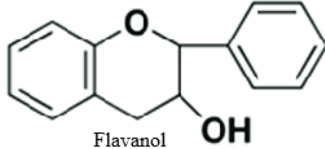
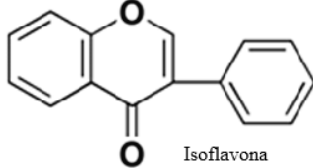


Figura 5. Estructura química de los flavonoides.

En la tabla 9 se presentan los tipos de flavonoides y su estructura química.

Tabla 9. *Tipos de flavonoides con estructura química*

Flavonoides	Estructura química
<p><b>Antocianidina</b></p> <p>Son compuestos naturales polifenólicos que proporcionan color a una diversidad de frutas y flores, incluso de hortalizas. Las 12 antocianidinas más relevantes incluyen la cianidina, delphinidina, pelargonidina, peonidina, malvidina y petunidina. Las antocianidinas previamente citadas son las encargadas de proporcionar los diversos matices de coloración que oscilan entre el rojo, el azul y el violeta morado. Las investigaciones han propuesto que las antocianinas tienen la capacidad funcional de evitar enfermedades de cáncer (de la Rosa X. <i>et al.</i>, 2022).</p>	 <p>Antocianidina</p>
<p><b>Flavonol</b></p> <p>La habilidad antioxidante del flavonol juega un rol de protección en las reacciones de las plantas ante el estrés ambiental, incluyendo altas temperaturas y sequías, cuya incidencia se incrementa conforme el clima varía, la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas que dependen del flavonol, además de una posible estrategia para potenciar la tolerancia de las plantas al estrés ambiental dañino (Daryanavard H. <i>et al.</i>, 2023).</p>	 <p>Flavonol</p>
<p><b>Flavona</b></p> <p>Son compuestos naturales pertenecientes a la familia de flavonoides que poseen propiedades extensas y variedad de acciones biológicas. Funcionan como antioxidantes, pesticidas vegetales naturales que proporcionan protección contra insectos, enfermedades de las plantas y hongos (Motta L. <i>et al.</i>, 2023).</p>	 <p>Flavona</p>
<p><b>Flavanol</b></p> <p>Una categoría frecuente de metabolitos secundarios vegetales, muestran una variedad de características beneficiosas para la salud, funcionando como antioxidantes, anticancerígenos, cardioprotectores, antimicrobianos, antivirales y neuroprotectoras. Además, se considera a ciertos flavanoles como componentes funcionales en productos lácteos. Basándose en sus propiedades estructurales y funciones que promueven la salud, los flavanoles han cautivado a farmacólogos y botánicos alrededor del mundo (Pacheco <i>et al.</i>, 2021).</p>	 <p>Flavanol</p>
<p><b>Isoflavona</b></p> <p>Las isoflavonas, debido a su parecido estructural con el 17β-estradiol, tienen la capacidad de acoplarse a los receptores de estrógenos, por lo que también se les denomina fitoestrógenos. Promueven la proliferación de células óseas e impiden la proliferación de células estrogénicas en tejidos mamarios, próstata, colon, hígado y ovario (García M. <i>et al.</i>, 2023).</p>	 <p>Isoflavona</p>

Fuente: Adaptado de la Rosa X. *et al.*, 2022; Daryanavard H. *et al.*, 2023; Motta L. *et al.*, 2023; Pacheco *et al.*, 2021; García M. *et al.*, 2023.



Se pueden categorizar según la estructura del anillo C3, que define el tipo de compuestos que comprenden a las flavonas, los flavonoles, las flavanonas, las antocianidinas, las isoflavonas, entre otros compuestos (Zabaiou *et al.*, 2017). Los flavonoides poseen la habilidad de influir varios sistemas de enzimas y funciones biológicas de los mamíferos (Chabot *et al.*, 2010).

Las antocianinas proporcionan su color distintivo a las hojas, flores y frutos del café (Mo *et al.*, 2002), estos componentes están involucrados en una amplia gama de procesos, por ejemplo, en la atracción de agentes polinizadores a través de la coloración, órganos florales, la germinación de las flores la defensa contra los insectos, funcionan como insecticidas o como agente antimicrobiano (Pacheco *et al.*, 2021).

### **3.4 Emulsiones**

La emulsificación es un método de encapsulado frecuentemente utilizado en el sector industrial. Se refiere a un sistema diverso que consta de un líquido, llamado fase interna o discontinua, que se dispersa en forma de gotas en otro, llamado fase externa o continua, que no puede mezclarse con el primero (Matos *et al.*, 2020). Estas pueden categorizarse según la distribución de la proporción entre la fase oleosa y la fase acuosa. Se conoce como emulsión de aceite en agua a un sistema donde las gotas de aceite se dispersan en agua, en cambio, una emulsión en la que las gotas de agua están en aceite se conoce como emulsión de agua en aceite (McClements, 2015).

Las emulsiones se utilizan frecuentemente para encapsular compuestos bioactivos que son benéficos para la salud. Los polifenoles, luteínas, y las vitaminas son algunos compuestos que son muy sensibles (Yang *et al.*, 2013). Aunque termodinámicamente llegan a ser inestables, algunas presentan estabilidad de tiempo que depende de sus compuestos que la conforman esto posibilita

que los compuestos mantengan sus características y que sean liberados de manera regulada. Para encapsular un compuesto o principio activo, es necesario que se disuelva en la fase interna, que luego se dispersa en la fase externa (Matos *et al.*, 2020).

### 3.4.1. Tipos de emulsión

Se clasifican según su disposición espacial de fases oleosas y acuosas, se conoce como emulsión aceite en agua a un sistema que contiene gotas de aceite dispersas en una fase acuosa (O/W por sus siglas en inglés, oil in water), si en la fase dispersa consta de gotas de agua y la fase continua se refiere a un material oleoso, entonces nos estamos refiriendo a una emulsión de agua en aceite (W/O por sus siglas en inglés, water in oil) (Estefes, 2020). Además, se han desarrollado otros tipos conocidas como emulsiones dobles o múltiples.

#### 3.4.1.1. Disposición de gotas

De acuerdo con la organización de las gotas de fase interna, se pueden distinguir dos categorías principales de emulsiones. Las emulsiones simples de aceite en agua son las más comunes (O/W), es común también hallar emulsiones de agua en aceite (W/O) (Aserin, 2008).

En la figura 6 se presentan dos esquemas de emulsiones simples tipo O/W y W/O.

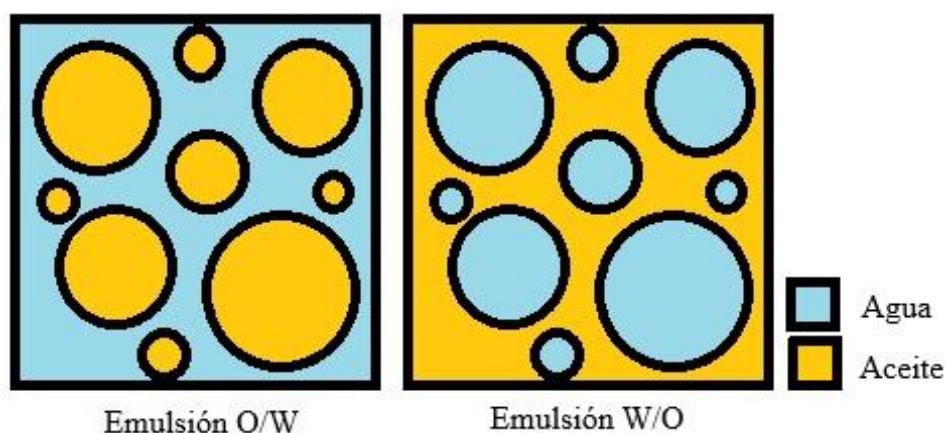


Figura 6. Esquematización de emulsiones simples O/W y W/O.

Las emulsiones dobles poseen la característica específica de que la fase interna también es una emulsión, las combinaciones más comunes son agua con aceite en agua (W1 / O/ W2) o aceite con agua en aceite (O1 / W/ O2) (Kumar *et al.*, 2012). Dado que estas emulsiones se componen de gotas dispersas en gotas dispersas en una fase continua, resultan imprescindibles dos clases de tensioactivo que se ubiquen en cada una de las interfases para estabilizar el sistema, uno que predomina hidrófilo y otro que predomina hidrófobo (Iqbal *et al.*, 2015). En la figura 7 se presentan dos esquemas emulsiones dobles W/O/W y O/W/O.

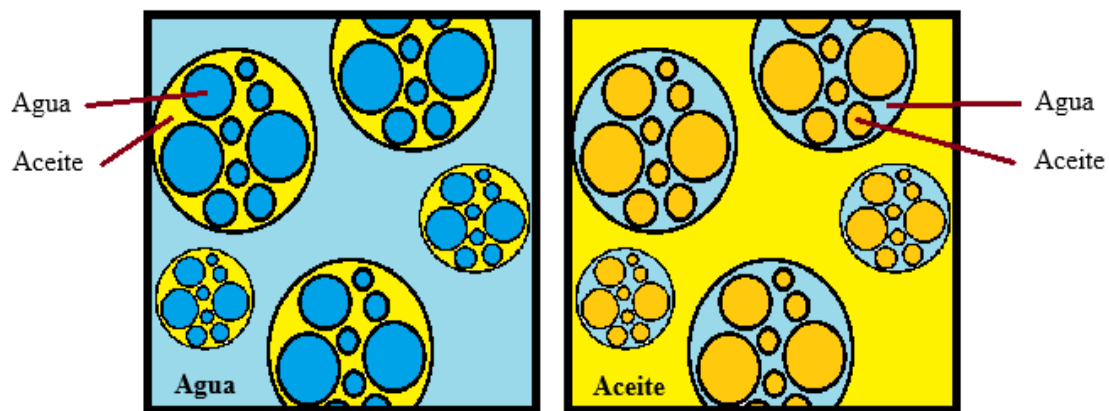


Figura 7. Esquemización de emulsiones dobles W/O/W y O/W/O.

### 3.4.1.2. Disposición del tamaño de las gotas

De acuerdo con el tamaño de las gotas que forman la fase interna se pueden identificar tres grandes grupos de emulsiones. Las macro - emulsiones son sistemas coloidales que se componen de gotas dispersas, usualmente de un tamaño que oscila entre 1 y 100  $\mu\text{m}$  (en algunas situaciones particulares se puede extender al rango de 0.5-500  $\mu\text{m}$ ) (Kumar *et al.*, 2012).

Las nano emulsiones son sistemas translúcidos que cuentan con gotas de tamaño muy reducido dispersas en una fase continua, su estructura se asemeja a un sistema polifásico, estos sistemas con gotas que se agrupan en 10 nm.

Las micro emulsiones a pesar de su nombre clasificarlas como un tipo de emulsión es erróneo, dado que sus características son completamente diferentes. Por ejemplo, aunque las macro emulsiones presentan inestabilidad termodinámicamente, las micro emulsiones son estables. Se distinguen por tener un tamaño de gota inferior a 0.1 mm y poseen una apariencia translúcida. La esencia de estas es agua, aceite y tensioactivo (estabilizante) similar al que se requiere en las macro emulsiones, aunque en este escenario la cantidad requerida de estabilizante es considerablemente superior (cerca del 20%) (Pimentel, 2019).

### **3.4.2. Caracterización de la emulsión**

#### **3.4.2.1. Morfología**

Las emulsiones presentan una morfología esférica en la que se observa microscópicamente, se presentan de distintos tamaños, a partir del método y los reactivos que se utilizan tiene influencia en la viscosidad, claridad, formas heterogéneas, lo que conlleva a una agregación parcial de las gotas, necesitando mayor energía para disminuir su tamaño (Jiménez *et al.*, 2016).

#### **3.4.2.2. Estabilidad**

La estabilidad de una emulsión se puede determinar por el cambio en la cantidad de gotas a través del tiempo. La medida de las gotas tiene un rol fundamental no solo en la estabilidad, sino también en otras propiedades importantes de las emulsiones, con el transcurso del tiempo, debido a su inestabilidad termodinámica, terminará dividiéndose en dos fases. Usualmente, el objetivo es lograr emulsiones estables a lo largo del tiempo cuyas propiedades no se alteren, aunque en determinadas situaciones, una inestabilidad relativa puede resultar ventajosa (McClements, 2015).

#### **3.4.2.3. Eficiencia de encapsulación y estabilidad**

La eficiencia de encapsulación (EE) de una emulsión se establece mediante la medición de la concentración del compuesto pertinente en la fase externa (concentración recuperada) y la

concentración esperada en esa misma fase si todo el compuesto se hubiese liberado. Para establecer la estabilidad (ES), es imprescindible realizar una separación eficaz de la fase externa, la concentración de la fase interna y el tamaño de las gotas. Esta separación puede realizarse a través de una sencilla decantación o mediante algún dispositivo que fomente la transferencia de las gotas (generalmente de aceite) hacia el nivel superior (Matos, 2019).

