

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DESARROLLO DE EMULSIONES MULTICAPA CON CURCUMINA
Y SU EFECTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL
YOGURT

POR

LUISA GABRIELA ROMO GONZÁLEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN MANEJO Y APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE RECURSOS
BIÓTICOS

2023

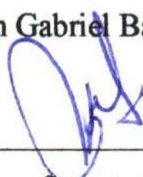
DESARROLLO DE EMULSIONES MULTICAPA CON CURCUMINA Y SU EFECTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL YOGURT

Comité de Tesis



Director de Tesis

Dr. Juan Gabriel Báez González



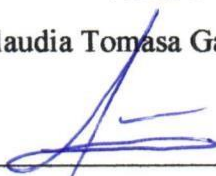
Secretario

Dra. Sandra Loruhamá Castillo Hernández



Vocal 1

Dra. Claudia Tomasa Gallardo Rivera



Vocal 2

Dr. Sergio Arturo Galindo Rodríguez



Vocal 3

Dra. Mayra Zulema Treviño Garza



SUBDIRECCIÓN
de Posgrado

Dra. Katiushka Arévalo Niño

DESARROLLO DE EMULSIONES MULTICAPA CON CURCUMINA Y SU EFECTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL YOGURT

Comité de Tesis



Director de Tesis

Dr. Juan Gabriel Báez González



Director Externo de Tesis

Dr. Gerardo Méndez Zamora

AVISO DERECHO DE AUTOR

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

AGRADACEMIENTOS

Al Dr. Juan Gabriel Báez González director de mi proyecto por su paciencia y sus recomendaciones, así como su dedicación por la culminación de este proyecto.

A la Dra. Mayra Zulema Treviño Garza por su asesoría y su tiempo invertido en mi aprendizaje.

Al Dr. Gerardo Méndez Zamora por su apoyo e interés en este proyecto.

A la M.C. Karla Guadalupe García Alanís por el apoyo para la realización de este proyecto.

Al personal del departamento de alimentos por abrirme las puertas y haberme permitido realizar mi trabajo.

Al CONACYT por el apoyo económico durante mis estudios.

DEDICATORIAS

A mi mamá por siempre creer en mí, darme ánimo y creer en todos mis sueños, sin ella nada sería posible.

A mi papá por estar siempre para mí echándome porras, haciéndome reír y creyendo en mí, sin el nada sería posible.

A mis hermanos Rose y Jorge por sus consejos, risas, palabras, ayudarme a crecer y ser un apoyo en mi vida siempre.

A Daniel por estar siempre a mi lado, por escucharme y ayudarme siempre recordándome que soy capaz.

A mis sobrinos Mayito por hacer mi vida más divertida y darme tanto amor incondicional, a Emilio por llegar a iluminar nuestras vidas y a Gaia por venir a complementar la familia.

A Melissa por su apoyo desde el inicio de mi proyecto, por siempre tener la disposición de enseñarme, por su paciencia y amistad este tiempo.

A mis compañeros del Departamento, gracias por permitirme trabajar con ustedes y por los momentos vividos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- ANTECEDENTES	3
2.1 ALIMENTOS FUNCIONALES	3
2.2 EFECTOS ANTIMICROBIANOS DE LOS EXTRACTOS NATURALES	3
2.3 INCORPORACIÓN DE EXTRACTOS NATURALES EN ALIMENTOS.....	3
2.4 EMULSIONES	4
2.4.1 Clasificación.....	4
2.4.2 Emulsiones multicapa	6
2.4.3 Formación de emulsiones.....	6
2.4.4 Estabilidad de emulsiones	7
2.4.5 Emulsiones estabilizadas con multicapas de biopolímeros	9
2.5 CÚRCUMA LONGA L.....	9
2.5.1 Composición química de la cúrcuma.....	10
2.5.2 Proceso de extracción	11
2.5.3 Degradación	11
2.5.4 Curcuminoides	12
2.5.5 Curcumina	12
2.6 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	13
2.6.1 Método ABTS ⁺	13
2.6.2 Método DPPH ⁺	13
2.6.3 Evaluación de capacidad antioxidante.....	14
2.7 EFECTO ANTIMICROBIANO DE LOS EXTRACTOS	15
2.8 EMULSIONES DE EXTRACTO DE CURCUMINA	16
2.9 YOGURT	16
2.9.1 Yogurt funcional	17
2.9.2 Aditivos naturales en yogurt.....	18
2.9.3 Uso de extractos en productos lácteos.....	18
3.- JUSTIFICACIÓN	19
4.- HIPÓTESIS	20
5.- OBJETIVO GENERAL	21
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
6.- MATERIALES Y MÉTODOS	22
6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	22
6.2 ELABORACIÓN DE EMULSIONES.....	22
Solución de quitosano al 1%.....	22
Emulsiones o/w con una fracción másica (Φ) de 0.1.....	22
Emulsión E2 con una fracción másica (Φ) de 0.2.....	22
Emulsión E3 con una fracción másica (Φ) de 0.1.....	23
6.6 ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA Y ESTABILIDAD DE EMULSIONES	23
6.7 MICROGRAFÍAS	24
6.8 ÍNDICE DE CREMADO	24
6.9 DETERMINACIÓN DE ESTABILIDAD TÉRMICA DE LAS EMULSIONES E1, E2 Y E3	24

<i>Actividad antioxidante</i>	24
6.9.1 <i>Método DPPH</i>	24
6.9.2. <i>Método ABTS</i>	25
6.10 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA EMULSIÓN.....	27
6.9.1 <i>Capacidad antioxidante de la emulsión por el método DPPH</i>	27
6.10.2 <i>Capacidad antioxidante de la emulsión por el método ABTS•⁺</i>	28
6.11 ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA CURCUMINA Y LAS EMULSIONES.....	28
6.13 ELABORACIÓN DE YOGURT.....	29
6.14 EVALUACIÓN DE PH Y ACIDEZ TITULABLE.....	30
6.15 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL YOGURT.....	30
6.16 VARIABLES DE COLOR EN YOGURT.....	31
6.17 VIABILIDAD MICROBIANA DURANTE LA VIDA DE ANAQUEL DEL PRODUCTO.....	31
6.18 EVALUACIÓN SENSORIAL.....	31
6.18 ANÁLISIS DE DATOS.....	32
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
7.1 ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES.....	33
7.1.1 <i>Tamaño de partícula y tasa de coalescencia</i>	33
7.1.2 <i>Tamaño de partícula después de tratamiento térmico</i>	36
7.1.3 <i>Índice de cremado</i>	36
7.1.3 <i>Propiedades reológicas de las emulsiones</i>	37
7.2 ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LAS EMULSIONES Y EXTRACTO.....	39
7.3 <i>Actividad antioxidante de las emulsiones</i>	41
7.3.1 <i>Actividad antioxidante de la curcumina y curcumina</i>	41
7.5 PH Y ACIDEZ EN YOGURT.....	44
7.5.1 <i>Propiedades reológicas del yogurt</i>	45
7.5.2 <i>Actividad antioxidante del yogurt</i>	46
7.6 VIABILIDAD MICROBIANA EN YOGURT.....	47
7.7 VARIABLES DE COLOR.....	49
7.8 EVALUACIÓN SENSORIAL.....	49
8. CONCLUSIONES.....	51
9.PERSPECTIVAS.....	52
10.- REFERENCIAS.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÚRCUMA	10
NATIONAL NUTRIENT DATABASE FOR STANDARD REFERENCE (2019).....	10
TABLA 2. TRATAMIENTOS ESTABLECIDOS PARA USAR EMULSIONES DE CÚRCUMA EN EL YOGURT.....	29
TABLA 3. TAMAÑO DE PARTÍCULA Y TASA DE COALESCENCIA. (MEDIA +/- D.S.).....	33
TABLA 4. DETERMINACIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LAS EMULSIONES ANTES Y DESPUÉS DE UN TRATAMIENTO TÉRMICO	36
TABLA 5. PARÁMETROS REOLÓGICOS DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA PARA LAS MUESTRAS DE EMULSIONES	38
TABLA 6. ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LAS EMULSIONES Y EXTRACTO DE CURCUMINA	40
TABLA 7. EFECTO TÉRMICO DE LA SOLUCIÓN DE CURCUMINA (EX) Y LAS EMULSIONES (E1, E2 Y E3) EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO ABTS.....	42
TABLA 8 EFECTO TÉRMICO DE LA SOLUCIÓN DE CURCUMINA (EX) Y LAS EMULSIONES (E1, E2 Y E3) EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO DPPH.	42
TABLA 9. PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEBIDO AL PROCESO TÉRMICO DE LAS EMULSIONES Y EL EXTRACTO.	43
TABLA 10. PH Y ACIDEZ TITULABLE EN YOGURT CONTROL Y YOGURT CON EMULSIÓN.	43
TABLA 11. PH Y ACIDEZ TITULABLE EN YOGURT CONTROL Y YOGURT CON EMULSIÓN.	44
TABLA 12. PARÁMETROS REOLÓGICOS DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA PARA LAS MUESTRAS DE YOGURT.....	45
TABLA 13. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR MÉTODO ABTS PARA YOGURT CONTROL Y YOGURT EMULSIÓN (DURANTE 4 SEMANAS).....	46
TABLA 14. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR MÉTODO DPPH PARA YOGURT CONTROL Y YOGURT EMULSIÓN	47
TABLA 15. VIABILIDAD MICROBIANA DEL YOGURT.....	47
TABLA 16. VALORES DE VARIABLES DE COLOR.	49
TABLA 17. EVALUACIÓN SENSORIAL MEDIANTE PRUEBA HEDÓNICA DE CINCO PUNTOS PARA TRES MUESTRAS DE YOGURT.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EJEMPLO DE UNA EMULSIÓN O / W DE ALIMENTOS (ADEREZO PARA ENSALADAS) QUE CONSISTE EN GOTAS DE ACEITE DISPERSAS EN UN MEDIO ACUOSO (MCCLEMENTS D. J., 2016).	5
FIGURA 2. EJEMPLOS DE SISTEMAS BASADOS EN EMULSIÓN QUE SE PUEDEN UTILIZAR EN ALIMENTOS: (A) EMULSIONES, (B) EMULSIONES MULTICAPA, (C) PARTÍCULAS SÓLIDAS RELLENAS, (D) MICROGRUPOS, (E) EMULSIONES MÚLTIPLES, (F) COLOIDOSOMAS, (G) PARTÍCULAS DE HIDROGEL RELLENAS Y (H) NANOEMULSIONES (MC CLEMENTES, 2016).....	6
FIGURA 3 A) PLANTA DE LA CÚRCUMA. B) FLOR, C) RIZOMA (SAIZ DE COS & PÉREZ-URRIA CARRIL, 2014).	10
FIGURA 4 ESTRUCTURA DE LA CURCUMINA FUENTE: GONZÁLEZ-ALBADALEJO ET AL. (2015).	12
FIGURA 5. HOJA DE RESPUESTAS DE NIVEL DE AGRADO	32
FIGURA 6. TAMAÑO DE PARTÍCULA PARA LAS EMULSIONES E1, E2 Y E3 CON RESPECTO AL TIEMPO	33
FIGURA 7. MICROGRAFÍAS DE LAS EMULSIONES DEL DÍA 0 AL 21.....	35
FIGURA 8. PORCENTAJE DE ÍNDICE DE CREMADO PARA LAS FORMULACIONES E1, E2 Y E3.....	37
FIGURA 9. ÍNDICE DE CREMADO DE LAS EMULSIONES DESPUÉS DE 30 DÍAS, A) E1, B) E2, C) E3.....	37
FIGURA 10. CURVA DE VISCOSIDAD DE LAS EMULSIONES	39
FIGURA 11. CURVA DE FLUJO DE LAS EMULSIONES.....	39
FIGURA 12. CURVA DE VISCOSIDAD DEL YOGURT	45
FIGURA 13 CURVA DE FLUJO DEL YOGURT.....	46
FIGURA 14. CRECIMIENTO MICROBIANO PARA YOGURT CON EMULSIÓN (YE) Y YOGURT CONTROL (YC)	48
FIGURA 15. HOJA DE RESPUESTAS PARA EVALUACIÓN SENSORIAL DE MUESTRAS DE YOGURT	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 16. PRESENTACIÓN DE MUESTRAS PARA EVALUACIÓN SENSORIAL	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 17. ACEPTACIÓN SENSORIAL DE TRES MUESTRAS DE YOGURT.	50

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

ABTS: 2, 2'-Azinobis-3-etil- benzo-tiazolina-6-acido sulfónico.

DPPH: 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo

pH: Potencial de hidrógeno

WPC: Whey Protein concentrate (Concentrado de proteína de suero)

NaOH: Hidróxido de sodio

K₂S₂O₈: Persulfato de potasio

NaCl: Cloruro de Sodio

UFC: Unidad formadora de colonia

RESUMEN

Los productos alimenticios funcionales basados en emulsiones han presentado un incremento en su consumo debido a la necesidad de la población de adquirir alimentos que otorguen un beneficio al consumirlos. El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades antioxidantes de una emulsión multicapa de curcumina con estabilidad físicoquímica en función del tiempo, y su incorporación a un yogurt para evaluar sus propiedades probióticas. Tres emulsiones (E) se realizaron utilizando agua, WPC, goma guar y quitosano para la fase acuosa y aceite de soya y curcumina para la fase oleosa en un porcentaje 80% y 20%, respectivamente. Éstas fueron denominadas E1, E2 y E3, siendo las dos últimas elaboradas con el método deposición capa por capa; tasas de coalescencia bajas se obtuvieron en el orden de 10^{-8} a 10^{-10} ; las emulsiones se comportaron como fluidos no newtonianos; la E2 presentó un mayor índice de cremado del 20%. La E3 permitió una menor pérdida de actividad antioxidante del 0.32% para ABTS y 2.50% para DPPH después de un tratamiento térmico; las tres formulaciones y el extracto de curcumina permitieron el crecimiento de las bacterias probióticas del yogurt. La E3 se adicionó en un yogurt el cual tuvo valores de actividad antioxidante mayores que el yogurt control, y se mantuvo dentro de los parámetros establecidos por la normativa oficial con valores promedio de $10 \log \text{ UFC/g}$. El yogurt con emulsión y sin emulsión fue evaluado sensorialmente en donde no existió diferencia significativa en la apreciación global de ambas muestras.

ABSTRACT

Functional food products based on emulsions have shown an increase in their consumption due to the need of the population to acquire foods that provide a benefit when consumed. The objective of this work was to evaluate the antioxidant properties of a multilayer emulsion of curcumin with physicochemical stability as a function of time, and its incorporation into a yogurt to evaluate its probiotic properties. Three emulsions (E) were made using water, WPC, guar gum and chitosan for the aqueous phase and soybean oil and curcumin for the oily phase at 80% and 20%, respectively. These were called E1, E2 and E3, the last two being made using the layer-by-layer deposition method; low coalescence rates were obtained in the order of 10^{-8} to 10^{-10} ; the emulsions behaved like non-Newtonian fluids; E2 presented a higher cremation rate of 20%. E3 allowed a lower loss of antioxidant activity of 0.32% for ABTS and 2.50% for DPPH after heat treatment; the three formulations and the curcumin extract allowed the growth of the yogurt probiotic bacteria. E3 was added to a yogurt which had higher antioxidant activity values than the control yogurt, and remained within the parameters established by official regulations with average values of $10 \log \text{CFU/g}$. The yogurt with emulsion and without emulsion was evaluated sensorially where there was no significant difference in the overall appreciation of both samples.