#### **3.4.2.4. Viscosidad en la emulsión**

Las investigaciones reológicas indican que factores como la temperatura, la presión, la velocidad de corte y el corte del agua son determinantes, también otros factores desempeñan un rol fundamental en la formación y estabilidad de emulsiones (Sefton Pajouhandeh *et al.*, 2016). Las emulsiones suelen tener una viscosidad muy elevada a las temperaturas de origen (es decir, menores a 20 °C), pero disminuye a medida que la temperatura se eleva (Sefton *et al.*, 2010). Puede sobrepasar considerablemente la única fase de agua, lo que evidencia un incremento en la elasticidad y viscosidad con el corte del agua, mostrando un comportamiento newtoniano aún más elevado del agua de corte; a partir de ese momento, el fluido se transforma en no newtoniano (Baled *et al.*, 2018).

#### **3.4.3 Aplicaciones**

Puede parecer que un producto alimenticio donde se forme una emulsión constaría de 3 partes solamente (agua, aceite y emulsionante) pero en realidad es más complejo. La fase acuosa puede contener una variedad de ingredientes solubles en agua, incluidos azúcares, sales, ácidos, bases, buffers, alcoholes, surfactantes, proteínas, polisacáridos y conservantes. La fase oleosa también se compone de varios tipos de moléculas solubles en lípidos como los triacilglicerol, diacilglicerol, monoacilglicerol, ácidos grasos libres, esterol, vitaminas, sustitutos de la grasa, colores, sabores y conservantes. En la región interfacial puede haber una mezcla de

diferentes compuestos que incluyen: proteínas, polisacáridos, fosfolípidos, surfactantes y alcoholes (Marin *et al.*, 2018).

### **3.5 Maltodextrina**

La maltodextrina se obtiene mediante la hidrólisis enzimática o ácida del almidón usualmente presenta una habilidad de resguardar el material encapsulado contra la oxidación, elevada solubilidad en agua y un sabor neutro (Martínez *et al.*, 2015). Se han empleado extensamente en la microencapsulación de alimentos gracias a su costo reducido y baja viscosidad a concentraciones elevadas, a pesar de esto el inconveniente principal de este agente de encapsulación radica en su ausencia de características emulsificantes, debido a su resistencia restringida a los componentes hidrófobos (Dey, 2012).

### **3.6 Cera de abeja**

La cera de abejas se compone de ácidos libres y elementos naturales que le confieren propiedades únicas como características emulsificantes, plasticidad y compatibilidad con otros productos naturales (Bautista *et al.*, 2018). Esta cera puede recibir diferentes denominaciones en función del nivel de purificación del producto estos son cera alba (blanca) o cera flava (amarilla), en el proceso de elaboración de sus panales las abejas liberan la cera. Al fundir y filtrar los panales, se consigue una cera limpia que tiene un tono que oscila entre café y amarillo, en función de la multiflora presente de la zona donde residen las abejas (Bradbear, 2005). Contiene un 75% de esteroides, fundamentalmente de palmitato de miricilo (C16/C30), un 15% de ácidos libres y el resto hidrocarburos. Para extraerla se funde y se filtra y posteriormente se decolora.

### **3.7 Yogur**

El yogur es un alimento lácteo fermentado que se genera mediante la fermentación ácido láctica (Babio *et al.*, 2017). La disminución del pH causa un incremento en la solubilidad del calcio y fosfato que se encuentran en las micelas, lo que complica su estabilización. Se produce a través de la precipitación de la caseína y la creación de cavidades circulares repletas de suero (Tiwari *et al.*, 2021).

La gelificación de la leche se consigue mediante una lenta acidificación realizada por bacterias ácido-lácticas. La acidificación causa cambios importantes en la estructura láctea, llevando a la formación de una red de proteínas porosas en donde está retenido el suero. De acuerdo con el tratamiento térmico realizado, las proteínas desnaturalizadas promueven el aumento de la densidad alterando de esta manera sus propiedades. La presencia de grasa en la leche influye de manera considerable en su estructura, si se emplea la homogeneización para reducir la dimensión del glóbulo de grasa. Esto ocurre porque la interfase de los glóbulos grasos uniformes alberga caseínas que interactúan con la red del gel, lo que provoca un incremento en la viscosidad y una reducción de la sinéresis en el yogur (Gilbert *et al.*, 2021). La aplicación de varios componentes funcionales derivados de frutas o subproductos de estas ejerce un impacto considerable en la calidad del yogur (Cho *et al.*, 2020).

#### **3.7.1. Tipos de yogur**

El yogur puede ser categorizado según diversos criterios, uno de estos es la naturaleza del cuerpo del producto, la secuencia o combinación de operaciones durante el procedimiento de producción determina el tipo de yogur que se elaborará (Hongbo *et al.*, 2020). En la tabla 10 se describe 10 tipos de yogures de mayor consumo.

Tabla 10. *Tipos de yogur*

Yogur cuajado o set	Se fermenta directamente en su recipiente, se refrigera, se almacena y luego se consume directamente de ese recipiente (Gilbert <i>et al.</i> , 2021).
Yogur concentrado	Su principal particularidad radica en su textura, que es más uniforme y suave en comparación con otros tipos, se les denomina de manera distinta dependiendo de su procedencia ya sea griego, skyr, labneh, etc (Costa <i>et al.</i> , 2019).
Yogur batido	Se somete el producto fermentado a un proceso de agitación para romper la estructura del gel de manera regulada, en consecuencia, se genera una textura semisólida con características reológicas y microestructurales distintas a las del tipo set (Salama <i>et al.</i> , 2021).
Yogur bebible	Presenta una viscosidad reducida y una sensación de cremosidad en la boca inferior a la de otros tipos, se puede consumir en estado líquido por su base de leche, ya que durante la fabricación se somete a un proceso de homogeneización para romper la estructura del gel y conseguir las características previamente mencionadas (Thompson <i>et al.</i> , 2007).

Fuente: Adaptado Gilbert *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2019; Salama *et al.*, 2021; Thompson *et al.*, 2007.

### 3.7.2. Producción de yogur en México

Para el 2020, la producción de yogur en México llegó a 684, 566 toneladas y es el producto lácteo que más se elabora en México, con una producción del 43.6% en comparación con el total de producción de derivados lácteos (SIAP 2020). La categorización de los tipos de yogur se describe en la tabla 11.

Tabla 11. *Tipos de yogur nacional*

Yogur natural	Es aquel que no contiene edulcorantes, azúcares añadidos, frutas, vegetales, cereales, saborizantes o aromatizantes, y pueden contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.
Yogur natural con endulzantes	El yogur natural se mezcla con azúcares o edulcorantes con el fin de endulzarlo, y que puede contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.
Yogur saborizado	Es el yogur se le adiciona cualquier tipo de edulcorantes, azúcares añadidos, saborizantes o aromatizantes, y que puede contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.
Yogur con fruta u otros alimentos	Es el yogur al que se le adicionan edulcorantes, azúcares, aromatizantes, saborizantes, frutas o vegetales (en forma de puré, pulpa o jugo), miel, chocolate, cacao, café, cereales, nueces, frutos secos y especias y que puede contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.

Fuente: NOM-181-SCFI, 2018.

En la figura 8 se ilustran los porcentajes de producción de tipo de yogur en México.



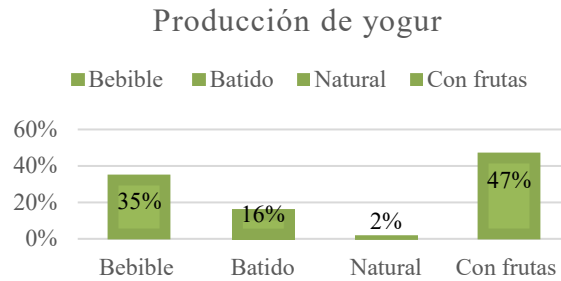


Figura 8. Representación gráfica de producción de yogur en México (SIAP 2020).

### 3.8. Análisis fisicoquímicos

El aspecto de la estabilidad fisicoquímica de las emulsiones es básico en la investigación y desarrollo de formulaciones para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, donde la estabilidad a través del tiempo garantice la seguridad, efectividad y aceptación de los consumidores (Castillo, 2024).

#### 3.8.1. Sólidos solubles expresados como °Brix

El propósito de los grados °Brix es determinar el volumen de sólidos solubles en un alimento, expresado como porcentaje de sacarosa. Los elementos conocidos como sólidos solubles incluyen sales, ácidos, azúcares y otros compuestos que se pueden disolver en agua presentes en las bebidas (Mañas *et al.*, 2017). En la figura 9 se esquematiza la escala de °Brix de un refractómetro manual.

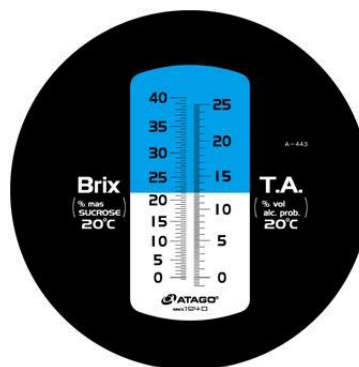


Figura 9. Escala de °Brix de un refractómetro manual (ATAGO).

### 3.8.2. pH

El pH del potencial de hidrógeno es una medida de la alcalinidad o acidez de una solución, que oscila entre 0 y 14, siendo un pH de 7 una solución neutra, mientras que un pH superior a 7 representa una solución alcalina y una solución con un valor de pH inferior (Recavarren, 2024). Además, ejerce un impacto considerable en la estabilidad física y química de las emulsiones, tanto en usos industriales como en estudios de investigación. En el ámbito de las emulsiones, sistemas coloidales que contienen dos líquidos inmiscibles, el pH puede influir en la solubilidad y la carga de los emulsionantes, alterando así la interfaz entre las fases y la solidez del sistema (Castillo, 2024). En la figura 10 se muestra una escala indicadora de pH.

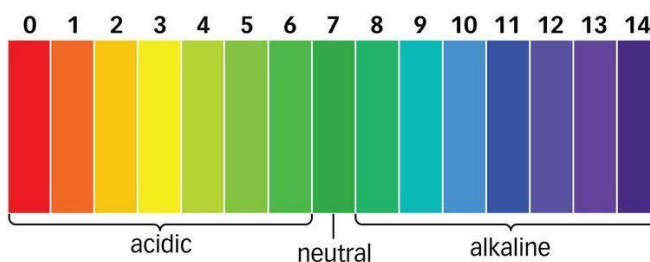


Figura 10. Escala indicadora de pH (HANNA instruments).

### 3.8.3. Color

El color de la superficie de los alimentos es el primer indicador de calidad que se evalúa por los consumidores y se emplea como instrumento para aceptar o rechazar alimentos (León *et al.*, 2006). En los parámetros de color, luminosidad ( $L^*$ ) que tiene una tendencia de negro a blanco. El parámetro de color  $a^*$  que simboliza la transición del verde (-) hacia el rojo (+). El parámetro  $b^*$  que muestra las tendencias de coloración desde el azul (-) hasta el amarillo (+) (Calva, 2021). Además, que esto sirve para asegurar la calidad del producto, consistencia, cumplir con los estándares de calidad y la aceptabilidad del consumidor.

En la figura 11 se muestra una carta de color según el método Cielab para medir color.

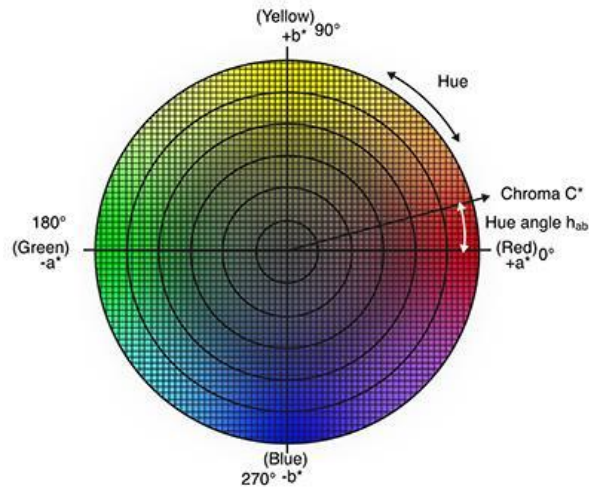


Figura 11. Carta de color (MINOLTA, 2023).

### 3.8.4. Viscosidad

La estabilidad física de las emulsiones está profundamente vinculada a sus cualidades reológicas. Las emulsiones de mayor viscosidad generalmente suelen ser más estables a causa de la disminución de la movilidad de las gotas, lo que disminuye el factor de coalescencia. Por lo tanto, es importante supervisar meticulosamente las condiciones reológicas de las emulsiones para asegurar su estabilidad (Chatsisvili *et al.*, 2012). Cuando las placas de resorte vibran con una frecuencia uniforme, la amplitud varía en función de la fuerza de fricción producida por la viscosidad entre las placas del sensor y la muestra. El vibroviscómetro controla la corriente eléctrica impulsora para vibrar las placas de resorte y desarrollar una amplitud uniforme. La fuerza impulsora necesaria para la viscosidad es directamente proporcional a la viscosidad por densidad. Por lo tanto, al vibrar las placas de resorte con una frecuencia constante para desarrollar una amplitud uniforme en muestras con diferentes viscosidades, la corriente eléctrica impulsora (potencia impulsora) también es directamente proporcional al producto de la viscosidad por la densidad de cada muestra. En la figura 12 se esquematiza la comparación de viscosidad baja en el agua y la viscosidad alta del aceite.