1.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado la búsqueda de alimentos saludables para disminuir el aumento en enfermedades degenerativas relacionadas con la alimentación. Un alimento nutraceutico es reconocido como un suplemento que proporciona un agente bioactivo de un alimento, el cual es utilizado con la intención de proporcionar beneficios saludables al organismo como la prevención y el tratamiento de enfermedades transformando la materia prima en productos alimenticios saludables y al mismo tiempo permitiendo que las propiedades organolépticas se mantengan o mejoren hasta su consumo (Artunduaga et al., 2021). Algunos ejemplos de estos alimentos son el aloe-vera (Izaguirre-Silva et al., 2013) la raíz de ajo (Villena-Tejada et al., 2021) el jengibre (Morocho & Naranjo, 2021) y la cúrcuma son algunos alimentos con propiedades nutraceuticas que destacan, siendo la cúrcuma en la cual se enfoca este estudio; ya que presenta múltiples beneficios hacia la salud, de forma preventiva y curativa (Hewlings & Kalman, 2017). Esto ha derivado en el interés de su uso como aditivo en alimentos, que pueden aportar propiedades funcionales (Ibáñez & Blázquez, 2021). Los alimentos funcionales son aquellos que contienen componentes biológicos activos que ejercen efectos benéficos y nutricionales básicos en una o varias funciones del organismo que mejoran la salud o disminuyen el riesgo de sufrir enfermedades (Fuentes Berrio et al., 2015). Por lo mencionado anteriormente, en esta investigación se decidió estudiar la cúrcuma (*Curcuma longa*), la cual es un tubérculo conocido por poseer actividad antibacteriana, anticancerígena y antifúngica, siendo sus propiedades principales como antioxidante y antiinflamatoria. Además, se utiliza como hipoglucémico, colorante, antiséptico y sanador de heridas (Timba et al., 2019). La cúrcuma posee un valor medicinal porque posee compuestos fenólicos denominados curcuminoides (Paucar et al., 2018).

Los sistemas basados en emulsiones están diseñados con el objetivo de encapsular, proteger y liberar ingredientes funcionales permitiendo mejorar su manejo, estabilidad o eficacia. Los productos alimenticios basados en emulsiones exhiben una amplia gama de características fisicoquímicas, sensoriales y biológicas según los tipos de ingredientes y las condiciones de procesamiento utilizadas para crearlos. En la actualidad la ciencia de las emulsiones ha evolucionado dentro de la industria alimentaria, incorporando otras

disciplinas científicas, como lo son la ciencia sensorial, la fisiología humana, intentando correlacionar sus cualidades organolépticas y las respuestas biológicas a la composición, estructura y propiedades fisicoquímicas de la emulsión (McClements, 2016).

Las emulsiones se utilizan cada vez más como sistemas de suministro de ingredientes alimentarios funcionales, como colorantes, sabores, conservadores, vitaminas y nutraceuticos. Las emulsiones son empleadas en la industria alimenticia para mezclar y obtener las propiedades más convenientes de varios ingredientes en un producto final, dando pie a la creación de alimentos funcionales. Cuando se busca reformular un alimento se juega con los ingredientes y además del uso de ingredientes cotidianos, el empleo de otros más específicos permite realzar o añadir atributos al alimento. En este contexto, las emulsiones son mezclas de al menos un líquido disperso (fase dispersa) en otro (fase continua) en forma de gotas v(Jiménez-Colmenero, 2013), y el principal interés es encapsular una molécula hidrofílica o lipofílica dentro de la fase dispersa lo que asegura su protección y degradación en el medio donde se encuentren (Bouyer et al., 2012). La presencia de extractos naturales en compuestos emulsionados data de hace años; sin embargo, el aprovechamiento de las cualidades de estos extractos ha tenido un auge de aplicación en los últimos años. Los extractos contienen compuestos químicos de interés, lo que dota de cualidades específicas al ser utilizados en alimentos.

Entre los mayores desarrollos que ha tenido la industria de los alimentos abarca la panificación, bebidas y lácteos siendo la última la más consumida por la población. Dentro de la industria láctea se encuentra el yogurt, este producto es consumido en el hogar siendo versátil y adaptándose a los gustos y necesidades de la población. El yogurt es un producto lácteo ampliamente consumido por ser nutritivo y saludable, además de sus propiedades sensoriales. La norma Codex (CODEX STAN 243-2003) menciona que el yogurt se procesa a partir de la fermentación de la leche obteniendo como producto ácido láctico, debido a la acción de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* (Nagaoka, 2019). El objetivo de este trabajo fue evaluar el extracto de curcumina encapsulado en una emulsión estable con multicapas de biopolímeros, y el estudio de su incorporación a un yogurt para preservar la viabilidad probiótica, calidad nutricia y sensorial.

2.- ANTECEDENTES

2.1 Alimentos Funcionales

Los alimentos funcionales (AFs) son aquellos que además de su valor nutritivo contienen componentes biológicos; estos tienen la capacidad de mostrar un efecto benéfico al organismo mejorando la salud del consumidor, reduciendo el riesgo de enfermedades. Estos incluyen alimentos industrializados a los cuales se les añade alguna sustancia funcional para otorgar este valor agregado al producto (Aguirre, 2019). Los AFs son benéficos para la salud por su propiedad probiótica o antioxidante. Este concepto apareció en la década de los 80 en Japón, donde se introdujeron alimentos con el objetivo de mejorar la salud y disminuir el riesgo de distintas enfermedades (Meléndez-Sosa et al., 2020).

2.2 Efectos antimicrobianos de los extractos naturales

Los extractos naturales poseen una actividad antimicrobiana contra diferentes patógenos y pueden ser utilizados como inhibidores naturales en la industria alimentaria. Núñez et al. (2020) mencionaron que la curcumina posee actividad antibacteriana sobre bacterias gram positivas y gram negativas, además de un efecto antifúngico. Torre-Álvarez et al. (2016) realizaron un estudio para evaluar la actividad antimicrobiana de la curcumina frente a distintas cepas de bacterias. Esos autores utilizaron un extracto etanólico, y el aceite esencial de los rizomas de cúrcuma mostraron una reducción bacteriana del 50%; lo cual sugiere que estos extractos poseen compuestos activos antibacterianos que pueden emplearse como una alternativa terapéutica.

2.3 Incorporación de extractos naturales en alimentos

Los aditivos alimentarios son una herramienta que nos ayuda a proveer características específicas deseadas por la industria de los alimentos como puede ser el color, textura y vida de anaquel; la búsqueda de aditivos naturales ha sido una necesidad en los últimos años debido a que los consumidores se han vuelto conscientes de los alimentos que consumen. Dentro de esta búsqueda la industria

ha recurrido a la implementación de aditivos más naturales, que provengan de plantas, animales o microorganismos. De esta forma se ha implementado el uso de estos aditivos al mismo tiempo que aditivos sintéticos proporcionando los atributos deseados (Soares, 2017).

2.4 Emulsiones

Una emulsión consiste en la mezcla de dos líquidos inmiscibles, generalmente aceite y agua, en donde uno de ellos se encuentra disperso como pequeñas gotas dentro del otro; además, las emulsiones son estabilizadas a través de un agente emulsionante o tensioactivo. En la mayoría de los alimentos el diámetro de las gotas varía entre 100 nm y 100 μ m, pero en la actualidad ha existido un interés en la utilización de emulsiones con diámetros más pequeños ($d < 100$ nm) debido a sus nuevas propiedades fisicoquímicas. En la actualidad se trata de desarrollar emulsiones estructuradas que puedan ser producidas económicamente utilizando ingredientes de grado alimentario y darles atributos de calidad deseados, rendimiento funcional y vida útil (McClements, 2016).

2.4.1 Clasificación

Las emulsiones se clasifican en sencillas y múltiples; las emulsiones sencillas son las que se componen de una fase acuosa y una fase oleosa. Estas se categorizan de acuerdo a la fase que mayor presencia tenga en el compuesto final. Si el compuesto mayor es agua (W 'Water') y la fase con menor masa es de aceite o derivados (O 'Oil') entonces es una emulsión O/W ó "aceite en agua" (Figura 1). De lo contrario, cuando la fase con mayor masa es aceite y la de menor es agua, entonces es una emulsión W/O "agua en aceite" esto no es generalizado porque en el caso de una mayonesa se tiene una emulsión O/W y el aceite va desde 65 al 80% (McClements, 2016).

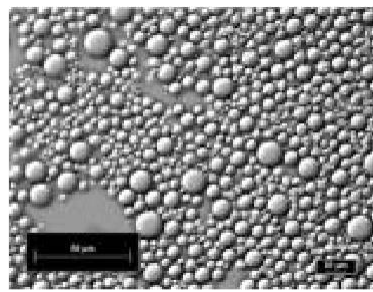


Figura 1. Ejemplo de una emulsión O / W de alimentos (aderezo para ensaladas) que consiste en gotas de aceite dispersas en un medio acuoso (McClements D. J., 2016).

Las emulsiones dobles o múltiples se definen como sistemas coloidales en los que una emulsión simple se dispersa en otra fase para formar una nueva emulsión. Existen dos tipos de emulsiones múltiples; W1/O/W2 (agua en aceite, en agua) y O1/W/O2 (aceite en agua, en aceite). Están compuestos de tres fases y, por ende, de dos tipos diferentes de interfaz, la que compone las partículas internas y la de las partículas externas, que al ser de naturaleza distinta requieren de un agente emulsionante. En la Figura 1 se puede observar un ejemplo de emulsión agua en aceite, el cual consta de gotas de aceite dispersas en un medio acuoso correspondiente a un aderezo para ensalada. Estas emulsiones presentan una inestabilidad termodinámica mayor, lo cual puede llevar a una separación de las fases (Freire, 2018).

De la misma forma como las emulsiones múltiples, en este grupo también se ven incluidas las nanoemulsiones, emulsiones multicapa, coloidosomas, partículas rellenas de hidrogel y microclusters las cuales están esquematizadas en la Figura 2.

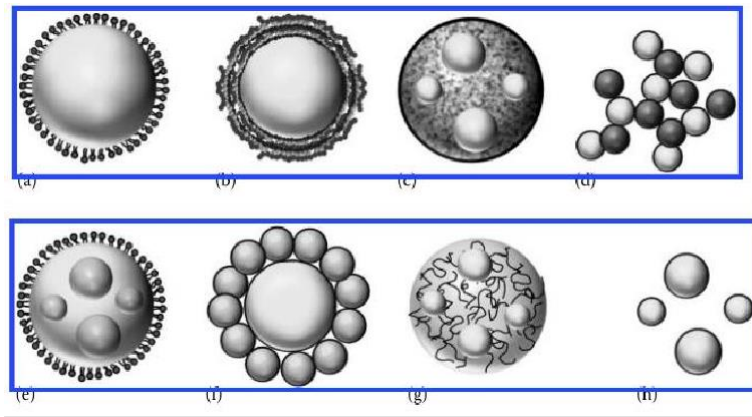


Figura 2. Ejemplos de sistemas basados en emulsión que se pueden utilizar en alimentos: (a) emulsiones, (b) emulsiones multicapa, (c) partículas sólidas rellenas, (d) microgrupos, (e) emulsiones múltiples, (f) coloidosomas, (g) partículas de hidrogel rellenas y (h) nanoemulsiones (Mc Clementes, 2016).

2.4.2 Emulsiones multicapa

Actualmente, algunos investigadores tratan de desarrollar emulsiones estructuradas que puedan ser producidas económicamente utilizando ingredientes de grado alimentario y darles atributos de calidad deseados, rendimiento funcional y vida útil. El proceso de convertir dos líquidos inmiscibles en una emulsión o de reducir el tamaño de las gotas en una emulsión ya existente se llama homogeneización (McClements, 2016).

2.4.3 Formación de emulsiones

Es necesario suministrar energía en el sistema para que en la fase dispersa ocurra la formación de gotas y se puedan distribuir homogéneamente en el medio continuo, esta energía suele ser mecánica por medio de agitación, se implementa calor y ultrasonido que permita su incorporación. Se clasifican en métodos de alta energía donde la energía utilizada es química, y métodos de baja energía en el cual se utiliza energía mecánica (Martínez, 2014).

La fabricación de un producto a base de emulsión con atributos funcionales

específicos depende de la selección de los tipos y concentraciones más adecuados de materias primas y las condiciones más apropiadas de procesamiento, almacenamiento, transporte y uso.

2.4.4 Estabilidad de emulsiones

El término estabilidad de emulsión es usado para describir la habilidad de una emulsión a resistir el cambio de sus propiedades con respecto al tiempo. Una emulsión puede romperse debido a cambios físicos o químicos. Hay una variedad de mecanismos fisicoquímicos que pueden ser responsables de alteraciones en las propiedades de una emulsión, y usualmente es necesario establecer cuál de estos mecanismos son importantes en un sistema en particular que se está considerando antes de que se puedan desarrollar estrategias efectivas para mejorar la estabilidad (Mc Clementes, 2016).

Las emulsiones son inestables y encontrar mecanismos de estabilidad es importante para que puedan ser implementadas en alimentos y estas logren cumplir el papel por el cual se adicionan. Para obtener emulsiones estables deberán existir fuerzas repulsivas que puedan contrarrestar a las fuerzas atractivas (Martínez, 2014).

Un estabilizador es cualquier ingrediente que se puede utilizar para mejorar la estabilidad cinética de una emulsión y se puede clasificar como emulsionante, modificador de textura, agente densificante o inhibidor de la maduración, según su modo de acción. Los emulsionantes son moléculas tensioactivas que se absorben en la superficie de las gotas recién formadas durante la homogeneización, formando una capa protectora que evita que las gotas se acerquen lo suficiente como para agregarse. La mayoría de los emulsionantes son moléculas anfipáticas, es decir, tienen regiones polares y no polares en la misma molécula. Los emulsionantes más comunes utilizados en la industria alimentaria son los tensioactivos de molécula pequeña, los fosfolípidos, las proteínas y los polisacáridos (Mc Clementes, 2016). La estabilidad física de las

emulsiones se mide por diferentes parámetros como el índice de cremado, la viscosidad y el tamaño de la gota de la emulsión; los datos obtenidos permiten determinar si la emulsión es estable o inestable.

El concentrado de suero de leche (por sus siglas en inglés WPC) es utilizado como emulsionante para mejorar la formación y estabilidad de las emulsiones (O/W) además que el WPC inhibe la oxidación de lípidos al evitar que los prooxidantes accedan a las gotas. La fracción de volumen de aceite tiene una gran influencia en las propiedades fisicoquímicas y viscoelásticas de las emulsiones al afectar la distribución del tamaño de las gotas, la formación de crema, la estabilidad oxidativa y propiedades reológicas (Hebishy et al., 2017). Las caseínas son los principales componentes proteicos de la leche de mamíferos. En la formulación de una emulsión, se utiliza caseinato de sodio. En la leche, las caseínas están íntimamente asociadas con el fosfato de calcio en forma de partículas coloidales llamadas micelas de caseína (Bouyer et al., 2012). Las proteínas de suero de leche globulares son una mezcla de alfa-lactoalbúmina, beta-lactoglobulina y otras proteínas menores (inmunoglobulinas, albúmina sérica). Actualmente se utilizan con éxito en emulsiones alimentarias, especialmente, la alfa-lactoglobulina (18,300 g/mol) y la beta-lactoalbúmina (14,200 g/mol).

El quitosano ha recibido gran atención al ser un biopolímero funcional, biodegradable, renovable y no tóxico con múltiples aplicaciones farmacéuticas, entre ellas, como agente estabilizante. Por sus propiedades emulsificantes, el quitosano ha sido utilizado en la obtención de emulsiones estables del tipo O/W, gracias a la estabilización y a viscosidad que aporta al sistema a medida que se incrementa su concentración, pudiéndose incluso utilizar sin ningún otro surfactante. Se ha observado que las emulsiones estabilizadas empleando quitosano han mostrado tener mejor estabilidad en cuanto al comportamiento del pH, fuerza iónica, así como en procesos de estrés térmico (De La Paz et al., 2017).

2.4.5 Emulsiones estabilizadas con multicapas de biopolímeros

Las propiedades fisicoquímicas, la estabilidad y los atributos funcionales de las emulsiones pueden ser reguladas mediante la ingeniería de las propiedades interfaciales utilizando métodos de deposición capa por capa. Las emulsiones multicapa O/W consisten de gotas de aceite dispersas en una fase acuosa continua que usualmente está conformado de emulsificante y biopolímeros. La distribución de tamaño de partículas y la concentración de las gotas de aceite en las emulsiones multicapa pueden ser controladas al igual que las características de los revestimientos, por ejemplo; la composición, densidad, carga, permeabilidad, respuesta al medio externo y reactividad química. Esta flexibilidad da un gran alcance en el diseño de sistemas basados en emulsiones con propiedades funcionales mejoradas, gran protección a agentes físicos y químicos, y liberación controlada de componentes encapsulados. Las emulsiones multicapa son más útiles para la encapsulación de agentes lipofílicos debido a que pueden quedar atrapados dentro del núcleo hidrofóbico y protegido por la cubierta (McClementes, 2016).

2.5 *Cúrcuma longa* L

La cúrcuma es una planta herbácea perenne con raíces oblongo-palmeados, arrugadas en el exterior, marrones por fuera y de un color naranja profundo en el interior (Figura 3). Mide alrededor de unos 2 m de alto, presenta hojas largas, lanceoladas y pecioladas de un color verde claro (Saiz de Cos & Pérez-Urria Carril, 2014).

La cúrcuma (*Curcuma longa*) es una planta de la familia *Zingiberaceae* originaria del sur de Asia en donde es utilizada principalmente en diferentes platillos para otorgar color y sabor. En el área industrial, es una materia prima cuyo uso principal es como colorante, otorgándole un color amarillo-anaranjado. Su principal colorante es la curcumina a la cual se le ha otorgado diferentes beneficios medicinales (Hewlings & Kalman, 2017).



Figura 3 A) Planta de la cúrcuma. B) Flor, C) Rizoma (Saiz de Cos & Pérez-Urria Carril, 2014).

2.5.1 Composición química de la cúrcuma

La cúrcuma contiene por cada 100 g de producto según la USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2019) un total de 9.68 g de proteína, 3.25 g de grasa y 67.1 g de carbohidratos, calcio, magnesio, potasio, vitamina C. En la tabla 1 se puede observar la composición química de la cúrcuma.

Tabla 1. Composición química de la cúrcuma.
National Nutrient Database for Standard Reference (2019)

Nutrientes	Valor por 100g
Agua	12.85 g
Energía	312.00 kcal
Proteínas	9.68 g
Lípidos totales	3.25 g
Carbohidratos	67.14 g
Fibra dietética total	22.70 g
Azúcares totales	3.21 g
Minerales	
Calcio	168.00 mg
Hierro	55.00 mg
Magnesio	208.00 mg
Fósforo	299.00 mg
Potasio	2080.00 mg
Sodio	27.00 mg
Zinc	4.50 mg
Vitaminas	

Vitamina C	0.700 mg
Tiamina	0.058 mg
Riboflavina	0.150 mg
Niacina	1.350 mg
Vitamina B6	0.107 mg
Fosfato, DFE	20.000 µg
Vitamina E	4.430 mg
Vitamina K	13.400 µg
Lípidos	
Ácidos grasos saturados	1.838 g
Ácidos grasos monoinsaturados	0.449 g
Ácidos grasos poliinsaturados	0.756 g
Ácidos grasos trans	0.056 g

2.5.2 Proceso de extracción

La extracción con solventes de muestras sólidas, que comúnmente se conoce como extracción sólido-líquido. Son utilizados ampliamente diferentes solventes orgánicos no polares para la extracción de la curcumina de las plantas (Blandón & Ponce, 2021). Popuri & Pagala (2013) llevaron a cabo una comparación de solventes de extracción (acetona, etanol, metanol e isopropanol) para el aislamiento de curcumina de *Cúrcuma longa* L. De acuerdo a los resultados que obtuvieron notaron que el etanol presentó un mayor rendimiento que fue del 0.26 mg/10 g con una extracción a 30°C durante 1 h con una relación de sólido a disolvente de 1:8.

2.5.3 Degradación

La curcumina es una molécula fotosensible, siendo este el principal método de degradación molecular, además de esta característica es también susceptible a la degradación química, la cual es producida por oxidación mediante peróxidos, radicales libres e iones oxígenos. Los primeros grupos en ser atacados en la degradación química serán los OH fenólicos. La curcumina posee grupos cromóforos y es por tanto fotosensible (González-Albadalejo et al., 2015).

2.5.4 Curcuminoides

La cúrcuma debe sus propiedades antioxidantes a los compuestos fenólicos, denominados curcuminoides; estos pertenecen al grupo de los diarilheptanoides. Los curcuminoides son el conjunto de la curcumina, dimetoxicurcumina y bidimetoxicurcumina, responsables del color dorado de las raíces de cúrcuma (Matute et al., 2016). La curcumina representa el 90% de los curcuminoides, en la estructura se presentan grupos fenólicos que son encargados de la capacidad antioxidante (Herrero, 2018).

Burapan et al. (2020) mencionaron que los curcuminoides y sesquiterpenoides son los principales componentes bioactivos de *Curcuma longa*, los cuales son utilizados en el tratamiento de distintas enfermedades gracias a la existencia de compuestos bioactivos.

2.5.5 Curcumina

La curcumina es un polvo cristalino de color amarillo, de fórmula molecular $C_{21}H_{20}O_6$ esquematizado en la Figura 4, es soluble en alcohol e insoluble en agua y éter. Es reconocida como segura (GRAS) y bien tolerada incluso a dosis altas. Comprende del 2 al 5% de la cúrcuma y se ha demostrado que tienen propiedades antioxidantes similares a la vitamina C y E. La curcumina es causante del color amarillo característico de la planta, se utiliza como especia y colorante y se ha comenzado a utilizar como antiinflamatorio, antiviral, antiinfeccioso, hipocolesterolémico, antimicrobiano, antirreumático, citotóxico, espasmolítico, antidiabético y antihepatotóxico (Hewlings & Kalman, 2017).

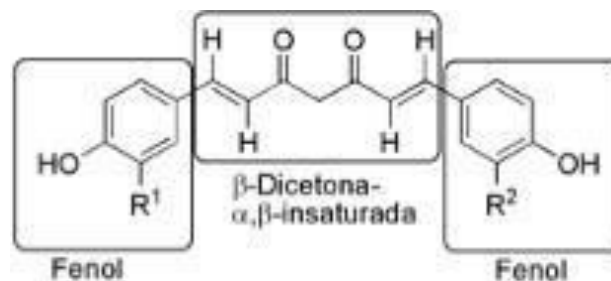


Figura 4 Estructura de la curcumina Fuente: González-Albadalejo et al. (2015).

2.6 Actividad antioxidante

Los antioxidantes son sustancias que protegen a las células de los efectos de los radicales libres y son utilizados como conservadores porque inhiben el proceso de oxidación del alimento y benefician al cuerpo humano. Así, la investigación del contenido de antioxidantes en los alimentos se ha incrementado debido a que se asocia a la prevención de distintas enfermedades (Cömert & Gökmen, 2018). Se ha comprobado que la cúrcuma puede ser utilizada en productos horneados, embutidos y lácteos; además, se ha sugerido que la curcumina se puede utilizar en la industria de los alimentos como un antioxidante natural que reemplace a los sintéticos (Esparza-Zelada, 2021).

2.6.1 Método ABTS⁺

Esta evaluación se basa en la capacidad del ABTS⁺ para capturar aniones radicales de larga vida. En la prueba el ABTS⁺ es oxidado por radicales peróxidos, por persulfato de potasio, peróxido de hidrógeno u otro oxidante hasta formar el catión radical ABTS⁺, el cual presenta un intenso color verde-azul, y en la medición los compuestos con capacidad antioxidante reaccionan directamente, disminuyendo el color del catión radical ABTS⁺ (Rodríguez et al., 2014).

2.6.2 Método DPPH⁺

Este método se basa en la estabilidad del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH), la cual se atribuye a la deslocalización del electrón desapareado, esta deslocalización también le otorga una coloración violeta caracterizada por una banda de absorción, en solución etanólica, centrada alrededor de 520 nm. Cuando una disolución de DPPH entra en contacto con una sustancia que puede donar un átomo de hidrógeno o con otra especie radical se produce la forma reducida DPPH-H o DPPH-R con la consecuente pérdida del color y, por lo tanto, la pérdida de la absorbancia (Güija-Poma et al., 2015).

2.6.3 Evaluación de capacidad antioxidante

Cosquillo et al. (2019) obtuvo dos extractos vegetales: crudo y en 96% de etanol. La actividad antioxidante de los extractos se evaluó *in vitro* mediante el ensayo de DPPH y ABTS. La capacidad antioxidante con el método DPPH se obtuvo un IC50 64,26 y 17,01 µg/mL y con el método de ABTS IC50 57,67 y 15,12 µg/mL para los extractos crudo y etanólico. La capacidad antioxidante equivalente a trolox (TEAC-DPPH) fueron 52,95 y 202,85 (µg trolox/mg) para los extractos crudo y etanólico, la capacidad antioxidante equivalente a trolox (TEAC-ABTS) fueron 49.796 y 182.773 (µg trolox/mg es) para los extractos crudo y etanólico.

Canelo (2017) utilizó el método DPPH para evaluar la actividad hepatoprotectora y antioxidante, dando un efecto protector significativo ($P < 0,05$), disminuyendo la actividad enzimática de los marcadores hepatoespecíficos.

3.7 Beneficios a la salud

Los beneficios de la curcumina han sido reportados en varias enfermedades neurológicas y cáncer. Además, que se ha utilizado para la prevención en diabetes y artritis, así como en enfermedades hepáticas, renales y cardiovasculares. Recientemente, existe una creciente atención sobre el uso de curcumina para prevenir o retrasar la aparición de enfermedades neurodegenerativas (Bhat et al., 2019).

Chandran & Goel (2012) llevaron un estudio para evaluar la eficacia y seguridad de la curcumina en pacientes con artritis reumatoide activa. Se dieron cuenta que la curcumina tiene la capacidad de regulación de objetivos moleculares encargados del dolor agudo y crónico incluido el dolor neuropático, uno de los más difíciles de tratar. Utilizando una mezcla de curcumina con diclofenaco y la administración de curcumina por si sola. Este estudio se realizó con una preparación patentada de curcumina, siendo completamente natural. Se pudo notar que el consumo de 500mg de curcumina por si sola fue capaz de aliviar los síntomas de la artritis reumatoide. Estos resultados son alentadores para investigar el posible uso de la curcumina en otras enfermedades crónicas relacionadas con inflamación desregulada. Jackson et al. (2006) ha estudiado cómo la cúrcuma inactiva las células dopaminérgicas en la enfermedad de Parkinson, y se ha demostrado que el estrés

oxidativo está fuertemente relacionado con este proceso, por la capacidad para combatir el estrés oxidativo, los compuestos fenólicos que procede de la dieta siguen siendo considerados como agentes potenciales para uso a largo plazo en la enfermedad de Parkinson.

La cúrcuma es consumida en países como India, el cual cuenta con índices más bajos de cáncer en comparación con los países de occidente, por lo que, se puede inferir que el consumo de este producto actúa para prevenir esta enfermedad. Las propiedades medicinales que posee la cúrcuma son atribuidas principalmente al conjunto de compuestos fenólicos contenidos en los curcuminoides (Alvis et al., 2012).

Efecto antifibrótico e inductor de apoptosis de la curcumina sobre células estrelladas hepáticas, lo cual sugiere dos mecanismos, según la concentración: bajas concentraciones de curcumina (10 mM), con el consiguiente efecto antifibrótico; mientras que altas concentraciones (40 mM) inducen apoptosis e incrementan el citocromo C en células hepáticas estrelladas. Esto resulta prometedor para prevenir y tratar a quienes presentan fibrosis hepática (Laffita & Castillo, 2011).

2.7 Efecto antimicrobiano de los extractos

Los productos naturales han desempeñado un papel importante en el desarrollo de fármacos los cuales han sido la base de las primeras medicinas permitiendo el descubrimiento de diferentes productos, sin embargo se evidencia la necesidad de seguir encontrando nuevos compuestos que permitan dar solución a diferentes enfermedades (Corzo, 2012). La encapsulación incrementa la solubilidad y biodisponibilidad de las sustancias encapsuladas, enmascara propiedades indeseables como su olor y sabor, posibilita aplicar distintas técnicas innovativas, rápidas y escalado, previene la degradación de los ingredientes del producto durante el procesamiento y conservación, además, mejora la estabilidad microbiológica del producto (Pino & Aragüez, 2021). Debido a ello la encapsulación a través de emulsiones de estos productos se han vuelto la mejor alternativa para su incorporación en alimentos.

2.8 Emulsiones de extracto de curcumina

La curcumina es un compuesto polifenólico natural con potente actividad anticancerígena, antiinflamatoria y antioxidante. Sin embargo, su biodisponibilidad es baja, ya que no es bien absorbida en el tracto gastrointestinal. Ochoa et al., (2016) llevaron a cabo nanoemulsiones de cúrcuma para mejorar su biodisponibilidad, además de mejorar su solubilidad utilizando ultrasonido como herramienta para obtener nanoemulsiones con tamaño de glóbulo más pequeño y homogéneo además de una mejor estabilidad física. Obtuvieron nanoemulsiones con 2.5 mg de curcumina por g, con 100 % de eficiencia de atrapamiento, tamaño medio de glóbulo de 108 nm, y estables por 120 días a 4 °C.