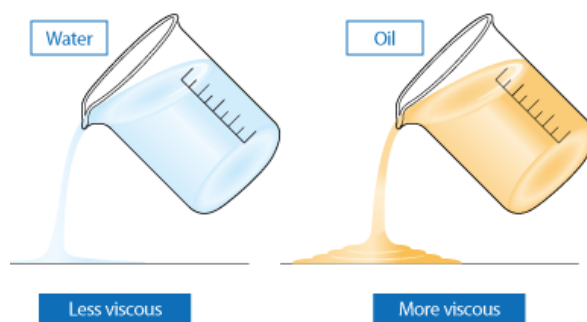


Figura 12. Comparación de viscosidad (HEXAGON)

### 3.9. Análisis de compuestos bioactivos

La encapsulación de sustancias bioactivas en emulsiones facilita el incremento de su solubilidad, estabilidad química, absorción y eficacia terapéutica (Ruiz, 2021). Por lo mencionado anteriormente, es de gran relevancia la valoración de las características biológicas y fisicoquímicas de los encapsulados diseñados. Dado que el uso de modelos *in vivo* es caro, tiene variabilidad genética y restricciones éticas, los modelos *in vitro* son los más utilizados por ser veloces, seguros y sin limitaciones éticas (Rodríguez, 2007).

#### 3.9.1. Digestión *in vitro*

Hay varios modelos de digestión *in vitro*, tales como el planteado por Minekus *et al.* (2014), donde se definen las condiciones químico enzimáticas de los fluidos gastrointestinales, a través de un acuerdo internacional que intentó alcanzar un consenso global cerca de las condiciones habituales del ser humano. Para el análisis de la actividad biológica, se utiliza el uso de cultivos celulares facilita la medición de respuestas muy similares a las que suceden en los seres vivos distintos tejidos y órganos, Heredia *et al.* (2021) explica y resume las fases de simulación *in vitro* de la digestión gastrointestinal de alimentos las cuales se conforman por la fase oral, gástrica e intestinal. En la figura 13 se esquematiza de manera simplificada el proceso de las etapas de la digestión *in vitro*.

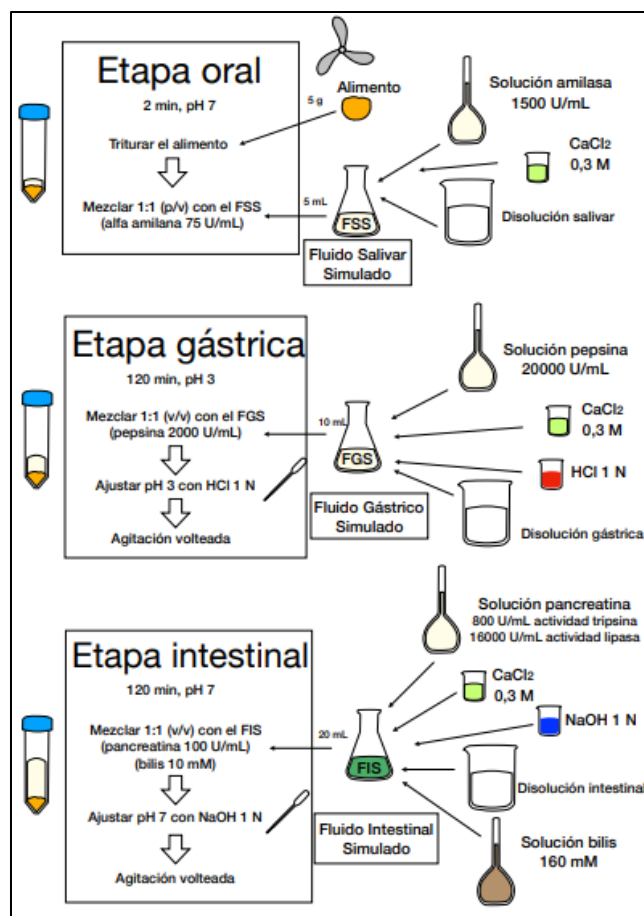


Figura 13. Resumen del proceso de digestión in vitro (Heredia et al., 2021).

### 3.9.2. Determinación de compuestos fenólicos

El procedimiento espectrofotométrico desarrollado por Folin y Ciocalteu para determinar los fenoles totales se basa en su característica reductora y es el más utilizado. Las muestras son recolectadas en alícuotas y se diluyen con agua desionizada, una disolución de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y un reactivo de Folin-Ciocalteu. Una vez mantenidos a temperatura, se evalúa la absorbancia a 750 nm. El antioxidante de referencia (ácido gálico) se emplea para lograr una curva de patrón a concentraciones (Estrada, 2013).

## **CAPITULO IV. METODOLOGIA**

### **4.1. Introducción**

La investigación se plantea de manera cuantitativa, con el objetivo de generar un conocimiento a través de un nuevo saber teórico o empírico (León *et al.*, 2020). Se especifican los métodos y materiales que se utilizaron en la investigación. Se detalla el proceso de formulación de emulsiones, la elaboración de los yogures enriquecidos y los análisis efectuados: pH, sólidos solubles (°Brix), color, digestión *in vitro* y liberación de compuestos fenólicos; además de la viscosidad.

### **4.2. Localización del trabajo de investigación**

La investigación se realizó en el Taller de Granos y Semillas y en el laboratorio de Aprovechamiento Agroalimentario del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

### **4.3. Materia prima y reactivos**

Se realizaron diferentes concentraciones de la emulsión con película plateada / cascarilla café (C.C) y cascarilla pergamino / cascarilla blanca (C.B) para evaluar y determinar parámetros y así poder observar su comportamiento que tiene cada una de las formulaciones aplicadas en el yogur. El café en polvo, la cascarilla pergamino y la película plateada fueron obtenidos de la comunidad de La Sombra ubicada en el municipio de Chiconquiaco, Veracruz se encuentra entre las coordenadas de 19° 42' y 19° 49' latitud norte; 96° 39' y 96° 52' longitud oeste. En la figura 14 se localiza la ubicación geográfica de la comunidad de La Sombra.

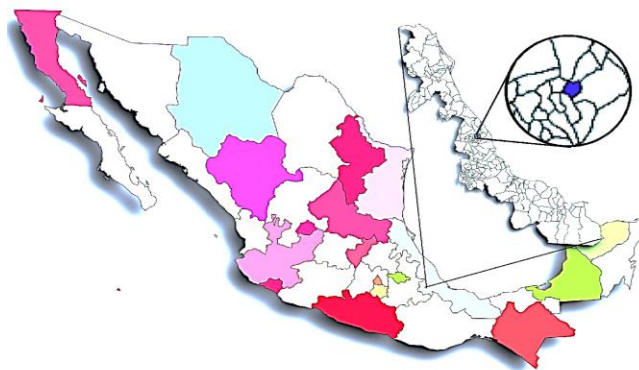


Figura 14. La Sombra, Chiconquiaco Veracruz (paintmaps, 2025).

Se utilizó maltodextrina (marca “Mi granero”) y la cera de abeja (marca “Hebbe”) con características de grado alimentario. Para la simulación de digestibilidad *in vitro* fueron utilizados etanol que se preparó al 80%, HCl (ácido clorhídrico), pepsina porcina, CaCl<sub>2</sub> (cloruro de calcio), pancreatina, sales biliares, NaHCO<sub>3</sub> (bicarbonato de sodio) y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (carbonato de sodio).

#### 4.4. Formulación y elaboración de emulsión

Se preparó la cascarilla a malla 100, el tamaño es de 149 micrómetros (μm) o 0,149 milímetros (mm) de la C.B. y C.C. Para preparar el extracto de café se lleva a cabo un lixiviado de 3 arrastres de líquido a una temperatura de 92 °C a 95 °C en una cafetera marca Oster para obtener la concentración óptima del café con un parámetro de pH de 4.6 a 4.7, en la tabla 12 se muestra la formulación del extracto de café.

Tabla 12. *Formulación de extracto de café*

Material	Cantidad en gramos
Café molido	380 g
Agua	1080 mL

Fuente: Pérez *et al.*, (2021).

Para la reducción de partícula de la C. B. y C. C. se utilizó un molino pulverizador (marca “semillas de vida” SV-MOL-300) donde se colocó la C.B. y C.C. el cual se molió y refinó durante

un minuto a 28000 rpm, la muestra se cernió con una malla del n°45, después una del n°70 y por el ultimo se pasó la n°100.

Una vez preparada la muestra de la cascarilla, se pesó la maltodextrina y la cera de abeja para continuar con la elaboración de la emulsión, primero se mezcló la cascarilla molida y la maltodextrina hasta tener una mezcla homogénea, se disolvió el extracto de café hasta obtener una mezcla viscosa, se trocea la cera de abeja para que sea incorporada, después se somete a un secado en una estufa de aire marca Oster a 180 °C durante 10 minutos, teniendo la muestra seca se reduce la partícula en el molino y se rectifica el tamaño de partícula con el cernidor de malla n°100, en la tabla 13 se muestra la formulación que tuvo cada tratamiento de la emulsión de C.C. Y C.B.

Tabla 13. *Formulaciones de la emulsión con C.C y C.B*

Materiales	Cantidad %			Materiales	Cantidad %		
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Maltodextrina	42.40	48.07	51.10	Maltodextrina	42.40	48.07	51.10
Extracto de café	41.8	35.60	31.64	Extracto de café	41.84	35.60	31.64
Cascarilla blanca	13.0	14.83	15.77	Cascarilla café	13.08	14.83	15.77
Cera de abeja	2.6	1.78	1.57	Cera de abeja	2.61	1.78	1.57

Fuente: Elaboración propia (2025).

En la figura 15 se muestra la esquematización de la obtención de el extracto, la reducción de cascarilla, hasta la obtención de la emulsión seca.



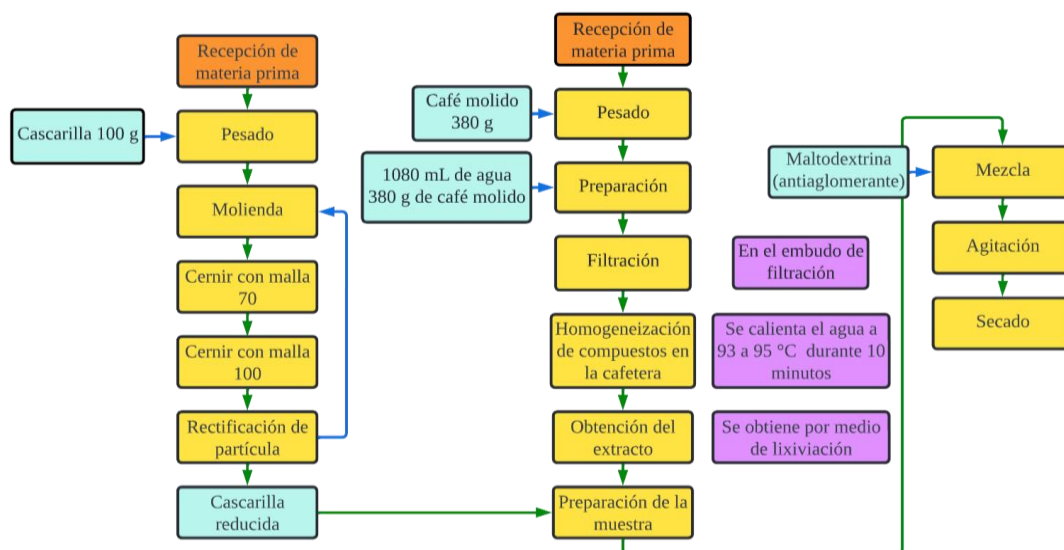


Figura 15. Diagrama de flujo de la formulación de la emulsión.

El yogur se adquirió de manera comercial “vaca blanca”, además, se mantuvo a una temperatura de 2 °C a 5 °C, se pesó la muestra de emulsión al 2% y 4%, se mezcla al yogur de forma homogénea para evaluar los parámetros fisicoquímicos, compuestos bioactivos y viscosidad que contiene, se midieron a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días para observar si hay diferencias significativas.

#### 4.4. Determinación de análisis fisicoquímicos

##### 4.4.1. Sólidos solubles

Se determinaron sólidos solubles de acuerdo con la metodología de AOAC (22.008.1984) colocando de 4 a 6 gotas del yogur con extracto de café sobre el lente del refractómetro (Atago Palette PR-301<sup>a</sup> digital) y posterior se da lectura por triplicado de cada tratamiento.