Da Silva-Buzanello et al. (2016) llevaron a cabo la nano encapsulación de curcumina con la intención de mejorar su biodisponibilidad y protegerla de condiciones externas. Se utilizó ultrasonido como dispositivo de dispersión con diferentes concentraciones de curcumina y encapsulantes determinando la eficiencia de la encapsulación por medio de técnicas espectroscópicas, calorimétricas y la microscopía óptica. Se midió la actividad antioxidante antes y después de la encapsulación, demostrando que el proceso no tuvo efecto negativo en la actividad antioxidante de la curcumina.

2.9 Yogurt

El yogurt consiste en glóbulos de grasa láctea suspendidos en una fase acuosa semisólida. La fase acuosa contiene una red tridimensional de caseína y proteínas de suero de leche, que le otorga al yogurt la textura característica. El yogurt es formado por leche y/o crema, y con una variedad de otros ingredientes también presentes, incluyendo endulzantes, saborizantes y otros ingredientes como estabilizadores, frutas y conservadores (Mc Clementes, 2016).

Es un producto lácteo fermentado de baja acidez y su elaboración inicia con leche descremada, la cuál ha sido previamente pasteurizada durante 15 min entre 85 °C y 95 °C. La leche se fermenta con las bacterias del yogurt a 43 °C hasta alcanzar un pH alrededor de 4.6; después se lleva a cabo el proceso de enfriamiento hasta 20 °C, y en este paso se puede hacer la adición de frutas, azúcar o colorantes esto va a depender de lo que se requiera por el fabricante (Rodríguez-Bernal et al., 2014).

El yogurt puede ser elaborado a partir de productos obtenidos de la leche con sin modificaciones en la composición por medio de la acción de microorganismos adecuados y teniendo como resultado la reducción del pH con o sin coagulación. Estos cultivos de microorganismos serán viables, activos y abundantes en el producto hasta la fecha de duración mínima (CODEX, 2011).

El CODEX determina que el yogurt deberá contener como mínimo 10^7 UFC/g de la suma de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus* viables. En caso de contener cultivos alternativos adicionales, éstos deberán estar en valores de 10^6 UFC/g viables de cultivos lácticos, como mínimo.

Streptococcus thermophilus es una bacteria ácido-láctica positiva, anaerobia facultativa con una temperatura óptima de crecimiento de 42-45°C. Esta bacteria produce exopolisacáridos los cuales son potenciadores de la viscosidad y la textura del yogurt evitando la sinéresis en el yogurt (Blanco, 2015). Los *lactobacillus* son utilizados como probióticos mejorando la digestión y es utilizado generalmente como un cultivo iniciador. El tratamiento térmico de la leche es un factor crítico en el desarrollo de la textura en el yogurt, esto debido a que el calentamiento provoca la desnaturalización del suero. Soukoulis et al. (2007) llevó a cabo una práctica de mejora en el proceso de realización de yogurt utilizando dos tratamientos térmicos adicionando tres agentes fortificantes de proteína de leche (leche desnatada en polvo, suero en polvo y concentrado de proteína de leche) añadidos al 2.0% y 4 hidrocoloides (κ -carragenano, xantano, goma guar y pectina) añadidos al 0.01% a yogurt de grasa entera y descremada. La adición de leche descremada en polvo mejoró la calidad de la textura y disminuyó la sinéresis de los yogures. Las gomas neutras (xantano y goma guar) mejoran la textura. Los yogures de leche descremada presentaron tiempos de incubación más largos y viscosidades más altas. El concentrado de suero de leche (WPC) es utilizado para mejorar la firmeza y la resistencia contra la sinéresis del yogurt.

2.9.1 Yogurt funcional

Los alimentos funcionales son aquellos que, además de su valor nutricional, provee un beneficio en las funciones orgánicas otorgando beneficios a la salud y un mayor bienestar. El yogurt posee *lactobacillus*, los cuales reducen la

intolerancia a la lactosa, la tendencia a las diarreas, además de estimular el sistema inmune y el movimiento intestinal. Los probióticos se consideran alimentos funcionales, estos consisten en microorganismos vivos y son suministrados a distintos alimentos para conceder alguna característica específica al producto además de su beneficio a la salud del consumidor (Risco, 2015).

2.9.2 Aditivos naturales en yogurt

Si se busca tener un producto estable que mantenga las propiedades reológicas y funcionales, los aditivos más utilizados son las gomas como la xantana, guar y arábica, las cuales destacan por mantener la consistencia del producto gracias a que luego de la hidratación forman enlaces de hidrógeno y una red reduce la movilidad del agua.

2.9.3 Uso de extractos en productos lácteos

Los productos lácteos se han convertido en el transporte más utilizado de bacterias probióticas y el yogurt se ha comercializado con éxito, logrando modificarse hasta abarcar las necesidades del consumidor. Es uno de los fermentos lácteos más populares, aportando calcio, proteínas de la leche y casi todos los aminoácidos esenciales. Se ha informado que el yogurt mejora el sistema inmunológico y previene trastornos gastrointestinales.

Marcolino et al. (2011) realizaron una microencapsulación de curcumina con maltodextrina. Se evaluó la estabilidad de la curcumina por encapsulación de maltodextrina y su adición a yogurt y quesos. La curcumina mostró una retención del color del 71% y mejora en la solubilidad. Esto destaca resultados relevantes para su uso en alimentos, además no se observó una alteración en las características iniciales del producto, lo que permitió una aceptación sensorial.

3.- JUSTIFICACIÓN

El yogurt es un alimento popular en México debido a sus propiedades nutricionales como su alto contenido proteico, calcio y bacterias ácido-lácticas además de tener un sabor agradable al consumidor. El uso de una emulsión estabilizada con multicapas de biopolímeros para encapsular el extracto de curcumina y adicionarlo al yogurt permitirá conservar los beneficios antioxidantes del extracto de cúrcuma y las propiedades probióticas del yogurt. Este tipo de desarrollo tecnológico de las emulsiones permitirá a la industria alimentaria tener más opciones para el desarrollo de alimentos funcionales, a través de la encapsulación que ayuda a proteger los principios activos, prolongar su vida útil y controlar su liberación.

4.- HIPÓTESIS

Es posible obtener un yogurt antioxidante con la incorporación de emulsiones multicapa con extracto de curcumina sin afectar el desarrollo de los probióticos, sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

5.- OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un yogurt antioxidante a través de la incorporación de emulsiones estabilizadas con multicapas de biopolímeros para encapsular curcumina.

5.2 Objetivos específicos

- Desarrollar emulsiones estabilizadas con multicapas de biopolímeros con curcumina con alta estabilidad física (índice de cremado, tasa de coalescencia) y biológica (actividad antioxidante, actividad antimicrobiana).
- Estandarizar el proceso de fermentación para la obtención de un yogurt con extracto antioxidante de curcumina.
- Determinar la viabilidad microbiana y antioxidante durante la vida de anaquel del producto.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de un yogurt adicionado con emulsión de curcumina y sin curcumina.

6.- MATERIALES Y MÉTODOS

Curcumina y quitosano se obtuvieron de SIGMA-ALDRICH. A,1-Diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine (DPPH) obtenido de Chem Cruz (Dallas, Texas). 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) obtenido de Chem cruz (Dallas, Texas). 6-hydroxy-2,5,7,8- tetramethylchroman-2-carboxylic acid (TROLOX) obtenido de Aldrich Chemistry. Todos los otros reactivos utilizados en este estudio son de grado analítico.

6.1 Diseño experimental

Un diseño completamente al azar fue planteado en la investigación para establecer dos tratamientos donde se evaluó un yogurt con emulsión y otro sin emulsión.

6.2 Elaboración de emulsiones

Solución de quitosano al 1%

Se preparo una solución de quitosano con una concentración del 1% (p/p) en una solución de ácido acético del 1% (v/v), la mezcla se agito a una velocidad 500 rpm durante 5 h para asegurar la hidratación completa.

Emulsiones o/w con una fracción másica (Φ) de 0.1

Emulsión E1: La fase acuosa consistió en el agua con los compuestos hidrosolubles, en este caso el concentrado de proteína de suero (WPC) al 2 % (p/p), y goma guar al 0.7 % (p/p). Por otro lado, se preparó el aceite con el extracto de curcumina a 1,000 ppm utilizando agitación magnética (por 1 h) hasta una disolución completa.

Posteriormente se goteo el 10% de aceite que contiene la curcumina a la fase acuosa, en un homogeneizador Ultraturax Ika T 50 Digital a 3,000 rpm hasta la incorporación completa de la fase oleosa y posteriormente a 7,000 rpm por 3 min.

Emulsión E2 con una fracción másica (Φ) de 0.2

En el método de deposición electrostática capa por capa (DCC). La fase acuosa consistió en el agua con los compuestos hidrosolubles, en este caso el concentrado de proteína de suero (WPC) al 2 % p/p, y goma guar al 0.7 % p/p. Por otro lado, se preparó el aceite con

el extracto de curcumina a 2,000 ppm utilizando agitación magnética hasta una disolución completa.

Posteriormente, se goteo el 20% de aceite que contiene la curcumina a la fase acuosa, en un homogeneizador Ultraturax Ika T 50 Digital a 3,000 rpm hasta la incorporación completa de la fase oleosa y posteriormente a 7,000 rpm por 3 minutos.

Emulsión E3 con una fracción másica (Φ) de 0.1

Para la tercera formulación se realizó una solución de WPC al 2% p/p y después se tomaron 50 mL de la E2 con 50 mL de solución WPC, enseguida se mezcló con agitación magnética a 2,000 rpm durante 5 min.

6.6 Análisis de tamaño de partícula y estabilidad de emulsiones

Las emulsiones se almacenaron en refrigeración. La distribución de tamaño de partícula de las emulsiones el diámetro promedio superficial [D3,2] se determinó con el equipo Malvern Mastersizer 3000 utilizando el accesorio Hydro con agua como fase continua.

Estabilidad de las emulsiones:

La tasa de coalescencia se calculó a partir de la variación del tamaño de partícula de la emulsión, con respecto al tiempo, las mediciones se realizaron cada 3 d hasta completar los 21 d. La tasa de coalescencia se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{K_c t} \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde N_t es el número de glóbulos con respecto al tiempo (t), N_0 es el número de glóbulos al tiempo cero. K_c es la tasa de coalescencia en (1/s), t es el tiempo en segundos. Al linealizar la ecuación 1, se obtiene la ecuación 2.

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = K_c t \quad \text{Ec. 2}$$

Al graficar $\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right)$ vs tiempo de almacenamiento en segundos (t), se obtiene una tendencia lineal donde la pendiente es la tasa de coalescencia, el

procedimiento se repite para cada formulación.

6.7 Micografías

Se tomaron fotografías en un microscopio Leica ICC50 utilizando un objetivo de 100x, de las emulsiones múltiples durante un mes, en una dilución 1:50 (emulsión: agua).

6.8 Índice de cremado

Se determinó por la medición de la altura de la capa opaca (H1) y altura total (H3). En un tubo de plástico se colocaron 10 g de cada emulsión y se almacenó a refrigeración durante 30 d.

Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de cremado} = \frac{H1}{H3} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

6.9 Determinación de estabilidad térmica de las emulsiones E1, E2 y E3

Se evaluó la estabilidad térmica de las emulsiones evaluándose su estabilidad física y actividad antioxidante después de un tratamiento térmico simulando la pasteurización. Se llevaron las emulsiones a una temperatura de 85°C durante 5 min y después se disminuyó la temperatura a 42°C, y se evaluó el tamaño de partícula y actividad antioxidante para observar el comportamiento frente a este proceso.

La emulsión utilizada en la formulación del yogurt fue la que presentó mayor estabilidad fisicoquímica.

Actividad antioxidante

6.9.1 Método DPPH

Se utilizó el método del radical libre 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH•+) (Nenseter et al., 1995). El DPPH es un radical libre el cual presenta un color violeta oscuro a causa de su electrón dañado, el atrapamiento del radical se midió

espectrofotométricamente por la pérdida de absorbancia a 517 nm. (Kuskoski et al., 2005).

- Preparación del reactivo:

Se pesaron 0.0039 g del reactivo DPPH⁺ y se aforaron a 100 mL con etanol absoluto y posterior a ello se midió la absorbancia de la solución a 517 nm, ajustando a 1.

Curva de calibración de trolox DPPH⁺

Elaboración de solución stock:

Se pesaron 25 mg de Trolox (M = 250.29 g/mol) y se aforaron a 100 mL con etanol absoluto (250 ppm). Para realizar la curva se elaboraron diluciones protegidas de la luz en tubos de ensayo. Se prepararon concentraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 6 7 y 8 ppm a partir de la solución stock de trolox, se agregó etanol absoluto. Después, a cada celda se le agregó 2.25 mL de DPPH⁺. Para llevar a un volumen final de 3 mL se le adicionó etanol absoluto. Se dejó reposar por 90 min en la oscuridad. Se tomaron las lecturas en el espectrofotómetro a 517 nm.

6.9.2. Método ABTS

El radical ABTS^{•+} se genera a partir de su precursor el Ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolín)-6-sulfónico (ABTS^{•+}) (Prior et al., 2005). El radical catiónico obtenido es un compuesto de color verdeazulado, estable y con un espectro de absorción en el UV-visible.

Se realizó el método ABTS^{•+} generando el radical químicamente utilizando persulfato potásico. La oxidación con persulfato potásico se llevó a cabo a temperatura ambiente, en ausencia de luz, en un tiempo de 12 a 16 h. El persulfato potásico y el ABTS^{•+} reaccionan estequiométricamente (1:0.5) (Prior et al., 2005).

Preparación del reactivo

- ABTS^{•+} 7mM.

Se disolvieron 0.036 g de sal amónica cristalizada de ABTS^{•+} en 10 mL de agua destilada.

Para la solución persulfato potásico 2,45 mM se disolvieron 0.0066 g del reactivo en 10 mL de agua destilada.

- Preparación radical ABTS^{•+}.

Se mezclaron partes iguales de la solución de ABTS^{•+} 7mM y la de persulfato potásico 2.45mM. La mezcla se mantuvo en oscuridad a temperatura ambiente durante 16 horas para la formación del radical. La solución de ABTS^{•+} se diluyó con etanol para obtener una absorbancia de 0.7 a 730 nm. Esto se consiguió mezclando 2.5 mL de la solución del radical con aproximadamente 100 mL de etanol absoluto.

Curva de calibración de trolox ABTS^{•+}

Para la elaboración de la solución stock se pesaron 0.01 g de Trolox en 5 mL de etanol absoluto y 5 mL de agua destilada. A partir de esta solución se realizaron diluciones a concentraciones de 25, 50, 75, 100, 125, 150 μ M, a partir de la solución stock de trolox. Después, a cada celda se le agregaron 2.7 mL del ABTS^{•+}. Para llevar a un volumen final de 3 mL se le adicionó etanol absoluto. Se dejó reposar por 7 min en la oscuridad y posteriormente se tomaron las lecturas en un espectrofotómetro a 730 nm.