Figura 16. Refractómetro de °Brix marca ATAGO.

#### 4.4.2. pH

El pH se determinó de acuerdo con la metodología de AOAC 981.12 con un potenciómetro (Hanna checker's HI98103), previamente calibrado con soluciones buffer de 4 y 7, por medio de inmersión directa del electrodo en el yogur haciéndolo por triplicado en cada tratamiento.



Figura 17. Medidor de pH marca HANNA checker's

#### 4.4.3. Color

La evaluación del color se realizó de acuerdo con el método descrito por Wang *et al.*, (2019). Se realizaron las lecturas con un colorímetro (3nh NR110), empleando patrones de L (luminosidad), a (rojo-verde) y b (amarillo-azul) de acuerdo con la metodología establecida por las medidas de color, coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del espacio en el Cielab previamente calibrado con un punto blanco y un negro, y se midió por medio de disparos directos al yogur por triplicado en cada tratamiento.



Figura 18. Colorímetro marca 3nh.

## 4.5. Determinación de compuestos bioactivos

### 4.5.1. Digestibilidad *in vitro*

Los modelos de digestión *in vitro* simulada, tratan de emular las condiciones fisiológicas en sistemas *in vivo*, considerando la presencia de enzimas, pH, tiempo de digestión, contenido y concentración de electrolitos, contenido de sales biliares, entre otros factores. En los modelos estáticos se simula las diferentes fases de la digestión; oral, gástrica e intestinal (Asencio *et al.*, 2021). La digestibilidad *in vitro* se realizó de acuerdo con Minekus *et al.*, (2014), con algunas modificaciones. Se dividió en dos etapas:

Fase gástrica: se preparó una solución de 20 mg/mL extracto seco en etanol al 80 %, posteriormente esta solución fue diluida (1:5 v/v) con agua destilada, a esta solución se le ajustó el pH a 2 con HCl 6 M, se adicionó 20 mL de líquido gástrico (40,000 unidades de pepsina porcina en  $\text{CaCl}_2$  0.3 M en HCl 0.1 M), la mezcla fue incubada en baño María a 37°C, con agitación durante 120 min. En la figura 19 se muestra la preparación de las muestras para digestión *in vitro*.



Figura 19. Preparación de muestras para digestión *in vitro*

Fase intestinal: El pH fue ajustado a 7 con bicarbonato de sodio 0.5 M, posteriormente se le adicionó 10% de líquido pancreático (0.4 g de pancreatina y 2.5 g de sales biliares en 100 mL de  $\text{NaHCO}_3$  0.1 M), la mezcla fue incubada en baño María a 37 °C, con agitación durante 120 min. Por último, la mezcla fue calentada a ebullición durante 4 min, con la finalidad de inactivar las

enzimas. Se tomaron 4 muestras durante la digestión: a) extracto; b) al final de la fase gástrica; c) al final de la fase intestinal; d) después de la ebullición. Todas las muestras fueron centrifugadas durante 10 min a 4 °C, y fueron guardadas en refrigeración por 12 horas para cuantificar fenoles. En la figura 20 se encuentran las muestras tomadas durante la simulación de digestión *in vitro*.

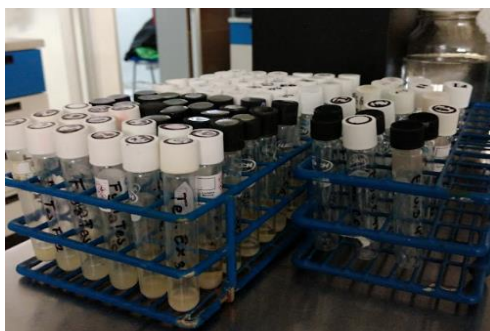


Figura 20. Muestras tomadas durante la simulación de digestión *in vitro*.

#### 4.5.2. Determinación de compuestos fenólicos

Para la determinación de compuestos fenólicos en la cascarilla de café se utilizó el método de Folin-Ciocalteu con algunas variaciones, primero se estableció una curva de calibración de ácido gálico para cuantificación de fenoles totales. Para la preparación de soluciones se utilizó carbonato de sodio al 20%, se disolvieron 10 g de carbonato de sodio anhidro en 35 ml de agua caliente, se dejó enfriar y se aforó a 50 ml con agua destilada. En la figura 21 se presenta la solución de ácido gálico para la determinación de fenoles.

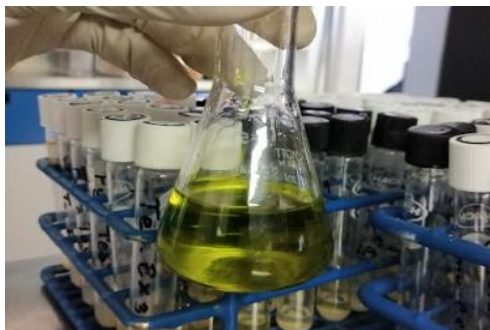


Figura 21. Solución de ácido gálico para determinación de fenoles.

Para la preparación de las muestras se colocaron 100 mg de la cascarilla en 50 ml de etanol: agua 1:1, se colocaron en un baño ultrasónico (40-45 Hertz) durante 15 minutos y se centrifugaron a 10000 rpm durante 10 m, el sobrenadante obtenido se diluyó 4 veces, (100  $\mu$ L de sobrenadante: 400  $\mu$ L de agua destilada). Se tomaron 100  $\mu$ L de la disolución de la muestra, y se adicionó 100  $\mu$ L de reactivo de Folin, se agitó en vortex incubándose a oscuridad por 8 minutos, y se adicionaron 300  $\mu$ L de carbonato de sodio, con el vortex fue homogenizado y se incubó a baño María a 50°C durante 15 minutos, se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 730 nm para obtener el valor de la absorbancia (A). Este procedimiento se realizó por triplicado a cada muestra. En la figura 22 se representa por triplicado las muestras de fenoles después de ser analizados en el uv/vis.



Figura 22. Muestras de compuestos fenólicos después de ser analizados en el uv/vis.

Se representa la elaboración de la curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar, en un intervalo de concentración que va de 0 a 12.5 mg EAG/g. La ecuación de regresión lineal obtenida es de  $A_{\lambda=474\text{ nm}} = 0.0041 * [(mg/L) \text{ ácido gálico}] + 0.0055$  con un coeficiente de regresión lineal de  $r^2 = 0.9979$ . En la figura 23 se muestra la curva de calibración propia utilizando ácido gálico.

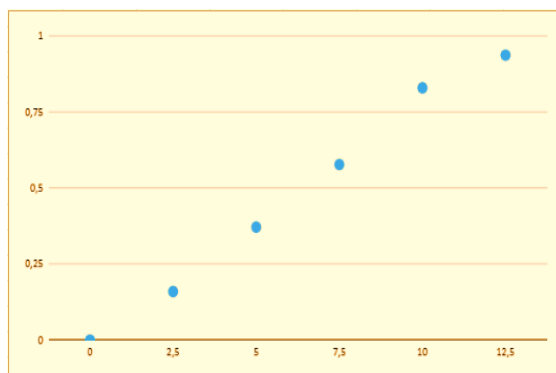


Figura 23. Curva de calibración utilizado el estándar de ácido gálico.

#### 4.6. Determinación de viscosidad

La viscosidad es una característica de los fluidos de gran relevancia en diversos procesos industriales. Además de ser un factor de gran impacto en las mediciones del flujo de fluidos, el valor de viscosidad se emplea como referencia en la creación de nuevos productos, simplificando la reproducción de la consistencia de un lote a otro (Ortiz *et al.*, 2022).

La evaluación se realizó con un vibroviscómetro (AND VISCOMETER), estandarizado por el método JIS, donde se evalúa la viscosidad ajustando la magnitud de las placas censorsas inmersas en una muestra y registrando la corriente eléctrica que las propulsa. Descrito en el manual de usuario del viscosímetro las placas delgadas del sensor se sumergen en la muestra de yogur.



Figura 24. Determinación de viscosidad en yogur.

#### **4.7. Análisis estadístico**

Se realizó el análisis de los datos con el programa statistacal analysis system (SAS), usando un análisis de varianza empleando el método de Tukey con un grado de confianza del 95%, haciendo 3 repeticiones de cada muestra durante 4 semanas, las cuales fueron 1 testigo, 2 tratamientos uno al 2% y otro al 4% de cada una de las cascarillas presentadas.

## CAPITULO V. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los hallazgos logrados al evaluar diversas formulaciones de emulsiones elaboradas con extracto de café y cascarilla pergamino o película plateada, añadidas a yogur natural. La investigación se enfocó en examinar las propiedades fisicoquímicas (pH, °Brix, color, viscosidad) y los compuestos fenólicos mediante la digestión *in vitro*, durante un periodo de almacenamiento de 28 días, con evaluaciones cada semana.

### 5.1. Evaluación de pH

El pH se considera un indicador esencial para medir la estabilidad y la preservación del yogur, en el transcurso de los 28 días de almacenaje, se observaron variaciones significativas en los tratamientos, en función del tipo y concentración de cascarilla aplicada.

Los tratamientos que contenían menos emulsión, como CB 2% con un pH de 5.20 y CC 2% con un pH de 5.16, mostraron resultados parecidos a los de un yogur natural. No obstante, cuando se incrementó la emulsión, el yogur se tornó más ácido CB 4% llegó a pH = 4.34 y CC 4% a pH = 4.35, lo que indica una reducción aproximada de 0.9 unidades en comparación con CB 2%. Esto sucede debido a que la emulsión proporciona componentes fermentables que promueven la generación de ácido láctico por las bacterias presentes en el yogur. Además, la cascarilla café demostró una estabilidad superior, impidiendo que el pH descendiera de manera excesiva.

El comportamiento del pH en los yogures adicionados con emulsión de cascarilla de café presento variaciones significativas en función del tipo de cascarilla y la concentración empleada. En las formulaciones al 2%, tanto con CB y CC, los valores de pH se mantuvieron cercanos al de



un yogur natural, lo que indica que a bajas concentraciones la emulsión no altera de manera sustancial la acidez del producto. En la tabla 14 se muestran las comparaciones obtenidas en pH.

Tabla 14. *Comparaciones para pH*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 2%	12	5.208 <sup>a</sup>	0.38
Ctrl yog CC 2%	12	5.166 <sup>a</sup>	0.38
Ctrl yog CB 4%	12	4.358 <sup>b</sup>	0.38
Trat 1 yog CB 4%	12	4.341 <sup>b c</sup>	0.38
Trat 1 yog CB 2%	12	4.316 <sup>b c</sup>	0.38
Trat 2 yog CB 2%	12	4.275 <sup>b c</sup>	0.38
Trat 2 yog CB 4%	12	4.266 <sup>b c</sup>	0.38
Ctrl yog CC 4%	12	4.250 <sup>b c</sup>	0.38
Trat 2 yog CC 2%	12	4.158 <sup>b c</sup>	0.38
Trat 1 yog CC 4%	12	4.141 <sup>b c</sup>	0.38
Trat 1 yog CC 2%	12	4.141 <sup>b c</sup>	0.38
Trat 2 yog CC 4%	12	4.108 <sup>c</sup>	0.38

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Sin embargo, al incrementar la concentración al 4%, el pH descendió de manera notable hasta valores de 4.34 en CB y 4.35 en CC, evidenciando una mayor producción de ácido láctico por parte de los cultivos lácticos. Esto sugiere que la cascarilla aporta compuestos fermentables (fibra y azúcares), que estimulan la actividad metabólica de los cultivos acelerando la acidificación del producto. En contraste, el estudio de Romo Gonzales (2023) sobre emulsiones multicapa de curcumina reportó que la incorporación de estas emulsiones al yogur no generó cambios significativos en los parámetros de pH ni en la acidez titulable, manteniéndose los valores entre 4.5 y 4.6, similares al yogur control. Esto se debe a que la curcumina a diferencia de la cascarilla, no aporta sustratos fermentables si no que actúa principalmente como un compuesto bioactivo encapsulado cuya función es preservar su estabilidad dentro del alimento.

La diferencia de ambos estudios radica en la función de los ingredientes adicionados, mientras que la cascarilla de café no solo funge como fuente de compuestos bioactivos, sino que también influye en la fermentación al promover un descenso mayor del pH, la curcumina

encapsulada en emulsión multicapa se caracteriza por su neutralidad en la fermentación, manteniendo estable la acidez del yogur. Esto implica que la cascarilla podría conferir un perfil más ácido y protector frente a microorganismos contaminantes, aunque con un posible impacto en la aceptación sensorial si el descenso es excesivo. Por el contrario, la curcumina permite mantener el sabor y la acidez característica del yogur, lo que resulta ventajoso para la aceptación del consumidor.

Ambos trabajos coinciden en que, pese a las diferencias en el comportamiento de pH, la incorporación de emulsiones naturales no comparte la calidad microbiológica del producto y se mantiene dentro de los rangos normativos aceptables del yogur (pH 4.2 – 4.6). En este sentido se puede afirmar que la cascarilla aporta fermentabilidad y modulación ácido láctica, mientras que la curcumina contribuye principalmente a la estabilidad fisicoquímica sin alterar la acidez del alimento.