6.10 Capacidad antioxidante de la emulsión

Para realizar el análisis se sometió la emulsión a un proceso de extracción.

Preparación de reactivos

-NaCl 10% -Metanol 1:1(v/v)

Se pesaron 2.5 g de NaCl y se aforaron a 25 mL con agua destilada. Se midieron 14 mL de metanol y 14 mL de la solución anterior de NaCl y se mezclaron.

-Hexano-acetona 1:1 (v/v)

Se midieron 50 mL de hexano y 50 mL de acetona, se mezclaron y se refrigeró hasta su uso.

Se pesaron 2 g de la emulsión en tubos cónicos, posteriormente se le agregó 3 mL de 10% NaCl-Metanol.

La mezcla se agito en vortex durante 5 min. Enseguida se le agregaron 16 mL de la mezcla de hexano-acetona (1:1) y se agitó en vortex durante 1 min. Después la mezcla fue separada por centrifugación a 10,000 rpm por 20 min a 25°C.

6.9.1 Capacidad antioxidante de la emulsión por el método DPPH

100 µl del extracto ya se mezcló con 350 µl de etanol absoluto, luego se añadió 2.25mL de DPPH•⁺ y se mantuvo en reposo durante 90 min en la oscuridad. Posteriormente las muestras se analizaron, determinando la absorbancia a 517 nm. La concentración de antioxidantes se calculó a partir de una curva de calibración de trolox.

Solución stock de Trolox 1 mM (1mg/mL) [100 mL]:

Se peso 25 mg de Trolox ($M = 250.29$ g/mol) y se llevó al aforo a 100 mL con Etanol absoluto (250 ppm).

6.10.2 Capacidad antioxidante de la emulsión por el método ABTS•⁺

100 µl del extracto se mezcló con 200 µL etanol absoluto. Después se añadió 2.7 mL de ABTS•⁺. Se realizó por triplicado. Posterior a ello se tomaron las lecturas correspondientes en un espectrofotómetro a 730 nm después de 7 minutos. Todo este método se realizó en oscuridad.

6.11 Actividad antimicrobiana de la curcumina y las emulsiones

Para la determinación de la actividad antimicrobiana de la curcumina, las cepas se cultivaron en caldo MRS a 37 °C por 16 h, transcurrido este tiempo las células se ajustaron a una concentración de 3×10^8 cel/mL de acuerdo con la escala de Mc Farland en un espectrofotómetro a 625 nm. Así, se inocularon 20 µL del caldo de cultivo ajustado en cajas Petri estériles que contenían agar MRS. Después se colocaron círculos con papel filtro previamente esterilizados y sobre ellos se adicionó la curcumina y emulsiones (50 µL) y se incubó en caja de anaerobiosis a 37°C por 24 h. La actividad antimicrobiana se determinó por la presencia de halos de inhibición (mm).

6.12 Estandarización del proceso de fermentación

Se realizó el yogurt como se establece en el apartado 6.8 en donde se tomaron lecturas de pH cada hora hasta llegar al adecuado que es de 4.4 y de esta forma establecer el tiempo necesario para la elaboración del yogurt.

6.13 Elaboración de yogurt

Streptococcus thermophilus y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* obtenido de SACCO system distribuido por Raff dairy and nutra ingredients con código de identificación: Y 470 E estas cepas fueron recibidas liofilizadas. Para la actividad antimicrobiana las cepas fueron activadas en caldo MRS durante 24 h en caja de anaerobiosis y posteriormente fue ajustado mediante la escala de McFaraland para su uso.

Para elaborar el yogurt se llevó la leche entera a 85°C durante 5 min, y se colocó la leche a baño de agua con hielo hasta alcanzar los 45°C. Se realizó la inoculación de cepas bacterianas adicionando 0.01 g por cada L de leche de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus* a 43°C y se incubó a 42°C durante 4-6 h. el tratamiento inicia con un pH de 6.7 y se monitorea el pH hasta llegar a 4.4 para detener el proceso fermentativo. Terminado el proceso de fermentación se le adicionó la emulsión que presentó la mayor estabilidad física y química, por cada 700 mL de yogurt se agregó 300 mL de emulsión.

Tabla 2. Tratamientos establecidos para usar emulsiones de cúrcuma en el yogurt

Tratamiento	Código
Yogurt obtenido de leche sin emulsión	YC
Yogurt obtenido de leche con emulsión	YE

La unidad experimental por cada tratamiento para elaborar el yogurt será de 1 L de leche (3% grasa) por tratamiento, y cada uno de estos se replicó tres veces.

6.14 Evaluación de pH y acidez titulable

Para la evaluación de pH se utilizó un potenciómetro calibrado (MARCA Y MODELO) con buffer a pH= 4 y 7. El valor se obtuvo introduciendo el electrodo en la muestra hasta obtener el resultado de pH.

Para la acidez titulable se llevó a cabo el método establecido en la 16.023 AOAC. Se colocaron 5 g en un recipiente y posteriormente se añadió agua destilada y se agitó vigorosamente. Se agregaron 3 gotas de fenolftaleína al 1% y se tituló con NaOH 0.1N hasta obtener una coloración rosada. Tomando en cuenta que el coeficiente láctico es: 0.009g de ácido láctico.

El porcentaje de acidez se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$\%Acidez\ titulable = \frac{Consumo\ de\ NaOH\ x\ Coeficiente\ láctico\ x\ 100}{Peso\ de\ la\ muestra} \quad Ec.4$$

*La acidez se expresa como porcentaje de ácido láctico.

6.15 Determinación de las propiedades reológicas del yogurt

La determinación de la viscosidad y las curvas de flujo para determinar el comportamiento reológico del yogurt se evaluaron en un reómetro modelo Anton Paar Rheolabqc®. Todas las determinaciones reológicas se realizaron a temperatura de 25 °C, utilizando una geometría de cilindros concéntricos CC39, con una velocidad de cizalla de 2 a 300 s⁻¹, las mediciones se realizaron por triplicado.

6.16 Variables de color en yogurt

Se determinó a través de un colorímetro marca Hunter Lab en el cual se mide la reflectancia de cada muestra. Este se calibro con dos mosaicos (blanco y negro) y posteriormente se colocó aproximadamente 10g de muestra en un recipiente transparente que permite el paso de la luz, se obtuvieron los parámetros L*, a* y b* de la escala de Hunter.

6.17 Viabilidad microbiana durante la vida de anaquel del producto

Para los recuentos microbianos, se realizaron diluciones seriadas (10^{-2} - 10^{-10}) tomando 1 g de yogurt y colocándolo en tubos de dilución con 9 mL de agua peptonada estéril (NaCl al 0.85% y peptona al 0.1%) posteriormente se tomaron alícuotas de 1 mL de cada dilución para ser inoculadas en placas de Petri estériles. Para el recuento de los microorganismos se utilizó agar MRS y las muestras se incubaron en caja de anaerobiosis a 37 °C durante 48 h. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g). Las determinaciones se realizaron cada 5 d durante un período de 30 d de almacenamiento del producto en refrigeración.

6.18 Evaluación sensorial

Se evaluó la aceptación del producto a través del análisis sensorial (color, olor, sabor y consistencia) de acuerdo con la hoja de respuestas de la Figura 5, al compararlo con el producto sin curcumina, el evaluador fue semi entrenado. Ejemplo de hoja de datos de evaluación sensorial:

Hoja de respuesta

Nombre: _____ **Edad:** _____ **Fecha:** 10/11/2022

Instrucciones: Pruebe las muestras presentadas, comenzando de izquierda a derecha, e indique con una X su nivel de agrado de acuerdo con la escala que se presenta a continuación, puede marcar en cualquier parte de la recta, no únicamente en los puntos de leyenda:

Muestra: _____

Textura

Me disgusta mucho	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
●	●	●	●	●

Color

Me disgusta mucho	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
●	●	●	●	●

Olor

Me disgusta mucho	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
●	●	●	●	●

Sabor

Me disgusta mucho	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
●	●	●	●	●

Apreciación global

Me disgusta mucho	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
●	●	●	●	●

Observaciones/Comentarios:

Figura 5. Hoja de respuestas de nivel de agrado.

6.18 Análisis de datos

El arreglo de los datos de las variables que se estudiaron fue mediante un diseño de bloques al azar, donde los bloques serán los diferentes periodos, donde fue replicado cada tratamiento. Cuando el análisis de varianza para cada variable estudiada resultó en un valor de probabilidad menor a 0.05 ($P < 0.05$), la hipótesis nula (igualdad de tratamientos) fue rechazada. Cuando esto ocurrió, la prueba de medias Tukey fue realizada para la comparación de medias entre los tratamientos para las variables. El software Minitab (2014) se utilizó para el análisis de datos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Estabilidad de las emulsiones

7.1.1 Tamaño de partícula y tasa de coalescencia

El tamaño de partícula fue determinada utilizando un equipo Malvern Mastersizer 3000 con una fase acuosa como fase continua en la cual se añadió gotas de la emulsión para obtener el resultado de tamaño de partícula respectivamente, este análisis fue determinado durante 21 días tomando medición cada tercer día con las emulsiones en refrigeración, los resultados se muestran en la Figura 6. El tamaño de partícula de las emulsiones representa la fracción de las partículas dentro de diferentes clases de tamaño y estas esta representadas en forma de tabla o gráfico de concentración de partículas frente al tamaño (McClements, 2016). Las tres formulaciones se presentaron estables, observándose constantes de velocidad de coalescencia bajas del orden de 10^{-8} a 10^{-10} (Tabla 3), lo cual nos indica su estabilidad, debido a que entre más pequeño es el número obtenido en la tasa de coalescencia más estable es la emulsión (Kitchener & Musselwhite, 1968).

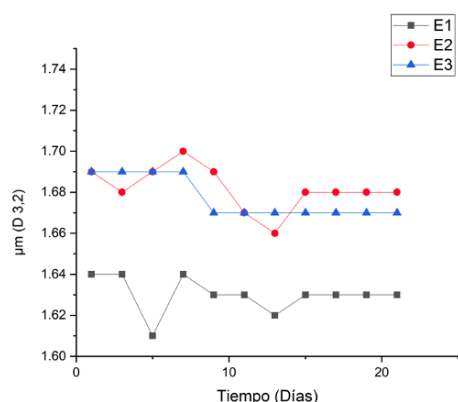


Figura 6. Tamaño de partícula para las emulsiones E1, E2 y E3 con respecto al tiempo

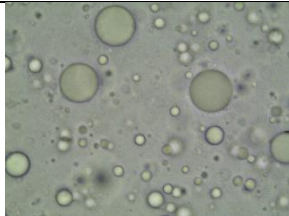
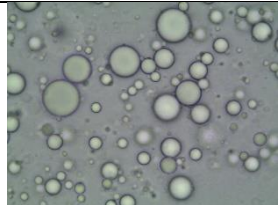
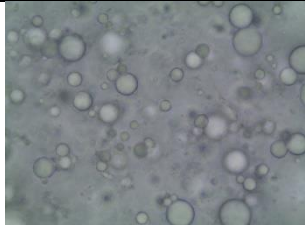


Tabla 3. Tamaño de partícula y tasa de coalescencia.



E1	E2	E3
----	----	----

Tamaño de partícula (μm)	1.63 ± 0.01^b	1.68 ± 0.01^a	1.67 ± 0.01^a
Tasa de coalescencia (1/s)	6.00×10^{-10}	1.00×10^{-8}	3.00×10^{-8}

Los valores son obtenidos de las medias de cinco repeticiones con su respectiva desviación estándar. Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes.

Microscopio

E1	Día 0 	Día 7 
	Día 14 	Día 21 
	Día 28 	

E2	Día 0 	Día 7 
	Día 14	Día 21

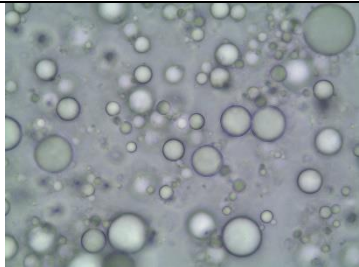
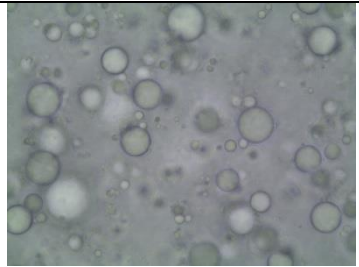
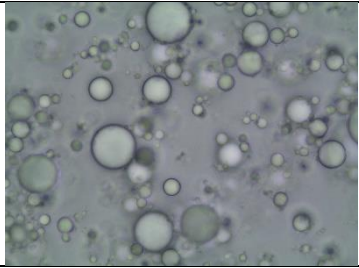
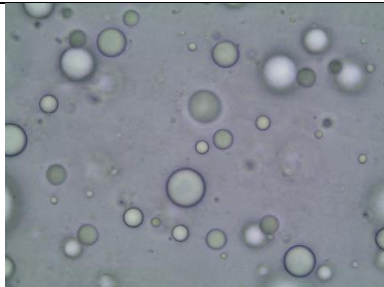
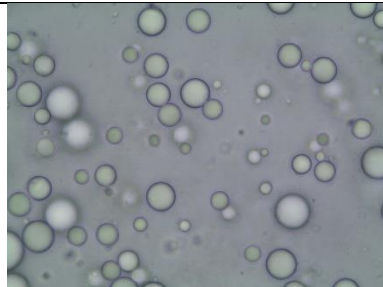

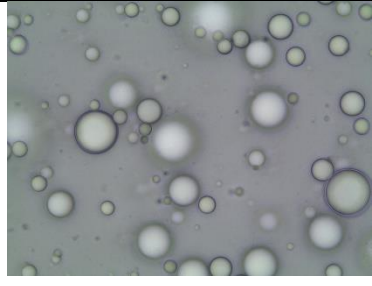
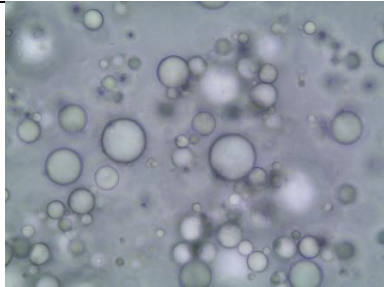
		
	Día 28	
		
E3	Día 0	Día 7
		
	Día 14	Día 21
		
	Día 28	
		

Figura 7. Micrografías de las emulsiones del día 0 al 21

Se utilizó un microscopio digital Leica para observar el comportamiento de las gotas de

la emulsión en el paso del tiempo. Las emulsiones se mantuvieron estables ya que no se observó una agregación significativa durante el almacenamiento (Figura 7) las tres emulsiones se observaron en el objetivo 100x.

7.1.2 Tamaño de partícula después de tratamiento térmico

Los resultados de tamaño de partícula antes y después del tratamiento se encuentran esquematizados en la Tabla 4.

Tabla 4. Determinación de tamaño de partícula de las emulsiones antes y después de un tratamiento térmico

Emulsiones	Antes Tamaño de partícula (μm)	Después Tamaño de partícula (μm)
E1	1.64 ± 0.01^a	1.64 ± 0.01^a
E2	1.69 ± 0.01^a	1.69 ± 0.01^a
E3	1.68 ± 0.01^a	1.68 ± 0.01^a

Los valores son obtenidos de las medias de cinco repeticiones con su respectiva desviación estándar.