## 5.2. Evaluación de °Brix

Los tratamientos con mayor emulsión son significativamente superiores CB 4% llegó a 13.99 °Brix y CC 4% a 13.90 °Brix, en cambio, los tratamientos con menor emulsión mostraron valores inferiores, tales como CB 2% 9.20 °Brix y CC 2% 10.10 °Brix. Esto señala que, al integrar más emulsión, se incrementa la presencia de compuestos disueltos en el yogur. Por ejemplo, CB 4% registró casi 4 °Brix superior a CB 2%, evidenciando un aumento significativo en sólidos solubles.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la emulsión aporta una cantidad considerable de compuestos solubles, que se disuelven en la matriz del yogur, aumentando la densidad y el contenido de sólidos del producto. En la tabla 15 se muestran las comparaciones de °Brix.

Tabla 15. *Comparaciones para °Brix*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 4%	12	13.991 <sup>a</sup>	1.5418
Trat 2 yog CC 4%	12	13.908 <sup>a</sup>	1.5418
Trat 1 yog CB 4%	12	13.733 <sup>a</sup>	1.5418
Trat 2 yog CB 4%	12	13.716 <sup>a</sup>	1.5418
Trat 1 yog CC 4%	12	13.666 <sup>a</sup>	1.5418
Trat 2 yog CB 2%	12	13.641 <sup>a</sup>	1.5418
Trat 2 yog CC 2%	12	12.791 <sup>b</sup>	1.5418
Trat 1 yog CB 2%	12	12.725 <sup>b</sup>	1.5418
Ctrl yog CC 4%	12	12.533 <sup>b</sup>	1.5418
Trat 1 yog CC 2%	12	12.475 <sup>b</sup>	1.5418
Ctrl yog CC 2%	12	10.100 <sup>c</sup>	1.5418
Ctrl yog CB 2%	12	9.200 <sup>d</sup>	1.5418

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De misma manera el estudio de Huanca Mamani *et al.* (2023), realizado sobre un helado elaborado con distintos niveles de suero de leche bovina al 20%, 50% y 75%, reportó un incremento progresivo en los °Brix a medida que se aumentó el contenido de suero con valores promedio de 19.67°, 27.67° y 32.00°Brix este aumento se atribuyó a la mayor cantidad de sólidos

disueltos principalmente lactosa, proteínas y sales minerales provenientes del suero, lo que evidencia una relación directa entre la adición de ingredientes ricos en sólidos solubles y el aumento del °Brix final del producto.

Al comparar ambos estudios se observa un comportamiento similar en la tendencia de °Brix, aunque con magnitudes diferentes. En el helado con suero bovino el incremento fue más moderado, probablemente por la naturaleza de compuestos bioactivos presentes en la emulsión, sin embargo, ambos coinciden en que la incorporación de ingredientes funcionales en la formulación eleva el contenido de sólidos solubles, lo que repercute en la textura, dulzor aparente y densidad del producto. Los mayores en valores de °Brix encontrados en yogur con 4% de emulsión son indicativos de una matriz más rica en sólidos disueltos, lo que podría contribuir a una mejor estabilidad estructural y una percepción de cuerpo más denso.

En cambio, en el caso del helado, los altos en °Brix están asociados con una mayor textura cremosa, por lo tanto, aunque las fuentes de sólidos son distintas ambas muestran que el incremento en sólidos es una característica deseable para mejorar la calidad fisicoquímica de productos lácteos funcionales.

### 5.3. Evaluación de color (L, a\*, b\*, c\* y h)

El color es uno de los atributos sensoriales más significativos que afectan la aceptación del producto por el consumidor, los parámetros colorimétricos examinados evidencian diferencias significativas entre los diferentes tratamientos el color del yogur cambió de manera significativa con la integración de la emulsión, la CB favorece yogures más claros, rojizos y con alta saturación de color, lo que los hace visualmente intensos y consistentes con la presencia de compuestos fenólicos. En cambio, la CC genera yogures más oscuros y con tonos más verdes-amarillos, aunque con menor intensidad.

Esto demuestra que el tipo y concentración de cascarilla influyen directamente en la percepción visual y, por ende, en la aceptación sensorial del yogur enriquecido. En la figura 25 se muestran algunas muestras de yogur con emulsión CB.



Figura 25. Muestras con emulsión CB.

En la tabla 16 los valores de L mostraron que los yogures con CB, especialmente al 4%, conservaron una mayor luminosidad 30.29, en comparación con los de CC, que tendieron a valores más bajos 15.72–17.69. Esto significa que los yogures con CB resultaron más claros, mientras que los de CC presentaron un tono más oscuro. La reducción de luminosidad se asocia a la incorporación de compuestos fenólicos que absorben luz y oscurecen la matriz del yogur, generando un color más cercano al capuchino.

Tabla 16. *Comparaciones para L*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 4%	12	30.290 <sup>a</sup>	5.5203
Ctrl yog CB 2%	12	29.395 <sup>a</sup>	5.5203
Trat 1 yog CC 2%	12	23.292 <sup>b</sup>	5.5203
Ctrl yog CC 2%	12	21.534 <sup>b c</sup>	5.5203
Trat 2 yog CB 4%	12	20.919 <sup>b c d</sup>	5.5203
Trat 1 yog CC 4%	12	19.327 <sup>b c d e</sup>	5.5203
Trat 2 yog CB 2%	12	18.948 <sup>b c d e</sup>	5.5203
Trat 2 yog CC 4%	12	17.698 <sup>c d e</sup>	5.5203
Trat 1 yog CB 2%	12	16.452 <sup>d e f</sup>	5.5203
Ctrl yog CC 4%	12	15.725 <sup>e f</sup>	5.5203
Trat 1 yog CB 4%	12	15.401 <sup>e f</sup>	5.5203
Trat 2 yog CC 2%	12	11.743 <sup>f</sup>	5.5203

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La tabla 17 el parámetro  $a^*$  evidenció un cambio de tonos verdosos a rojizos según el tratamiento. El Ctrl yog CB 2% alcanzó el valor más alto 4.87, indicando una mayor tendencia al rojo, mientras que tratamientos como Trat 2 yog CC 2% registraron valores negativos  $-2.34$ , asociados a tonalidades verdosas. En general, los tratamientos con CB promovieron colores más rojizos, mientras que los de CC tendieron hacia tonalidades más verdes.

Tabla 17. *Comparaciones para  $a^*$*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 2%	12	4.870 <sup>a</sup>	4.3893
Ctrl yog CC 2%	12	2.173 <sup>b</sup>	4.3893
Trat 1 yog CB 2%	12	1.416 <sup>b c</sup>	4.3893
Trat 2 yog CB 4%	12	1.229 <sup>b c d</sup>	4.3893
Trat 2 yog CB 2%	12	0.617 <sup>c d e</sup>	4.3893
Trat 1 yog CB 4%	12	0.106 <sup>d e f</sup>	4.3893
Ctrl yog CB 4%	12	-0.041 <sup>e f</sup>	4.3893
Trat 1 yog CC 2%	12	-0.765 <sup>f g</sup>	4.3893
Trat 1 yog CC 4%	12	-1.021 <sup>f g</sup>	4.3893
Trat 2 yog CC 4%	12	-1.367 <sup>g h</sup>	4.3893
Ctrl yog CC 4%	12	-1.943 <sup>g h</sup>	4.3893
Trat 2 yog CC 2%	12	-2.341 <sup>h</sup>	4.3893

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La tabla 18 el eje amarillo-azul, los valores más altos se observaron en Ctrl yog CB 2% 15.17, mostrando un color notablemente más amarillento. Los tratamientos con CC 2% y 4% presentaron valores significativamente más bajos 2.46 – 3.11, indicando colores menos intensos en la escala amarilla.

Tabla 18. *Comparaciones para b\**

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 2%	12	15.171 <sup>a</sup>	3.6375
Ctrl yog CC 2%	12	9.032 <sup>b</sup>	3.6375
Trat 1 yog CB 2%	12	7.109 <sup>c</sup>	3.6375
Ctrl yog CB 4%	12	5.950 <sup>c d</sup>	3.6375
Trat 2 yog CB 4%	12	5.785 <sup>c d</sup>	3.6375
Trat 1 yog CB 4%	12	5.474 <sup>c d</sup>	3.6375
Trat 2 yog CB 2%	12	5.304 <sup>d</sup>	3.6375
Trat 1 yog CC 2%	12	4.329 <sup>d e</sup>	3.6375
Ctrl yog CC 4%	12	3.110 <sup>e f</sup>	3.6375
Trat 1 yog CC 4%	12	2.582 <sup>f</sup>	3.6375
Trat 2 yog CC 4%	12	2.467 <sup>f</sup>	3.6375
Trat 2 yog CC 2%	12	1.995 <sup>f</sup>	3.6375

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Esto sugiere que la CB aporta compuestos que intensifican la coloración amarilla, posiblemente por la presencia de pigmentos asociados a la lignina y compuestos fenólicos.

La tabla 19 el croma, que indica la saturación o intensidad del color, fue más elevado en Ctrl yog CB 2% con 15.98, reflejando colores más vivos e intensos. En cambio, los tratamientos con CC mostraron menor saturación de 2.72 – 4.13, dando un aspecto más apagado al yogur. Esto confirma que la CB no solo influye en la tonalidad, sino también en la intensidad visual del producto.

Tabla 19. Comparaciones para  $c^*$

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 2%	12	15.986 <sup>a</sup>	3.7336
Ctrl yog CC 2%	12	9.296 <sup>b</sup>	3.7336
Trat 1 yog CB 2%	12	7.151 <sup>c</sup>	3.7336
Ctrl yog CB 4%	12	6.038 <sup>c d</sup>	3.7336
Trat 2 yog CB 4%	12	5.850 <sup>c d e</sup>	3.7336
Trat 1 yog CB 4%	12	5.472 <sup>c d e</sup>	3.7336
Trat 2 yog CB 2%	12	5.350 <sup>d e</sup>	3.7336
Trat 1 yog CC 2%	12	4.134 <sup>e f</sup>	3.7336
Ctrl yog CC 4%	12	3.359 <sup>f</sup>	3.7336
Trat 2 yog CC 2%	12	2.946 <sup>f</sup>	3.7336
Trat 1 yog CC 4%	12	2.795 <sup>f</sup>	3.7336
Trat 2 yog CC 4%	12	2.728 <sup>f</sup>	3.7336

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 20 el ángulo de tono ( $h^*$ ) mostró diferencias notables: los tratamientos con CC al 2% y 4% alcanzaron valores altos de 140 – 141, lo que indica un color más cercano al amarillo-verde. En contraste, los tratamientos con CB presentaron valores más bajos de 72 – 93, lo que los ubica hacia tonalidades más rojizas-amarillentas.

Esto sugiere que la CC otorga tonalidades más brillantes y claras, mientras que la CB intensifica matices cálidos tipo capuchino.

Tabla 20. Comparaciones para  $h^*$

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Trat 2 yog CC 2%	12	141.381 <sup>a</sup>	22.9415
Ctrl yog CC 4%	12	140.416 <sup>a</sup>	22.9415
Trat 1 yog CC 4%	12	113.298 <sup>b</sup>	22.9415
Trat 2 yog CC 4%	12	111.070 <sup>b c</sup>	22.9415
Trat 1 yog CC 2%	12	101.729 <sup>b c d</sup>	22.9415
Trat 2 yog CB 4%	12	93.266 <sup>b c d e</sup>	22.9415
Ctrl yog CB 4%	12	91.464 <sup>c d e f</sup>	22.9415
Trat 1 yog CB 4%	12	91.308 <sup>c d e f</sup>	22.9415
Trat 2 yog CB 2%	12	84.323 <sup>d e f</sup>	22.9415
Trat 1 yog CB 2%	12	80.035 <sup>e f</sup>	22.9415
Ctrl yog CC 2%	12	76.770 <sup>e f</sup>	22.9415
Ctrl yog CB 2%	12	72.359 <sup>f</sup>	22.9415

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes



El color es un atributo determinante en la aceptabilidad sensorial del yogur, ya que influye en la percepción de frescura, naturalidad y calidad del producto. En el presente estudio el yogur adicionado con emulsión de cascarilla de café mostro variaciones significativas en los parámetros de color ( $L$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) en función de la concentración de emulsión.

Los tratamientos con mayor contenido 4% presentaron valores menores, es decir un color más oscuro, junto con un aumento en el componente de  $a^*$  (tendencia rojiza) y una disminución del valor de  $b^*$  (tonalidades amarillas), lo que evidencia que la incorporación de la cascarilla confiere una coloración más intensa al producto. Estos resultados concuerdan con la naturaleza de los pigmentos y compuestos polifenólicos presentes en el café, los cuales poseen un tono marrón característico que se intensifica con la concentración de la emulsión.

De manera complementaria, el estudio de Reina *et al.* (2019), titulado Elaboración y caracterización fisicoquímica de yogur con adición de maracuyá (*Passiflora edulis Sims*), reporto un comportamiento distinto en los parámetros de color. En dicho trabajo, la adición de pulpa de maracuyá aumentó significativamente los valores de  $L$  y  $b^*$ , mientras que los valores de  $a^*$  permanecieron estables o ligeramente negativos, lo que indica una tendencia hacia tonos amarillentos claros. Este efecto se atribuye a la presencia de carotenoides naturales de maracuyá, responsables de las tonalidades amarillas y naranjas que se intensifican con la concentración del fruto.

Al comparar ambos estudios se evidencia que la dirección de cambio en los parámetros de color depende directamente del tipo de pigmentos predominantes en el aditivo empleado. En el caso del maracuyá, los carotenoides y flavonoides contribuyen a una coloración más brillante y cálida, mientras que en la cascarilla de café los polifenoles y melanoidinas confieren un tono más oscuro y opaco. Ambos fenómenos son deseables dentro del desarrollo de alimentos funcionales,

pues ofrecen alternativas naturales de coloración que reflejan la identidad del ingrediente empleado.

El uso de emulsiones de cascarilla de café permite obtener yogures con tonalidades marrones intensas asociadas a productos artesanales y ricos en antioxidantes, mientras que el maracuyá aporta luminosidad y un aspecto más fresco y frutal. Estas diferencias dependen que la elección del colorante natural puede orientarse según el perfil sensorial buscado, ya sea colores oscuros para resaltar características de productos fortificados y colores brillantes para yogures frutales con alta aceptación visual.

#### 5.4. Digestión *in vitro* y liberación de compuestos fenólicos

Se evaluó la liberación de compuestos bioactivos mediante un modelo de simulación *in vitro* de digestión dividido en cuatro fases extracto, gástrica, intestinal y ebullición, además de una fase final acumulada. En la simulación las formulaciones con mayor emulsión liberaron una mayor cantidad de compuestos fenólicos que son benéficos para la salud. En la fase intestinal, el CC 4% liberó 280 mg de GAE/100g, en cambio, el CB 2% solamente liberó 150 mg de GAE/100g.

Esto evidencia que la emulsión no solo contribuye a la preservación de estos compuestos, sino que también potencia su accesibilidad para que el cuerpo pueda absorberlos. Así, los yogures con mayor emulsión podrían clasificarse como alimentos funcionales con una mayor cantidad de antioxidantes.

En la tabla 21 en la fase extracto se observa que los tratamientos Trat 2 yog CC 2% y Trat 2 yog CB 2% presentaron las mayores concentraciones de compuestos fenólicos de 17.52 y 17.33 mg GAE/100g, respectivamente. Esto sugiere que, en la etapa inicial, los tratamientos con menor concentración de emulsión retuvieron mejor los compuestos.

Tabla 21. Comparaciones para la fase extracto de digestión *in vitro*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Trat 2 yog CC 2%	12	17.524 <sup>a</sup>	4.5480
Trat 2 yog CB 2%	12	17.333 <sup>a</sup>	4.5480
Ctrl yog CB 4%	12	15.701 <sup>a b</sup>	4.5480
Ctrl yog CC 2%	12	14.279 <sup>a b</sup>	4.5480
Trat 2 yog CC 4%	12	14.110 <sup>a b</sup>	4.5480
Trat 1 yog CB 4%	12	12.877 <sup>a b c</sup>	4.5480
Ctrl yog CB 2%	12	11.479 <sup>a b c d</sup>	4.5480
Trat 1 yog CC 4%	12	9.222 <sup>b c d</sup>	4.5480
Trat 2 yog CB 4%	12	8.804 <sup>b c d</sup>	4.5480
Ctrl yog CC 4%	12	5.926 <sup>c d</sup>	4.5480
Trat 1 yog CB 2%	12	5.704 <sup>c d</sup>	4.5480
Trat 1 yog CC 2%	12	4.716 <sup>d</sup>	4.5480

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En contraste, formulaciones como Trat 1 yog CC 2% de 4.71 mg mostraron valores significativamente más bajos. Esto puede explicarse porque en etapas iniciales la liberación depende de la solubilidad de los compuestos y no tanto de la protección estructural de la emulsión.

En la tabla 22 durante la fase gástrica, el Trat 1 yog CB 2% alcanzó la mayor liberación de 25.50 mg, destacando significativamente sobre los demás. Esto indica que la cascarilla de papaya en baja concentración interactúa de manera favorable con el pH ácido y las enzimas gástricas, liberando más compuestos. Por el contrario, los tratamientos con alta emulsión como Trat 1 yog CC 4% y Ctrl yog CC 4% presentaron liberaciones mínimas de 3.35 y 5.67 mg, lo que sugiere que una emulsión más densa podría retardar la liberación en esta fase.

Tabla 22. Comparaciones para la fase gástrica de digestión *in vitro*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Trat 1 yog CB 2%	12	25.505 <sup>a</sup>	6.4550
Ctrl yog CB 4%	12	16.909 <sup>b</sup>	6.4550
Trat 2 yog CB 2%	12	16.145 <sup>b c</sup>	6.4550
Trat 2 yog CC 2%	12	15.702 <sup>b c</sup>	6.4550
Trat 1 yog CC 2%	12	13.275 <sup>b c</sup>	6.4550
Ctrl yog CB 2%	12	12.198 <sup>b c d</sup>	6.4550
Trat 2 yog CB 4%	12	10.772 <sup>c d e</sup>	6.4550
Trat 2 yog CC 4%	12	6.526 <sup>d e f</sup>	6.4550
Ctrl yog CC 2%	12	6.273 <sup>d e f</sup>	6.4550
Ctrl yog CC 4%	12	5.677 <sup>e f</sup>	6.4550
Trat 1 yog CB 4%	12	5.405 <sup>e f</sup>	6.4550
Trat 1 yog CC 4%	12	3.350 <sup>f</sup>	6.4550

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 23 la fase intestinal es importante porque es donde ocurre la mayor absorción de compuestos. Aquí el Trat 2 yog CB 4% registró el valor más alto de 33.96 mg, seguido de cerca por Trat 2 yog CB 2% de 31.09 mg. Esto confirma que los tratamientos con CB favorecen la liberación en condiciones intestinales. Los valores más bajos se dieron en los controles con CC (Ctrl yog CC 2% y 4%), evidenciando que la CB tiene mayor biodisponibilidad intestinal.

Tabla 23. Comparaciones para la fase intestinal de digestión in vitro

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Trat 2 yog CB 4%	12	33.961 <sup>a</sup>	10.2246
Trat 2 yog CB 2%	12	31.098 <sup>a</sup>	10.2246
Trat 2 yog CC 2%	12	28.293 <sup>ab</sup>	10.2246
Trat 1 yog CB 2%	12	21.411 <sup>abc</sup>	10.2246
Trat 2 yog CC 4%	12	16.368 <sup>bcd</sup>	10.2246
Ctrl yog CB 4%	12	16.049 <sup>bcd</sup>	10.2246
Trat 1 yog CC 4%	12	11.184 <sup>cd</sup>	10.2246
Trat 1 yog CC 2%	12	10.708 <sup>cd</sup>	10.2246
Ctrl yog CC 4%	12	10.274 <sup>cd</sup>	10.2246
Ctrl yog CB 2%	12	7.834 <sup>cd</sup>	10.2246
Trat 1 yog CB 4%	12	5.521 <sup>d</sup>	10.2246
Ctrl yog CC 2%	12	3.360 <sup>d</sup>	10.2246

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 24 la fase de ebullición, los resultados fueron más homogéneos. Los tratamientos con CB y CC al 2% (Ctrl, Trat 1 y Trat 2) presentaron los valores más altos de 19.5 mg, mientras que los tratamientos con 4% se ubicaron en valores menores de 17.6 – 17.8 mg.

Tabla 24. Comparaciones para la fase de ebullición de digestión in vitro

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 2%	12	19.603 <sup>a</sup>	0.9462
Trat 2 yog CB 2%	12	19.533 <sup>a</sup>	0.9462
Trat 1 yog CB 2%	12	19.483 <sup>a</sup>	0.9462
Trat 2 yog CC 2%	12	19.463 <sup>a</sup>	0.9462
Trat 1 yog CC 2%	12	19.423 <sup>a</sup>	0.9462
Ctrl yog CC 2%	12	19.333 <sup>b</sup>	0.9462
Ctrl yog CB 4%	12	17.813 <sup>c</sup>	0.9462
Trat 2 yog CB 4%	12	17.753 <sup>c</sup>	0.9462
Trat 1 yog CB 4%	12	17.683 <sup>c</sup>	0.9462
Trat 2 yog CC 4%	12	17.623 <sup>c</sup>	0.9462
Trat 1 yog CC 4%	12	17.603 <sup>c</sup>	0.9462
Ctrl yog CC 4%	12	17.543 <sup>d</sup>	0.9462

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Esto indica que la ebullición, usada para inactivar enzimas, favorece más a formulaciones con menor emulsión, probablemente porque los compuestos quedan más accesibles al no estar encapsulados en exceso.

En la tabla 25 En la fase completa, los mejores resultados se observaron en los tratamientos Ctrl yog CB 2% y Trat 1 yog CB 2% de 26.4 mg, seguidos de cerca por el Trat 2 yog CB 2%. Esto refleja que, en el proceso digestivo completo, las formulaciones con cascarilla pergamino al 2% mostraron una liberación más equilibrada y constante de compuestos fenólicos. En contraste, los tratamientos con cascarilla CC al 4% tuvieron los valores más bajos de 22.7 – 22.9 mg, lo que indica que el exceso de emulsión puede limitar la biodisponibilidad final.

Tabla 25. *Comparaciones para la fase completa de digestión in vitro*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Ctrl yog CB 2%	12	26.427 <sup>a</sup>	1.5376
Trat 1 yog CB 2%	12	26.417 <sup>a</sup>	1.5376
Trat 2 yog CB 2%	12	26.377 <sup>a</sup>	1.5376
Ctrl yog CC 2%	12	25.727 <sup>b</sup>	1.5376
Trat 2 yog CC 2%	12	25.707 <sup>b</sup>	1.5376
Trat 1 yog CC 2%	12	25.677 <sup>b</sup>	1.5376
Trat 1 yog CB 4%	12	23.647 <sup>c</sup>	1.5376
Ctrl yog CB 4%	12	23.537 <sup>c</sup>	1.5376
Trat 2 yog CB 4%	12	23.467 <sup>c</sup>	1.5376
Trat 2 yog CC 4%	12	22.967 <sup>d</sup>	1.5376
Ctrl yog CC 4%	12	22.797 <sup>d</sup>	1.5376
Trat 1 yog CC 4%	12	22.777 <sup>d</sup>	1.5376

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los resultados obtenidos en el presente estudio con yogur adicionado con emulsión de cascarilla de café demuestran que la digestión *in vitro* tuvo un efecto positivo sobre la liberación de compuestos fenólicos. En particular, los tratamientos con mayor concentración de emulsión de 4% alcanzaron valores superiores de fenoles totales en la fase intestinal en comparación con los tratamientos al 2%. Estos hallazgos sugieren que la emulsión no solo protege los compuestos durante el transito gastrointestinal, sino que también favorece a su accesibilidad intestinal incrementando el potencial absorbible y por tanto el efecto antioxidante.

De forma complementaria la investigación de Gonzales Montiel (2023) sobre emulsiones con extractos de propóleos mostro que, a pesar de la susceptibilidad natural de los compuestos

fenólicos a degradarse bajo condiciones gastrointestinales simuladas, el proceso de emulsificación fue determinante para preservar su bioactividad. Durante los 77 días de almacenamiento el contenido de fenoles y flavonoides, así como la actividad antioxidante, no presentaron diferencias significativas lo que indica que la emulsión actuó como mecanismo protector eficaz, asegurando la estabilidad y conservación de los compuestos bioactivos frente el proceso digestivo. Al comparar ambos estudios, se observa una diferencia fundamental en el efecto de la emulsificación sobre los compuestos bioactivos. En el caso de la cascarilla de café, la emulsión potencia la liberación intestinal de compuestos fenólicos incrementando la biodisponibilidad de los antioxidantes. En cambio, en las emulsiones de propoleos, el beneficio principal radica en la estabilidad el sistema emulsificador evitó pérdidas durante la digestión y el almacenamiento sin evidenciar incrementos significativos en la liberación.

## 5.5. Viscosidad

La viscosidad es un parámetro fundamental para definir la textura, estabilidad y aceptación sensorial del yogur. Los tratamientos que incorporaron mayor emulsión resultaron significativamente más espesos Trat 1 CC 4% llegó a 39.87 cP y CC 4% a 39.38 cP, comparado a CB 2% con 33.52 cP y CC 2% con 33.54 cP. Esto implica que la presencia de maltodextrina y cera de abeja en la formulación de la emulsión ayudó a crear un yogur más suave y con menos líquido disminuyendo la sinéresis. Además, la cascarilla café aportó una mayor estabilidad, impidiendo la división del suero y preservando una textura más consistente. En la tabla 26 se muestran las comparaciones de viscosidad.