7.1.3 Índice de cremado

El índice de cremado (IC) brinda información indirecta sobre el nivel de agregación de las gotas de una emulsión, entre mayor sea la agregación más rápido será el cremado (Ayunta et al., 2019). Este análisis nos permite observar el comportamiento de la emulsión, entre mayor sean los valores del índice de cremado la emulsión presentará un comportamiento más inestable. La evaluación del índice de cremado se elaboró colocando 10 ml de emulsión en tubos cónicos de 15 ml y se almacenaron en refrigeración durante 28 días. E1 presentó un IC del 0%, siguiendo la E2 con 5% y por último la E3 con 20% (Figura 8). Con los resultados obtenidos se puede notar que la E3 fue la más inestable, seguido de la E2 y siendo la E1 la más estable. En el año 2015 Fioramonti y colaboradores realizaron emulsiones multicapa en los cuales obtuvieron valores de cremado alto el cual oscilo entre el 10 y el 80% en los cuales se jugó con el pH y con el porcentaje de estabilizantes con finalidad de obtener emulsiones más estables.

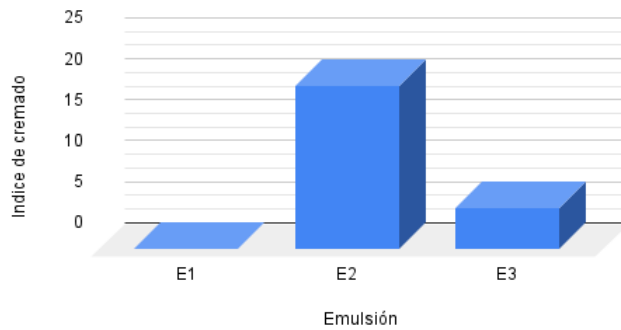


Figura 8. Porcentaje de índice de cremado para las formulaciones E1, E2 y E3

En la Figura 9 se observan como se comportaron las emulsiones de manera visual, en donde se puede notar que la E2 es la más inestable teniendo un mayor porcentaje de cremado.

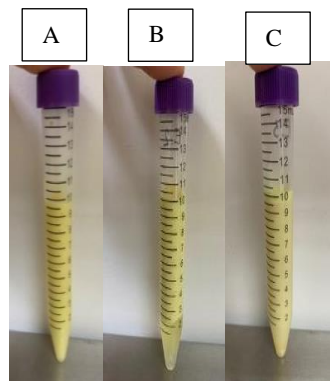


Figura 9. Índice de cremado de las emulsiones después de 30 días, A) E1, B) E2, C) E3

7.1.3 Propiedades reológicas de las emulsiones

Las propiedades reológicas de las emulsiones se llevaron a cabo con un reómetro modelo Anton Parr Rheolabqc en una temperatura de 25°C, con una geometría de cilindros CC39 y una velocidad de cizalla de 2 a 300 s⁻¹. Estas propiedades se refieren al comportamiento que tiene un sistema cuando es sometido a un proceso de deformación y como el fluido

fluye después de la deformación (González & Andrés, 2022). Se evaluó el parámetro n el cual indica el índice de comportamiento de flujo y el parámetro k el cual se refiere a la medida del índice del fluido, el cual se puede interpretar como una medida de la resistencia del fluido a la deformación y este depende de la temperatura. Cuando n es más cercano a 1 hay menos interacciones y más cercano a 0 estas interacciones se rompen. En la Tabla 5 se encuentran los parámetros n , k y r^2 ; la E2 mostró ser la más viscosa con un valor de n de 0.7035 esto se podía observar a simple vista siendo esta formulación la que contenía un mayor porcentaje de quitosano el cual evita las interacciones de las gotas y una viscosidad mayor. En el año 2022 González & Andrés evaluó el efecto de la distribución de tamaño de partícula en las propiedades reológicas de emulsiones concentradas y obtuvo resultados para k que rondaron de 0.56 a 2.76 y para n de 0.37 a 0.52 estos valores son cercanos a los que se obtuvieron con las emulsiones elaboradas.

Tabla 5. Parámetros reológicos del modelo de ley de potencia para las muestras de emulsiones

	n (adimensional)	k (Pa s ^{n})	r^2
E1	0.4612	3.0483	0.9997
E2	0.5995	3.7296	0.9983
E3	0.7035	0.3107	0.9965

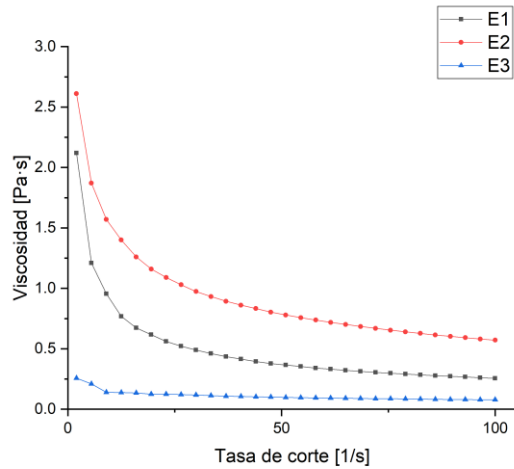


Figura 10. Curva de viscosidad de las emulsiones

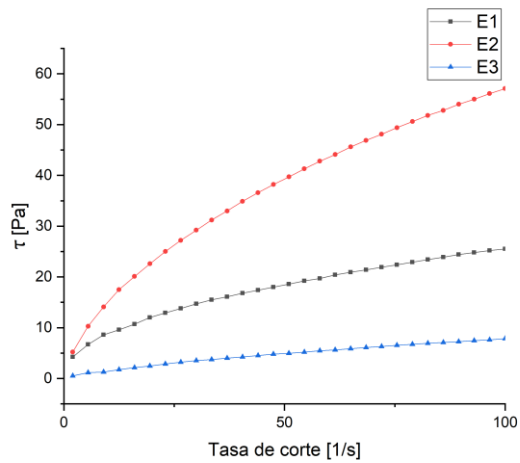


Figura 11. Curva de flujo de las emulsiones

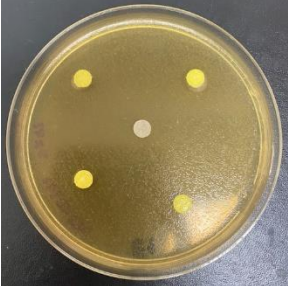
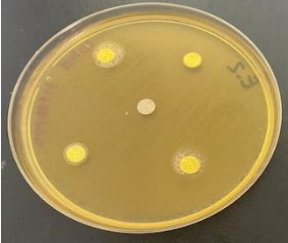
En la Figura 10 se grafican las tres emulsiones graficando la viscosidad y la tasa de corte en la cual se observa que la E2 presenta una mayor viscosidad, siguiendo E1 y E3, la cual presentó una menor viscosidad. En la Figura 11 se esquematiza la curva de flujo de las emulsiones donde se puede notar que estas se comportan como fluidos no newtonianos ya que no parten del 0 y el esfuerzo aumenta conforme aumenta la tasa de corte.

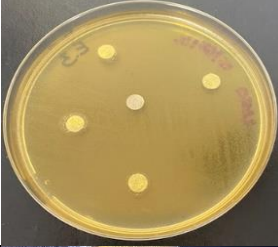
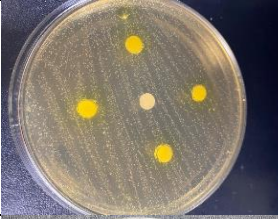
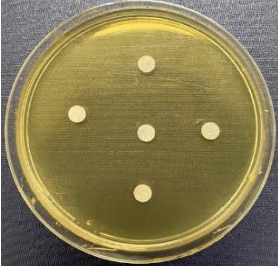
7.2 Actividad antimicrobiana de las emulsiones y extracto

La actividad antimicrobiana se puede definir como la capacidad que tiene un producto para poder llevar a cabo un efecto inhibitorio ante microorganismos de interés, esta actividad es determinada mediante análisis microbiológicos (Dominguez T., 2021) uno de

ellos es la presencia de halos de inhibición colocando el extracto que se desea evaluar frente a las bacterias de interés. Se ha demostrado que la cúrcuma presenta actividad antimicrobiana frente a distintas bacterias, por ello fue de suma importancia evaluar este parámetro. La curcumina desempeña un papel importante como inhibidor mediante el sistema de quorum sensing (QS), la curcumina ejerce un efecto inhibitor en el proceso de formación de biopelícula de la bacteria, además de reducir la biomasa del biofilm, evitar la adhesión y destruir la estructura del biofilm regulando el sistema QS (Zheng et al., 2020). Se ha visto que la curcumina presenta una mayor actividad antibacteriana en bacterias patógenas, Tyagi et al. (2015) realizaron un estudio con dos bacterias del género gram positivas y dos del género gram negativas estas representando bacterias patógenas muy frecuentes en humanos. Ambos estudios confirmaron que la curcumina presento actividad antibacteriana frente a esas bacterias utilizando microscopia electrónica de barrido y microscopia de fluorescencia confirmado En la Tabla 6 se observa que la curcumina y las emulsiones permitieron el crecimiento de las bacterias que se utilizan para elaborar el yogurt, debido a que estas bacterias brindan la propiedad probiótica.

Tabla 6. Actividad antimicrobiana de las emulsiones y extracto de curcumina

Formulación	Diámetro de halo de inhibición (mm)	Imagen
E1	ND	
E2	ND	

E3	ND	
EX	ND	
Control positivo (Amoxicilina con ácido clavulánico)	56 ± 2.11	

ND= No detectado.

Buniowska-Olejnik et al. (2023) evaluaron la influencia de los aditivos de curcumina en la viabilidad de las bacterias probióticas y la actividad antimicrobiana contra los microorganismos patógenos, en el caso de los microorganismos patógenos obtuvieron la presencia de halos de inhibición de hasta 9mm. En el caso de las bacterias probióticas determinaron que la curcumina en la leche de vaca fermentada permitió el crecimiento de los probióticos durante 28 días obteniendo valores de 7.7 log UFC/g del producto almacenado lo cual sugiere la supervivencia del probiótico durante los días analizados.

7.3 Actividad antioxidante de las emulsiones

7.3.1 Actividad antioxidante de la curcumina y curcumina

En la Tabla 7 y 8 podemos observar que al encapsular el extracto en las emulsiones este se ve protegido y no muestra diferencia significativa antes y después del tratamiento, a diferencia del extracto sin emulsión el cual si presentó una diferencia significativa al momento de realizar el tratamiento. En el año 2019 Cosquillo et al. llevó a cabo la caracterización fisico-química y capacidad antioxidante de extractos de rizoma de *Cúrcuma Longa* L obteniendo valores para DPPH de 0.81 (µg TE/g) y para ABTS de 0.73

($\mu\text{g TE/g}$) los cuales podemos ver que en el caso de DPPH los valores se encuentran cercanos, y por otro lado, en el método ABTS las muestras se encuentran por encima de esos resultados, en esta investigación se trabajó con un estándar por lo cual puede existir cierta diferencia en resultados obtenidos por una extracción tradicional ya que el método utilizado pudo interferir en la actividad antioxidante final.

Tabla 7. Efecto térmico de la solución de curcumina (EX) y las emulsiones (E1, E2 y E3) en la actividad antioxidante por el método ABTS.

Muestra	ABTS ($\mu\text{g TE/g}$) antes de tratamiento térmico	ABTS ($\mu\text{g TE/g}$) después de tratamiento térmico
E1	8.98 ± 0.013^a	7.57 ± 0.015^a
E2	9.97 ± 0.008^c	9.36 ± 0.016^{bc}
E3	10.72 ± 0.022^b	10.42 ± 0.012^b
EX	15.09 ± 0.017^d	9.42 ± 0.004^a

Los valores son obtenidos de las medias de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes. $n=3$

Tabla 8. Efecto térmico de la solución de curcumina (EX) y las emulsiones (E1, E2 y E3) en la actividad antioxidante por el método DPPH.

Muestra	DPPH ($\mu\text{g TE/g}$) después de tratamiento térmico	DPPH ($\mu\text{g TE/g}$) después de tratamiento térmico
E1	0.54 ± 0.024^a	0.51 ± 0.012^a
E2	1.02 ± 0.013^c	0.96 ± 0.019^{bc}
E3	0.80 ± 0.017^b	0.78 ± 0.013^b
EX	1.42 ± 0.020^d	0.48 ± 0.011^a

Los valores son obtenidos de las medias de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes. $n=3$

En la Tabla 9 se esquematiza en porcentaje la pérdida de actividad antioxidante en las emulsiones y el extracto, donde claramente se puede ver que el extracto tiene una gran pérdida de actividad antioxidante de un 37% para ABTS y un 66% para DPPH siendo la E3 la que brinda una mayor protección a la curcumina.

Tabla 9. Porcentaje de pérdida de actividad antioxidante debido al proceso térmico de las emulsiones y el extracto.

Muestra	Pérdida de actividad (%) ABTS	Pérdida de actividad (%) DPPH
E1	16.11	5.55
E2	7.71	5.35
E3	0.32	2.50
EX	37.54	66.62

7.4 Estandarización del proceso de fermentación

En la Tabla 10 se observan los resultados de fermentación, en los que cabe destacar a partir de 4 h, el pH disminuyó.

Tabla 10. pH y acidez titulable en yogurt control y yogurt con emulsión.

Hora	pH
0	6.8 ± 0.06
1	6.8 ± 0.06
2	6.8 ± 0.00

3	6.5 ± 0.06
4	5.4 ± 0.06
5	4.8 ± 0.06
6	4.4 ± 0.06

Los valores son obtenidos de las medias de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar.

7.5 pH y acidez en yogurt

En la Tabla 11 se observan el pH y acidez titulable para el yogurt control y el yogurt con emulsión; los cuales según la NOM-181-SCFI-2010 menciona que el porcentaje mínimo de acidez titulable expresada como porcentaje de ácido láctico es de al menos 0.5% así que nuestras formulaciones cumplen con lo establecido por la normativa.

Tabla 11. pH y acidez titulable en yogurt control y yogurt con emulsión.

Muestra	% de acidez	pH inicial	pH final
YC	$0.830 \% \pm 0.02$	6.65 ± 0.06	4.42 ± 0.05
YE	$0.544 \% \pm 0.03$	6.65 ± 0.06 leche y 4.70 ± 0.06 emulsión	4.40 ± 0.05

Los valores son obtenidos de las medias de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar.

7.5.1 Propiedades reológicas del yogurt

Los valores del yogurt que se obtuvo en esta investigación se encuentran con mayor similitud al yogurt con emulsión los cuales están esquematizados en la Tabla 12 que al yogurt control lo cual coincide con lo esperado.