Tabla 26. *Comparaciones de viscosidad*

Tratamiento	N	Media	$\sigma$
Trat 1 yog CC 4%	12	39.878 <sup>a</sup>	2.7238
Trat 2 yog CC 4%	12	39.388 <sup>a</sup>	2.7238
Ctrl yog CC 2%	12	33.548 <sup>a</sup>	2.7238
Ctrl yog CB 2%	12	33.528 <sup>a</sup>	2.7238
Trat 2 yog CC 2%	12	33.468 <sup>a</sup>	2.7238
Trat 1 yog CB 2%	12	33.098 <sup>a</sup>	2.7238
Trat 1 yog CC 2%	12	33.068 <sup>a</sup>	2.7238
Trat 2 yog CB 2%	12	33.048 <sup>a</sup>	2.7238
Ctrl yog CC 4%	12	32.638 <sup>a</sup>	2.7238
Ctrl yog CB 4%	12	32.548 <sup>a</sup>	2.7238
Trat 2 yog CB 4%	12	31.998 <sup>a</sup>	2.7238
Trat 1 yog CB 4%	12	31.398 <sup>a</sup>	2.7238

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En este sentido los resultados de la investigación con emulsión de cascarilla de café muestran que la viscosidad aumentó de manera significativa conforme se incrementó la concentración de emulsión, alcanzando valores de hasta 31.00 cP en el tratamiento con CC al 4%, mientras que los tratamientos con adición al 2% presentaron valores menores, en el rango de 18.00 – 20.00 cP. Este comportamiento evidencia la influencia de los compuestos de la cascarilla,



principalmente la fibra y polifenoles que al interactuar con la matriz proteica del yogur generando una estructura más densa y cremosa.

A comparación en el estudio de Salcedo (2024) con adición de pulpa de mashua al yogur hipo graso, se reportaron valores de viscosidad entre 1.08 y 1.15 cP con diferencias significativas entre los tratamientos. Estos valores considerablemente menores obtenidos en la investigación se explican por la naturaleza distinta de la materia prima, la mashua aporta almidones y azúcares reductores que favorecen la estabilidad del sistema, pero no genera un efecto espesante tan marcado como el observado con la cascarilla de café rica en fibra insoluble.

La comparación entre ambos estudios dispone que la elección de la materia prima determina en gran medida el comportamiento de viscosidad del yogur. Mientras la pulpa de mashua actúa como ingrediente funcional que mejora el perfil nutricional y la capacidad bioactiva con un impacto moderado en viscosidad, la cascarilla de café además de enriquecer el yogur en compuesto bioactivos confiere un efecto espesante notable que puede favorecer la percepción sensorial de cremosidad, atributo deseable en productos lácteos.

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación evidenció que la cascarilla de café, ya sea cascarilla pergamino o película plateada, puede utilizarse como materia prima para la formulación de una emulsión con extracto de café, con la posibilidad de ser utilizada como componente funcional en el yogur natural. Los resultados obtenidos mostraron que la incorporación de la emulsión tuvo un impacto directo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del yogur durante un periodo de 28 días de conservación.

Respecto al color, los tratamientos con CC mostraron valores de  $L^*$  inferiores, lo que señala un tono más oscuro y matices más rojizos y amarillos en contraste con la CB. Además, durante la digestión *in vitro*, la emulsión favoreció la liberación de compuestos fenólicos, registrándose en CC 4%, prácticamente la doble que en CB 2%, lo que subraya el potencial antioxidante de la emulsión. Finalmente, se observó un aumento en la viscosidad, especialmente notable en los tratamientos con CC, lo cual contribuyó a tener mayor cuerpo y estabilidad en el yogur.

Se demuestra que la emulsión de extracto y cascarilla de café es estable y funcional, optimizando las propiedades fisicoquímicas, la textura y la biodisponibilidad de los componentes bioactivos del yogur. Este trabajo ofrece una opción innovadora para revalorar un residuo agroindustrial, fomentando la economía circular, la disminución de residuos y la creación de alimentos funcionales con propiedades antioxidantes.

No obstante, se identificaron limitaciones, ya que los ensayos se realizaron en condiciones controladas de laboratorio, lo que no refleja completamente el comportamiento del producto bajo

condiciones reales de consumo o distribución. Además, no se evaluó la aceptación sensorial del yogur, aspecto fundamental para determinar su viabilidad comercial.

Como proyección, se sugiere realizar estudios *in vivo* que validen la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos y confirmen los beneficios antioxidantes detectados *in vitro*. Así mismo, incorporar evaluaciones sensoriales permitirá conocer la aceptación del consumidor y optimizar la formulación. En el ámbito práctico, la emulsión tiene potencial de aplicarse no solo en yogur, sino también en otros sistemas alimentarios, ofreciendo una alternativa sostenible e innovadora para revalorizar un residuo agroindustrial, generando valor agregado y contribuir al desarrollo de alimentos funcionales con impactos en el medio ambiente.

## CAPITULO VII. REFERENCIAS

- Aboites, M. C. (2020). Producción y Comercialización de Café en el Libre Mercado: Los Pequeños Productores en La Sombra Municipio de Chiconquiaco. Veracruz. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Tesis Doctoral.
- Asencio Grau, A., Calvo Lerma J., Heredia Gutiérrez A., & Andrés Grau A., (2021). Simulación *in vitro* de la digestión gastrointestinal de los alimentos recuperado el 21 de mayo del 2025 de <http://hdl.handle.net/10251/15844>
- Aserin, A (2008). Multiple Emulsions: Technology and Applications. Editorial John Wiley & Sons, Hoboken, Nueva Jersey, EE. UU.
- Babio, N., Mena Sánchez, G., & Salas Salvadó, J. (2017). Más allá del valor nutricional del yogur: ¿un indicador de la calidad de la dieta? *Nutrición Hospitalaria*, 34 (Supl. 4), 26-30. Recuperado en 10 de julio de 2025, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S021216112017001000006&lng=es&tlng=e](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S021216112017001000006&lng=es&tlng=e)s.
- Bautista B., Ocampo R., Falcon R., & Henriquez J. (2018). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *Ciencias Tecnológicas Agropecuarias.*, 94-105. Recuperado el 21 de mayo de 2025, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93241559008>
- Baled, O., Gamwo, I., Enick, R., & McHugh M. (2018). Viscosity models for pure hydrocarbons at extreme conditions: A review and comparative study. *Fuel* vol 218, (2018) 89–111. Recuperado el 30 de abril de 2025 de <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.002>
- Belščak Cvitanović, A., Komes D., Dujmović M., Karlović S., Biškić M., Brnčić M., & Ježek D. (2015). Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*, 167, 61–70. Recuperado el 18 de febrero 2025, de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064>
- Calva Quintana, A. (2021). Estabilidad de betalainas (betacianinas y betaxantinas) encapsuladas en emulsiones obtenidas con surfactantes naturales y métodos de alta energía. Recuperado el 21 de julio 2025, de <http://repositorio.uach.mx/id/eprint/376>
- Castillo Martinez, J. P. (2024). Análisis estadístico de la estabilidad fisicoquímica de tres emulsiones de aloxano. Tesis de doctorado. Recuperado el 21 de julio 2025, de <https://www.uv.mx/eme/files/2012/11/Tesis-Especialidad-Juan-Pablo-Martinez-Castillo.pdf>
- Costa, M. F., Pimentel, T. C., Guimaraes, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Cavalcanti, R. N., & Cruz, A. G. (2019). Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. *LWT*, 105, 371- 376. Recuperado el 21 de mayo 2025 de: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.007>
- Chabot, G. G., Touil, Y. S., Pham, M. H., & Dauzonne, D. (2010). Flavonoids in Cancer Prevention and Therapy: Chemistry, Pharmacology, Mechanisms of Action, and Perspectives for Cancer Drug Discovery. *Alternative and Complementary Therapies for Cancer: Integrative Approaches and Discovery of Conventional Drugs*, 583–612. Recuperado el 19 de abril de 2025, de [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0020-3\\_23](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0020-3_23)

- Chatsisvili, N. T., Amvrosiadis, I., & Kiosseoglou, V. (2012). Propiedades fisicoquímicas de una emulsión o/w de tipo apósito influenciada por la incorporación de fibra de pulpa de naranja. *LWT - Food Sci Technol.* Elsevier Ltd; abril de 2012; 46(1):335-40. Recuperado el 18 de febrero de 2025, de [https://www.researchgate.net/publication/251483745\\_Physicochemical\\_properties\\_of\\_a\\_dressing-type\\_ow\\_emulsion\\_as\\_influenced\\_by\\_orange\\_pulp\\_fiber\\_incorporation](https://www.researchgate.net/publication/251483745_Physicochemical_properties_of_a_dressing-type_ow_emulsion_as_influenced_by_orange_pulp_fiber_incorporation)
- Cho, W. Y., Kim, D. H., Lee, H. J., Yeon, S. J., & Lee, C. H. (2020). Quality characteristic and antioxidant activity of yogurt containing olive leaf hot water extract. *CYTA: journal of food*, 18(1), 43- 50. Recuperado el 06 de marzo 2025, de <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1640797>
- Daryanavard, H., Postiglione, A. E., Mühlemann, J. K., & Muday, G. K. (2023). Flavonols modulate plant development, signaling, and stress responses. *Current opinion in plant biology*, 72, 102350. Recuperado el 09 de julio de 2025, de <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102350>
- De la Rosa Reyna, X. F., García León, I., Hernández Mendoza, J., Morales Baquera, J., & Quiroz Velásquez, J. D. C. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. *Revista Boliviana de Química*, 39(5), 1-9. Recuperado el 20 de julio de 2025, de <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.5.1>
- Dey, T. (2012). Book Review. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 33(6), 928–932. Recuperado el 13 de mayo de 2025, de <https://doi.org/10.1080/01932691.2011.584482>
- Estefes J. A. (2020). Estabilidad de compuestos bioactivos y actividad antidiabética *In Vitro* de un extracto de xoconostle encapsulado dentro de emulsiones dobles de tipo agua en aceite en agua (W1/O/W2). Recuperado el 19 de mayo 2025, de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/handle/231104/3780>
- Estrada Arias, K. S. (2013). Estudio de la liberación de antocianinas y otros compuestos fenólicos de maíz morado desde el interior de una emulsión doble W1/O/W2 y determinación del coeficiente de difusión (Master's thesis, Universidad Iberoamericana Ciudad de México. Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas). Recuperado el 14 de mayo 2025 de: <https://ri.ibero.mx/bitstream/handle/ibero/550/015715s.pdf?sequence=1>
- Feng, J., Lu, Z., Ya, L., & Han, C. (2016). Pinus massoniana Bark Extract: StructureActivity Relationship and Biomedical Potentials. *Am J Chin Med.* 2016;44(8):1- 19. Recuperado el 18 de mayo de 2025, de <https://doi.org/10.1002/ptr.7850>
- Fonseca García, L., Calderón Jaimes, L., & Rivera, M. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de Santander (Colombia), *Vitae*, 21(3), 228-236. Recuperado el 14 de Febrero de 2025, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-40042014000300008&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042014000300008&lng=en&tlng=es)
- García Rodríguez, M. C., Valle Castillo, G. A., & Hernández Cortés, L. M. (2023). Antigenotoxicidad de la isoflavona de soya genisteína en ratones expuestos a compuestos cancerígenos del cromo hexavalente. *Nutrición Hospitalaria*, 40(1), 151-159. Recuperado l 21 de mayo de 2025, de <https://dx.doi.org/10.20960/nh.04163>
- Gilbert, A., Rioux, L. E., St Gelais, D., & Turgeon, S. (2020). Studying stirred yogurt microstructure using optical microscopy: How smoothing temperature and storage time affect microgel size related to syneresis. *Journal of Dairy Science*, 103. Recuperado el 25 de abril de: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16787>
- González Montiel, L. G. (2023). Evaluación de compuestos bioactivos y propiedades funcionales durante la digestión in vitro simulada de emulsiones con extractos de propóleos [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo].