Tabla 12. Parámetros reológicos del modelo de ley de potencia para las muestras de yogurt

	n (adimensional)	k (Pa s ⁿ)	r ²
YE	0.693	0.4995	0.9908
YC	0.4546	5.7139	0.9958

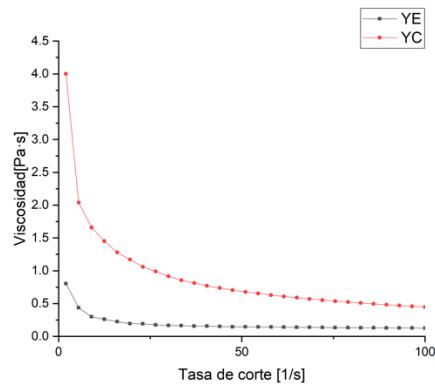


Figura 12. Curva de viscosidad del yogurt

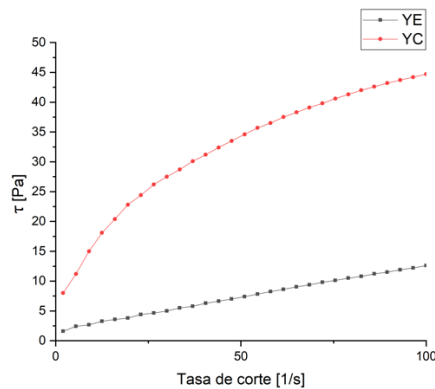


Figura 13 Curva de flujo del yogurt

En la Figura 12 claramente se observa que el YC presenta una mayor viscosidad, esto era observado a simple vista ya que el YC tenía la consistencia de un yogurt batido y el YE de un yogurt bebible, esto está relacionado a que la emulsión disminuye la viscosidad del yogurt. En la Figura 13 se ve el comportamiento de las emulsiones en lo que destaca que ambas muestras de yogurt se comportan como fluidos no newtonianos ya que presentan una tendencia no lineal, siendo el YE el cual tiene un comportamiento más cercano al newtoniano.

7.5.2 Actividad antioxidante del yogurt

El YC y YE presentaron diferencias significativas en el inicio y final de las mediciones lo cual sugiere la existencia de actividad antioxidante al momento de adicionar a emulsión al yogurt. Lu et al. (2023) evaluaron leche fermentada con curcumina obteniendo valores de 1.86 para DPPH y valores de 4.20 para ABTS en la Tabla 13 y 14 se esquematizan los valores que se obtuvieron en esta investigación las cuales están cercanas a lo que obtuvieron Lu y colaboradores, las diferencias pueden estar relacionadas al método para romper las emulsiones y llevar a cabo la determinación de esta actividad.

Tabla 13. Actividad antioxidante por método ABTS para yogurt control y yogurt emulsión (durante 4 semanas)

Semana	YC ($\mu\text{g TE/g}$)	YE ($\mu\text{g TE/g}$)
0	2.75 ± 0.028^b	8.86 ± 0.006^e
1	2.13 ± 0.006^{ab}	7.10 ± 0.012^e
2	2.52 ± 0.001^b	7.81 ± 0.003^d
3	0.91 ± 0.012^a	8.25 ± 0.009^{de}
4	1.10 ± 0.017^a	5.18 ± 0.015^b

Los valores obtenidos corresponden a las medias de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes. Valores obtenidos durante cuatro semanas del producto en refrigeración.

Tabla 14. Actividad antioxidante por método DPPH para yogurt control y yogurt emulsión

Semana	YC ($\mu\text{g TE/g}$)	YE ($\mu\text{g TE/g}$)
0	0.065 ± 0.009^b	0.827 ± 0.008^e
1	0.038 ± 0.011^{ab}	0.800 ± 0.011^{de}
2	0.026 ± 0.048^b	0.866 ± 0.044^{cde}
3	0.001 ± 0.022^a	0.907 ± 0.018^b
4	0.014 ± 0.009^c	0.841 ± 0.009^c

Los valores obtenidos corresponden a las medias de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes. Valores obtenidos durante cuatro semanas del producto en refrigeración.

7.6 Viabilidad microbiana en yogurt

En la Tabla 15 se observa que a partir de la semana 2 no existió diferencia significativa entre el YC y el YE la diferencia entre las primeras semanas pudo deberse a un proceso de adaptación de las emulsiones con el yogurt, de igual forma desde el inicio de las mediciones hasta la última semana se encontraron valores dentro de lo establecido por el CODEX, el cual establece que debe tener un mínimo de 7 LOG UFC/g. Lu (2023) evaluó leche con curcumina fermentada y obtuvo valores de 8.69 ± 0.088 LOG UFC/g.

Tabla 15. Viabilidad microbiana del yogurt

Semanas	YC (log UFC/g)	YE (log UFC/g)
---------	-------------------	-------------------

0	10.64 ± 0.011^d	10.40 ± 0.022^e
1	10.46 ± 0.024^c	10.44 ± 0.026^e
2	10.69 ± 0.013^{bc}	10.69 ± 0.006^{bcd}
3	10.74 ± 0.013^a	10.74 ± 0.005^{ab}
4	10.60 ± 0.007^d	10.63 ± 0.010^d

Los valores obtenidos corresponden a las medias de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar. Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes. Valores obtenidos durante cuatro semanas del producto en refrigeración

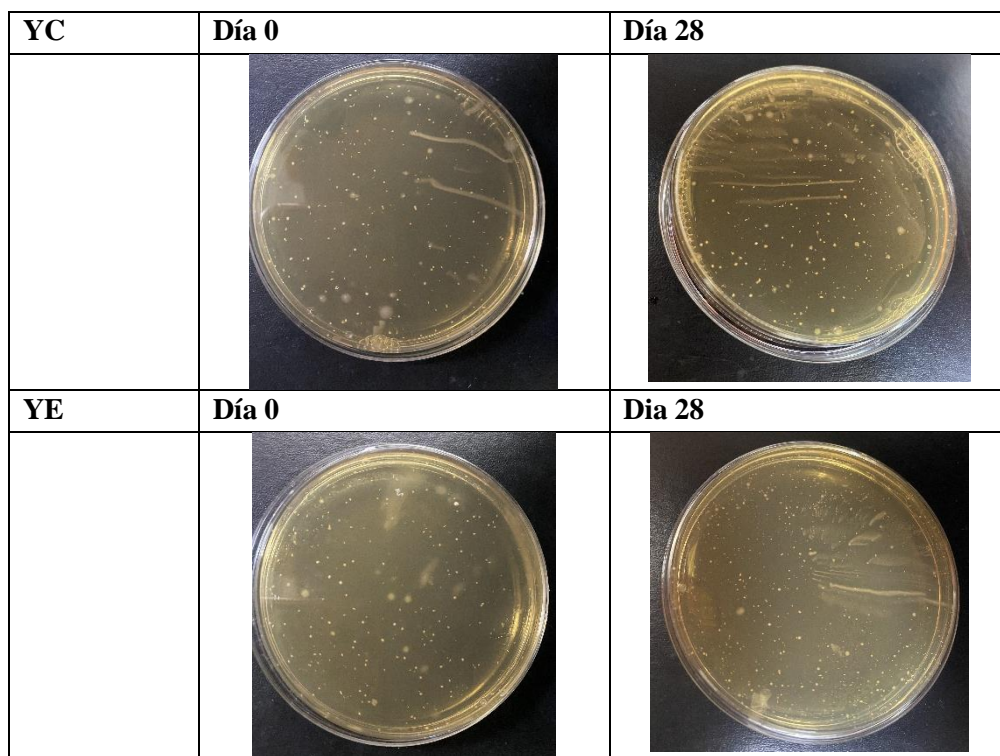


Figura 14. Crecimiento microbiano para yogurt con emulsión (YE) y yogurt control (YC)

En la Figura 14 se observa el crecimiento en agar MRS del YC y YE de durante 4 semanas en las cuales a simple vista no existe diferencia entre el crecimiento bacteriano.

7.7 Variables de color

En la Tabla 16 se muestran los valores de L*, a* y b*. En b* se observa que el YE fue mayor al YC; esto debido a la presencia de la emulsión la cual tiene un color amarillo, y en el caso de L*, el YC presentó el valor más alto. Buniowska-Olejnik (2023) evaluaron la influencia de curcumina en un yogurt en donde se analizaron las variables de color en ese proyecto se obtuvieron valores de L* de 88.56, para a* de 1.53 y para b* de 9.01, los cuales se asemejan a los obtenidos en esta investigación.

Tabla 16. Valores de variables de color.

Tratamiento	Coordendas de color		
	L*	a*	b*
YC	90,46 ± 1.06	-11,68 ± 0.19	8,74 ± 0.25
YE	89,07 ± 1.24	-6,94 ± 0.14	22,9 ± 0.23

L* (luminosidad, 0 negro a 100 blanco),) a* (-verde a +rojo) y b* (-azul a +amarillo).

7.8 Evaluación sensorial

No existió diferencia significativa entre la muestra A y B (Tabla 17) para ningún parámetro, a excepción del color el cual era notorio ya que la emulsión le brindaba un color amarillo y a la muestra A no se le adicionó ningún colorante, el aspecto que más importaba fue la apreciación global la cual obtuvo un valor de 6.7 para A y 6.5 para la muestra B. En el caso de la muestra C, este no tuvo buena aceptación por el consumidor obteniendo un valor de apreciación global de 4.5 y presentó diferencia significativa para todos los parámetros en comparación con la muestra A y la muestra B.

Tabla 17. Evaluación sensorial mediante prueba hedónica de cinco puntos para tres muestras de yogurt.

Muestra	Olor	Color	Sabor	Textura	Apreciación global
A	6.3 ± 2.2 ^a	7.4 ± 1.9 ^a	6.4 ± 2.4 ^a	6.2 ± 2.4 ^a	6.7 ± 1.7 ^a

B	6.0 ± 2.3^a	6.5 ± 1.9^b	6.1 ± 2.4^a	6.4 ± 2.3^a	6.5 ± 1.9^a
C	5.2 ± 2.0^b	5.0 ± 2.5^c	3.7 ± 2.7^b	4.4 ± 2.6^b	4.5 ± 2.4^b

A: Yogurt control

B: Yogurt con emulsión

C: Yogurt con cúrcuma sin emulsión

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes.

Buniowska-Olejnik (2023) evaluó la adición de curcumina en yogurt; ese autor llevó a cabo un análisis sensorial el cual no obtuvo aceptación por los jueces de igual forma que el yogurt que se realizó en este trabajo el cual se adicionado con la cúrcuma sin emulsión no obtuvo aceptación por el jurado.

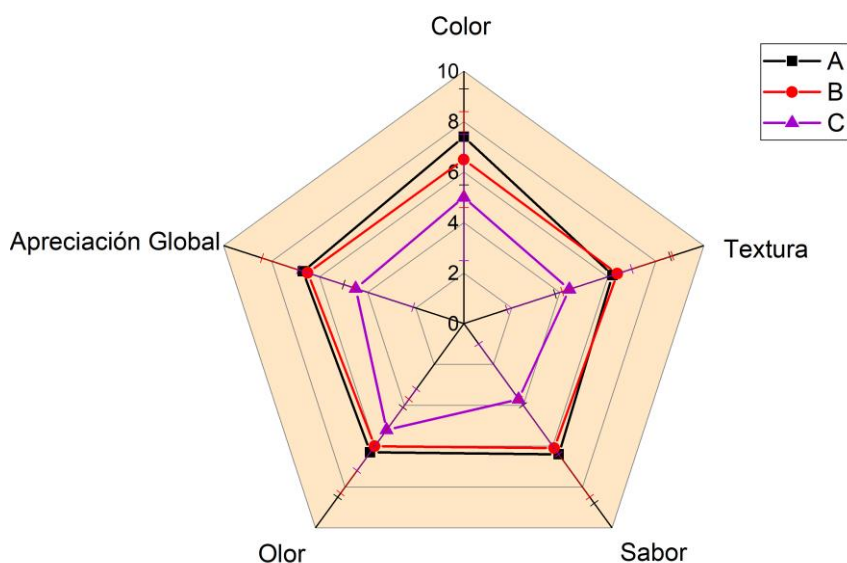


Figura 17. Aceptación sensorial de tres muestras de yogurt.

La Figura 17 presenta la aceptación de las tres muestras de yogurt; aquellas líneas que se acercan más al centro obtuvieron una menor aceptación y las que se alejan obtuvieron una mayor aceptación; en la Figura 17 se puede observar como las líneas rojas y negras las cuales corresponden a la muestra A y a la muestra B se encuentran juntas en todos los aspectos a excepción del color y la línea morada perteneciente a la muestra C se encuentra al centro lo cual demuestra una menor aceptación del producto.

8. CONCLUSIONES

- Las emulsiones se mostraron estables obteniendo tasas de coalescencias bajas en el orden de 10^{-8} a 10^{-10} . La E2 mostró un mayor índice de cremado (20%) en comparación con la E1 (0%) y E3 (5%) las cuales mostraron un índice de cremado mínimo.
- La formulación E3 estabilizada con multicapas de biopolímeros presentó la menor pérdida de actividad antioxidante de 0.32% para ABTS y de 2.50 % para DPPH después de un tratamiento térmico que simula la pasteurización.
- Las formulaciones y el extracto no presentaron actividad antimicrobiana frente al cultivo lácteo.
- La emulsión E3 estabilizada con multicapas de biopolímeros no interfirió en la viabilidad microbiana del yogurt durante la vida de anaquel del producto en refrigeración teniendo valores promedio de 10.58 log UFC/ml.
- El yogurt con emulsión y sin emulsión cumple con los parámetros de pH y acidez establecidos por la normativa oficial para ser denominado yogurt.
- El yogurt con emulsión presentó mayor actividad antioxidante de 7.44 $\mu\text{g TE/g}$ para ABTS y de 0.842 $\mu\text{g TE/g}$ para DPPH en comparación del yogurt sin emulsión que tuvo resultados de 1.92 $\mu\text{g TE/g}$ para ABTS y 0.028 $\mu\text{g TE/g}$ para DPPH. y
- El yogurt control y el yogurt el con emulsión no presentaron diferencias significativas con respecto al parámetro de apreciación global, esto demuestra que la emulsión evita que el sabor de la cúrcuma interfiera en el producto.

9.PERSPECTIVAS

- Lograr una emulsión más estable utilizando un barrido más amplio de polímeros para encontrar en cuál de ellos la emulsión tiene mayor estabilidad.
- Realizar la extracción de curcumina y caracterizarla.
- Evaluar el comportamiento de distintos polímeros en el método de deposición capa por capa y de esta forma poder incorporar la emulsión al inicio del proceso de fermentación.