- Heredia Gutiérrez, A. B., Asensio Grau, A., Calvo Lerma, J., & Andrés Grau, A. M. (2021). Simulación *in vitro* de la digestión gastrointestinal de alimentos. Recuperado el 21 de junio de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/158446>
- Huanca Mamani, D. A., Quiroga Sossa, M. L., & Ticona Huanca, E. F. (2023). Evaluación fisicoquímica y sensorial del helado con tres niveles de yogurt y suero de leche bovina. *Cibum Scientia*, 1(1), 1–10. Recuperado el 16 de agosto de 2025 de: <https://cibumscientia.umsa.bo/index.php/1/article/view/45/47>
- Iqbal, M., Zafar, N., Fessi, H., & Elaissari, A. (2015). Double emulsion solvent evaporation techniques used for drug encapsulation. *International journal of pharmaceutics*, 496(2), 173–190. Recuperado el 06 de marzo de 2025, de <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.10.057>
- Kumar, R., Kumar, M., & Mahadevan, N., (2012). *International Journal of Recent Advances in Pharmaceutical Research*, 2012, 2, 9-19.
- Liu, H., Liu, J., Lv, Z., Yang, W., Zhang, C., Chen, D., & Jiao, Z. (2019). Effect of dehydration techniques on bioactive compounds in hawthorn slices and their correlations with antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2446-2457. Recuperado el 14 de mayo 2025 de: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03720-x>
- León, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leon, J. (2006). Color measurement in L\* a\* b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091. Recuperado el 10 de mayo 2025 de: [doi:10.1016/j.foodres.2006.03.006](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006)
- León, R. A. H., & González, S. C. (2020). *El paradigma cuantitativo de la investigación científica*. Editorial Universitaria (Cuba).
- Mañas Almendros, M., Martínez de Victoria Muñoz, E., & Yago Torregrosa, M. D. (2017). Tomo II Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. En A. Gil Hernández (Ed.), *Tratado de Nutrición* (3ra ed., p. 783). Medica Panamericana S.A. Recuperado el 22 de julio 2025 de: <https://www.medicapanamericana.com/co/libro/tratado-de-nutricion-tomo-3>
- Martínez, M. L., Curti, M. I., Roccia, P., Llabot, J. M., Penci, M. C., Bodoira, R. M., & Ribbota, P. D. (2015). “Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying,” *Powder Technol.*, vol. 270, no. Part A, pp. 271–277, Jan. 2015. Recuperado el 18 de febrero 2025, de <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>
- Minekus, M., Alming, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., ... Brodtkorb, A. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113–1124. Recuperado el 21 de junio 2025, de <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>
- Motta, L. F., Correa, G. V., & Cezário, S. P. D. S. (2023). Análise Farmacocinética e Toxicológica in silico para Derivados de Flavonas. *OPEN SCIENCE RESEARCH X*. Editora Científica Digital, 175-191.
- Mo Y; Nagel C; Taylor LP. Biochemical complementation of chalcone synthase mutants defines a role for flavonols in functional pollen. *Proc Natl Acad Sci*. 2002; 89 (7): 213-234
- Norma Oficial Mexicana NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, Yogur Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba.
- Official Methods of Analysis. (2005). A.O.A.C. international. AOAC Official Methods, 18.
- Ortiz Domínguez, M., & Cruz Avilés, A. (2022). Viscosidad de un fluido. *Ingenio Y Conciencia Boletín Científico De La Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 9(17), 77-84. Recuperado el 17 de febrero 2025 de: <https://doi.org/10.29057/escs.v9i17.7893>

- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed., pp. 219–234). Cenicafé. Recuperado el 18 de marzo 2025 de: [https://doi.org/10.38141/10791/0014\\_12](https://doi.org/10.38141/10791/0014_12)
- Pacheco, F., Peraza, M., & Pinto, I. (2021). Flavonoides: micronutrientes con amplia actividad biológica. *Revista de la Facultad de Medicina*, 44(1), 122-140.
- Pajouhandeh, A., Kavousi, A., Schaffie, A., & Ranjbar, M. (2016). Towards a Mechanistic Understanding of Rheological Behaviour of Water-in-Oil Emulsion: Roles of nanoparticles, water volume fraction and aging time. *South African Journal of Chemistry* vol 69, (2016) 113-123.
- Puerta, G. I. (2013). Composición química de una taza de café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Quispe Tello, J. R. (2023). Evaluación estadística de la viscosidad del yogurt hipograso con adición de pulpa de mashua [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Recavarren Rios, E. (2024). Optimización de una mezcla y estabilización en la producción del licor crema de aguaje (Mauritia flexuosa). Recuperado el 22 de julio 2025 de: <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2873>
- Reina, A. M., Cortés, A. F., Rodríguez, M. A., & Nieto, J. M. (2019). Elaboración y caracterización fisicoquímica de yogur con adición de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), e1145. Recuperado el 16 de agosto de 2025 de: <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1145>
- Rodríguez Yunta, E. (2007). Ética de la investigación en modelos animales de enfermedades humanas. In *Acta bioethica* (Vol. 13, pp. 25–40). scielocl.
- Romo González, L. G. (2023). Desarrollo de emulsiones multicapa con curcumina y su efecto en las características fisicoquímicas del yogurt [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León].
- Ruiz Canizalez, J. (2021). Emulsiones como coadyuvantes de la absorción y actividad antioxidante celular de compuestos bioactivos de cáscara de mango ataulfo. Reuperado el 20 de junio 2025 de: <http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/1363>
- Ruiz Rodríguez, L. G., Mendoza, L. M., Van Nieuwenhove, C. P., Pescuma, M., & Mozzi, F. B. (2020). Fermentación de jugos y bebidas a base de frutas; Instituto Danone; 2020; 273-296. Recuperado el 19 de mayo 2025 de: <http://hdl.handle.net/11336/120385>
- Salama, H. H., El Sayed, H. S., Kholif, A. M. M., & Edris, A. E., (2021). Essential oils nanoemulsion for the flavoring of functional stirred yogur: Manufacturing, physicochemical, microbiological, and sensorial investigation. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Recuperado el 18 de abril 2025 de: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.10.001>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Recuperado el 08 de noviembre del 2024 de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sefton, E., Sinton D. (2010). Evaluation of selected viscosity prediction models for water in bitumen emulsions. *Journal of Petroleum Science and Engineering* vol 72, (2010) 128–133.
- Stamenković, Z., Pavkov, I., Radojčin, M., Tepić Horecki, A., Kešelj, K., Bursać Kovačević, D., & Putnik, P. (2019). Convective Drying of Fresh and Frozen Raspberries and Change of Their Physical and Nutritive Properties. *Foods*, 8(7), 251. Recuperado el 18 de abril 2025 de: <https://doi.org/10.3390/foods8070251>
- Soriano Almiñana, A. (2020). Ácidos fenólicos como agentes antibacterianos en el desarrollo de materiales activos para el envasado de alimentos. Recuperado el 16 de abril 2025 de: <http://hdl.handle.net/10251/149348>

- Soquetta, M., Terra, L., & Bastos, C. (2018). Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables, *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 400-412 (2018). Recuperado el 19 de marzo 2025 de: <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>.
- Tiwari, S., Kavitha, D., Devi, P. B., & Halady Shetty, P. (2021). Bacterial exopolysaccharides for improvement of technological, functional and rheological properties of yoghurt. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1585- 1595. Recuperado el 11 de mayo 2025 de: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.140>
- Thompson, J. L., Lopetcharat, K., & Drake, M. A. (2007). Preferences for Commercial Strawberry Drinkable Yogurs Among African American, Caucasian, and Hispanic Consumers in the United States. *Journal of Dairy Science*, 90(11), 4974- 4987. Recuperado el 14 de marzo 2025 de: <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2007-0313>
- Vargas Sánchez, R. D., Torres Martínez, B. del M., Torrescano Urrutia, G. R., & Sánchez-Escalante, A. (2023). Utilización del extracto acuoso de cascarilla de café para mejorar la estabilidad oxidativa de homo-genizados de carne de cerdo: Extracto acuoso de cascarilla de café. *Biotechnia*, 26, e2128. Recuperado el 14 de abril 2025 de: <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26.2128>
- Wang, X., Yong, H., Gao, L., Li, L., Jin, M., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant and pH-sensitive films based on chitosan and black soybean seed coat extract. *Food Hydrocolloids*, 89, 56–66. Recuperado el 19 de mayo 2025 de: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.019>
- Williamson, G., Sies, H., Heber, D., Keen, CL., Macdonald, IA., & Actis Goretti L. (2009). Functional foods for health promotion: state-of-the-science on dietary flavonoids. Extended abstracts from the 12th Annual Conference on Functional Foods for Health Promotion, April 2009. *Nutr Rev*. 2009; 67:736-743.
- Zabaiou, N., Fouache, A., Trousson, A., Baron, S., Zellagui, A., Lahouel, M., & Lobaccaro, J. A. (2017). Biological properties of propolis extracts: Something new from an ancient product. *Chemistry and physics of lipids*, 207, 214-222. Recuperado el 26 de mayo 2025 de: [doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2017.04.005](https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2017.04.005).
- Zarco Monroy, S. G., Rodríguez Alfaro, R. H., Franco Fernández, M. J., González Tenorio, R., Pelcastre Islas, M. & Pérez Soto, E. (2025). EVALUATION OF THE FIBER AND PHENOL CONTENT OF COFFEE HUSK. *Revista de Gestión Social e Ambiental*. Recuperado el 22 de agosto de 2025 de: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n3-121>



## CAPITULO VIII. ANEXOS

### 8.1. Fichas técnicas de equipos utilizados

Nombre del equipo	Baño maría con agitador horizontal	
Marca	SCORPION SCIENTIFIC	
Modelo	A50651	
No. de serie	250610	
Nombre del equipo	Espectrofotómetro UV/VIS	
Marca	TECHNE JENWAY	
Modelo	6715	
No. de serie	-----	
Nombre del equipo	Medidor de °Brix	
Marca	Atago	
Modelo	Palette PR-301ª digital	
No. de serie	-----	
Nombre del equipo	Potenciómetro	
Marca	Hanna	
Modelo	checker's	
No. de serie	HI98103	
Nombre del equipo	Colorímetro	
Marca	3nh	
Modelo	NR110	
No. de serie	1105815	
Nombre del equipo	Vortex	
Marca	THERMO SCIENTIFIC	
Modelo	M327615	
No. de serie	C1861111049214	
Nombre del equipo	Viscosímetro	
Marca	AND VISCOMETER	
Modelo	SV – 10	
No. De serie	RS-232C	

## 8.2. Imágenes tomadas

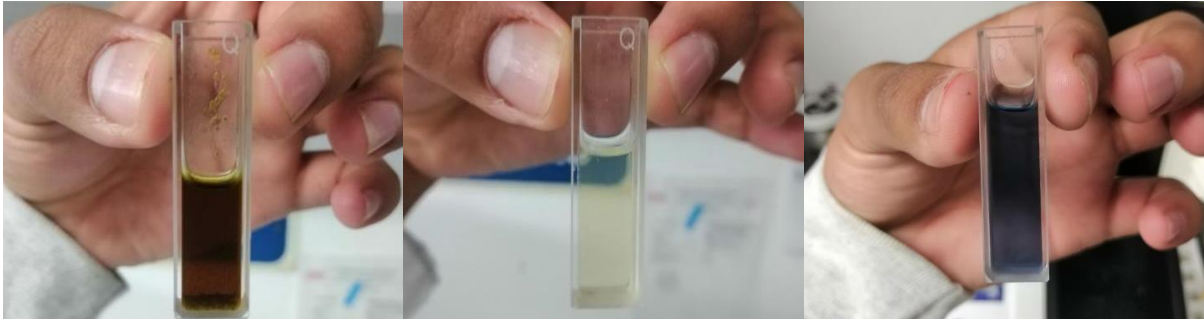


Figura 26. Muestras de fenoles.



Figura 27. Cascarilla pergamino (izquierda) y película plateada (derecha).



Figura 28. Vivero de cerezo de café (izquierda) y cereza de café (derecha).



Figura 29. *Café verde (izquierda) y café tostado (derecha).*

### 8.3. Importancia científica y social de la investigación

Esta investigación posee una relevancia científica significativa, ya que contribuye al conocimiento en el campo de la ingeniería agroindustrial, específicamente en el aprovechamiento de subproductos del café para la formulación de emulsiones funcionales. El estudio permite comprender el comportamiento fisicoquímico y la estabilidad de una emulsión elaborada con extracto y cascarilla de café aportando información novedosa sobre su potencial como sistema de liberación y protección de compuestos bioactivos. Desde la perspectiva científica fortalece líneas de investigación en este caso a la cual pertenezco de agroindustria sustentable del ICAp de la UAEH, con el aprovechamiento de residuos agroindustriales, temas que actualmente impulsan la innovación tecnológica en el desarrollo de alimentos funcionales y sostenibles. Así mismo esta investigación promueve el uso de metodologías de análisis como la digestión *in vitro*, fisicoquímicas y de viscosidad.

En cuanto a su importancia social, ofrece un aporte directo a la comunidad de La Sombra y si se quisiera desarrollar aún más este tema sería un aporte a comunidades cafetaleras de la región, al proponer una alternativa sustentable para el aprovechamiento de las cascarillas de café,

el aprovechamiento de este subproducto no solo reduce el impacto ecológico del beneficiado del café, sino también abre oportunidades económicas para pequeños productores al introducir un valor agregado mediante la transformación de residuos en ingredientes funcionales de una alta biodisponibilidad.

De esta manera, la investigación contribuye a la promoción de una agroindustria circular y sustentable, fortaleciendo la economía local de la región, mejorando la competitividad del sector cafetalero e incentivando prácticas agroecológicas responsables.