10.- REFERENCIAS

- Aguirre, P. (2019). Functional foods, between the new and old corporalities. *AIBR Revista de Antropología Iberoamericana*, 14(1), 95–120. <https://doi.org/10.11156/aibr.140106>
- Alvis, A., Arrazola, G., & Martínez, W. (2012). Evaluación de la actividad y el potencial antioxidante de extractos hidro-alcohólicos de Cúrcuma (Cúrcuma longa). *Informacion Tecnologica*, 23(2), 11–18. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200003>
- Artunduaga Antury, K. L., Vargas Rojas, D. A., & Barrera Bermeo, Ó. M. (2021). Conservación de las propiedades nutraceuticas del Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller), mediante técnicas de secado. *Ingeniería y Región*, 25, 6–21. <https://doi.org/10.25054/22161325.2818>
- Autores, C. de. (2011). *CODEX-ALIMENTARIUS Leche y Productos Lácteos. Segunda edición*. D - FAO.
- Ayunta, C. A., Puppo, M. C., & Iturriaga, L. B. (2019). *EVALUACION DE LAS PROPIEDADES EMULSIONANTES DE UN CONCENTRADO DE PROTEINAS DE SUERO A FRACCIONES VOLUMETRICAS INTERMEDIAS*.
- Bances Majuan, K. del M., & Cachay Santillán, K. M. (2020). *Efecto de la incorporación de la mezcla de goma xantana (xanthomonas campestris), algarrobo (prosopis pollida) y tara (caesalpinia spinosa) en las propiedades reológicas y sensoriales del yogurt tipo griego*. Universidad Señor de Sipán.
- Bhat, A., Mahalakshmi, A. M., Ray, B., Tuladhar, S., Hediya, T. A., Manthiannem, E., Padamati, J., Chandra, R., Chidambaram, S. B., & Sakharkar, M. K. (2019). Benefits of curcumin in brain disorders. *BioFactors*, 45(5), 666–689. <https://doi.org/10.1002/biof.1533>
- Blanco, P. (2015). *Caracterización de bacterias de Streptococcus thermophilus aisladas de leche cruda bovina, ovina y caprina*. 32. <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/pasan/uy24-17716.pdf>
- Blandón Navarro, S. L., & Ponce Arévalo, C. M. (2021). Extracción de oleoresina de cúrcuma (cúrcuma longa) utilizando etanol como solvente. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 11(2), 48–58. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v11i2.13028>
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity*. (2nd ed.). Academic Press.
- Bouyer, E., Mekhloufi, G., Rosilio, V., Grossiord, J.-L., & Agnely, F. (2012). Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field? *International Journal of Pharmaceutics*, 436(1–2), 359–378. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.06.052>
- Buniowska-Olejniak, M., Urbański, J., Mykhalevych, A., Bieganowski, P., Znamirowska-Piotrowska, A., Kačániová, M., & Banach, M. (2023). The influence of curcumin additives on the viability of probiotic bacteria, antibacterial activity against pathogenic microorganisms, and quality

indicators of low-fat yogurt. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1118752>

- Burapan, S., Kim, M., Paisooksantivatana, Y., Eser, B. E., & Han, J. (2020). Thai Curcuma species: Antioxidant and bioactive compounds. *Foods*, 9(9), 1–11. <https://doi.org/10.3390/foods9091219>
- Chandran, B., & Goel, A. (2012). A randomized, pilot study to assess the efficacy and safety of curcumin in patients with active rheumatoid arthritis. *Phytotherapy Research*, 26(11), 1719–1725. <https://doi.org/10.1002/ptr.4639>
- Cömert, E. D., & Gökmen, V. (2018). Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Research International*, 105(August 2017), 76–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>
- Corzo Diana. (2012). Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 43, 81–86. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57928310009>
- Cosquillo Rafael, M., Placencia Medina, M., Retuerto Figueroa, M., Gorriti Gutierrez, A., & Tarazona Huamaní, J. (2019). Caracterización físico-química y capacidad antioxidante de extractos del rizoma de *Curcuma longa* L. *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, 3(4), 160–166. <https://doi.org/10.26722/rpmi.2018.34.97>
- Da Silva-Buzanello, R. A., De Souza, M. F., De Oliveira, D. A., Bona, E., Leimann, F. V., Filho, L. C., De Araújo, P. H. H., Ferreira, S. R. S., & Gonçalves, O. H. (2016). Preparation of curcumin-loaded nanoparticles and determination of the antioxidant potential of curcumin after encapsulation. *Polimeros*, 26(3), 207–214. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2246>
- De La Paz, N., Pérez, D., Fernández, M., Soler, D. M., Rodríguez, Y., & Nogueira, A. (2017). Estabilidad física de bases emulsionadas e hidrosolubles con quitosana y acetato de quitosana [Physical stability of emulsion and hydrophilic gels with chitosan and chitosan acetate]. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 5(5), 288–300. <http://jppres.com/jppres>
- Dominguez Trejo Eloísa. (2021). *Actividad antimicrobiana y antifúngica in vitro de Cúrcumalonga L. y Centella asiática L. frente a microorganismos de importancia clínica.*
- Esparza-Zelada, N.-I. (2021). *Cúrcuma (Curcuma longa): Una Revisión Bibliográfica Del Procesamiento, Propiedades Funcionales Y Capacidad Antimicrobiana*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.
- Fernanda Meléndez-Sosa, M., Montserrat García-Barrales, A., Andrea, N., & Licenciatura En Biotecnología, V.-G. (2020). PERSPECTIVES AND IMPACT ON HEALTH FROM FUNCTIONAL FOOD AND NUTRACEUTICAL CONSUMPTION IN MEXICO. *Revista RD*, 6(1), 114–136.
- Fioramonti, S. (2015). *Aplicación de emulsiones multicapa para la encapsulación de aceites con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados.* Universidad Nacional del Litoral.

- Freire Rodriguez, M. (2018). Desarrollo de emulsiones dobles y emulsiones dobles gelificadas como análogos de grasa y su aplicación en productos cárnicos funcionales. *Universidad Complutense De Madrid Facultad*, 48. <https://eprints.ucm.es/49912/1/T40546.pdf>
- Fuentes Berrio, L., Acevedo Correa, D., Chantre, C. A., & Gelvez Ordoñez, V. M. (2015). Alimentos Funcionales: Impacto Y retos Para El Desarrollo Y Bienestar De La Sociedad Colombiana. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 140. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)140-149](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)140-149)
- González-Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R. M., Lavandera, J. L., Alkorta, I., & Elguero, J. (2015). Curcumin and curcuminoids: chemistry, structural studies and biological properties Title in Spanish: Curcumina y curcuminoides: química, estudios estructurales y propiedades biológicas ANALES DE LA REAL ACADEMIA NACIONAL DE FARMACIA. *An Real Acad Farm*, 81, 278–310.
- González, G., & Andrés, J. (2022). *Efecto de la distribución de tamaño de partícula en las propiedades reológicas de emulsiones concentradas*.
- Güija-Poma Emilio, Inocente-Camones Miguel Ángel, Ponce-Pardo John, & Zarzosa-Norabuena Edwin. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horiz Med*, 1, 57–60.
- Hebishy, E., Zamora, A., Buffa, M., Blasco-Moreno, A., & Trujillo, A. J. (2017). Characterization of whey protein oil-in-water emulsions with different oil concentrations stabilized by ultra-high pressure homogenization. *Processes*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/pr5010006>
- Herrero, A. (2018). *Curcuma Artículo*. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ANA ISABEL ANDRES HERRERO.pdf>
- Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A review of its effects on human health. In *Foods* (Vol. 6, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods6100092>
- Ibáñez, M. D., & Blázquez, M. A. (2021). Curcuma longa L. Rhizome essential oil from extraction to its agri-food applications. a review. *Plants*, 10(1), 1–31. <https://doi.org/10.3390/plants10010044>
- Izaguirre-Silva, J., Belmares-Cerda, R., & Cruz-Hernández, M. (2013). *Uso de Tecnologías Emergentes para la Elaboración de Bebidas Funcionales (Aloe Vera)*.
- Jackson, J. K., Higo, T., Hunter, W. L., & Burt, H. M. (2006). The antioxidants curcumin and quercetin inhibit inflammatory processes associated with arthritis. *Inflammation Research*, 55(4), 168–175. <https://doi.org/10.1007/s00011-006-0067-z>
- Jiménez-Colmenero, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición Hospitalaria*, 28(5), 1413–1421. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6673>
- Kitchener, J. A., & Musselwhite, P. R. (1968). Theory of stability of emulsions. En: Emulsion

Science. In P. Sherman (Ed.), *Theory of stability of emulsions. En: Emulsion Science* (Academic Press, pp. 122–123). Academic Press.

- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), 726–732. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>
- Laffita, O., & Castillo, A. (2011). ACTUALIZACIÓN DE TEMA: Avances en la caracterización farmacotológica de la planta medicinal *Curcuma longa* Linn. *Medisan*, 16(1), 97–114.
- Lu, J.-J., Cheng, M.-C., Khumsupan, D., Hsieh, C.-C., Hsieh, C.-W., & Cheng, K.-C. (2023). Evaluation of Fermented Turmeric Milk by Lactic Acid Bacteria to Prevent UV-Induced Oxidative Stress in Human Fibroblast Cells. *Fermentation*, 9(3), 230. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030230>
- Marcolino, V. A., Zanin, G. M., Durrant, L. R., Benassi, M. D. T., & Matioli, G. (2011). Interaction of curcumin and bixin with β -cyclodextrin: Complexation methods, stability, and applications in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 3348–3357. <https://doi.org/10.1021/jf104223k>
- Martínez Rodríguez, M. (2014). Formación y caracterización de emulsiones altamente concentradas de betún en agua. *Dipòsit Digital de La Universitat de Barcelona*. <http://hdl.handle.net/2445/58163>
- Matos, M., Luque, S., & Gutiérrez, G. (2020). *Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos* (Vol. 116, Issue 2). www.rseq.org
- Matute, C. N. L., Panades, A. G., Cruz, V. L., Echavarría, V. A., & Bravo, B. V. (2016). Diseño de una bebida potencialmente funcional de tomate (*Lycopersicon esculentum*) con tumeric (*Curcuma longa* Linn) (Design of a functional beverage of tomato juice (*Lycopersicon esculentum*) with tumeric (*Curcuma longa* Linn)). *Revista CUMBRES*, 2(2), 49–55.
- McClements D. J. (2016). *Food emulsions: principles practices and techniques*. (3rd ed.). CRC Press Taylor & Francis Group.
- Morocho, V., & Naranjo, J. (2021). *Universidad De Guayaquil Facultad de Ingeniería Química*. <https://secure.orkund.com/view/107507642-819679-252099#/details/findings/matches/121>
- Nagaoka, S. (2019). *Yogurt Production BT - Lactic Acid Bacteria: Methods and Protocols* (M. Kanauchi (ed.); pp. 45–54). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8907-2_5
- Nenseter, M. S., Halvorsen, B., Rosvold, Ø., Rustan, A. C., & Drevon, C. A. (1995). Paracetamol Inhibits Copper Ion-Induced, Azo Compound-Initiated, and Mononuclear Cell-Mediated Oxidative Modification of LDL. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 15(9), 1338–1344. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.15.9.1338>

- NOM-181-SCFI-2010. (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-181-SCFI-2010, Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba.*
- Núñez Solano, A. A., Cerecero Aguirre, P., Sánchez Vargas, L. O., Robles Navarro, J. B., & Bermeo Escalona, J. R. (2020). Efecto antimicrobiano de curcumina sobre *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*. *Nova Scientia*, *12*(25), 1–12. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2474>
- Ochoa, M., Hernández-Becerra, A. A. ; Cavazos-Garduño, J. A. ; Vernon-Carter, A. ; García, E. J. ; & Whitaker, S. (2016). PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CURCUMIN NANOEMULSIONS OBTAINED BY THIN-FILM HYDRATION EMULSIFICATION AND ULTRASONICATION METHODS. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *15*(1), 79–90. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62045307009>
- Paucar, A., Matute, N.-L., & Echaverría, A.-P. (2018). Caracterización físicoquímica de una mezcla de *Cucumis sativus* L. y *Aloysia triphylla* (Cedrón) con propiedades nutraceuticas. *FACSALUD*, *2*, 13–18.
- Pino, J. A., & Aragüez, Y. (2021). Conocimientos actuales acerca de la encapsulación de aceites esenciales Current knowledge about the encapsulation of essential oils. *Rev. CENIC Cienc. Quím*, *52*(1).
- Popuri, A. K., & Pagala, B. (2013). Extraction of curcumin from turmeric roots. *International Journal of Innovative Research Study*, *2*(5), 289–299.
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). *Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor* (Vol. 12). Recétela.
- Risco Rufino Jenny Carolina. (2015). “*ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE YOGURT APARTIR DE LECHE DE CABRA (Cilpru hircus) EDULCORADO CON ESTEVIA (Stevia ReballidilliUI Bertoni), FRUTADO CON MANGO (manglfera indica cv. Kent) Y ENRIQUECIDO CON SEMILLAS DE CHIA (sllvia hispñnica).*”
- Rodríguez-Bernal, Serna-Jiménez, J. M. ; Uribe-Bohórquez, J. A. ; Klotz, M. A. ; & Quintanilla-Carvajal, B. ; (2014). Universidad Autónoma Metropolitana Unidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *13*, 213–225. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62031166017>
- Rodríguez Oscar, Andrade William, & Dias Fabio. (2014). *Actividad antioxidante de extractos de hojas de Bocconia frutescens L. (Papaveraceae).*

- Saiz de Cos, P., & Pérez-Urria Carril, E. (2014). Cúrcuma I (Curcuma longa L.). *REDUCA Biología*, 7(2), 84–99.
- Sánchez Jiménez, J. J. (2020). *Evaluación de la viabilidad de las bacterias ácido-lácticas usadas para la elaboración de yogurt frente a fluido gástrico simulado*.
- Soares, M. (2017). *Desarrollo de nuevos productos alimenticios: incorporación de extractos de plantas como ingredientes funcionales y conservantes naturales*. 237. <https://eprints.ucm.es/42896/1/T38838.pdf>
- Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. (2007). Industrial yogurt manufacture: Monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2641–2654. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-802>
- Timba, P. P., Ghorai Giri, S., & Panchal, R. V. (2019). Health benefits and possible Risks of Turmeric, Garlic and Ginger: A short Review. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4656–4659. www.irjet.net
- Torre-Álvarez, C., Báez-González, J. G., Amaya Guerra, C. A., Núñez-González, A., & Alania Guzmán, M. G. (2016). Desarrollo de emulsiones con aceite esencial de naranja formuladas con diferentes biopolímeros. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 850–856. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/10/147.pdf>
- Tyagi, P., Singh, M., Kumari, H., Kumari, A., & Mukhopadhyay, K. (2015). Bactericidal activity of curcumin I is associated with damaging of bacterial membrane. *PLoS ONE*, 10(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121313>
- Villena-Tejada, M., Vera-Ferchau, I., Cardona-Rivero, A., Zamalloa-Cornejo, R., Quispe-Florez, M., Frisancho-Triveño, Z., Abarca-Meléndez, R. C., Alvarez-Sucari, S. G., Mejia, C. R., & Yañez, J. A. (2021). Use of medicinal plants for COVID-19 prevention and respiratory symptom treatment during the pandemic in Cusco, Peru: A cross-sectional survey. *PLOS ONE*, 16(9), e0257165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257165>
- Zheng, D., Huang, C., Huang, H., Zhao, Y., Khan, M. R. U., Zhao, H., & Huang, L. (2020). Antibacterial Mechanism of Curcumin: A Review. In *Chemistry and Biodiversity* (Vol. 17, Issue 8). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000171>