

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



TESIS

**“OBTENCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A PARTIR DEL
CONSORCIO MICROBIANO SCOPY MEDIANTE SUERO DE
LECHE Y *Phoenix dactylifera* PARA SU APLICACIÓN EN UNA
EMULSIÓN ALIMENTARIA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

Bach. EMBER FREDDY FLORES VALENCIA

Bach. PAOLA MIRELLA FLORES TOTORA

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

TESIS

**“OBTENCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A PARTIR DEL
CONSORCIO MICROBIANO SCOPY MEDIANTE SUERO DE
LECHE Y *Phoenix dactylifera* PARA SU APLICACIÓN EN UNA
EMULSIÓN ALIMENTARIA”**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de diciembre de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtra. MARTHA DANIELA RUBIRA OTÁROLA

SECRETARIO : Mtra. ELIZABETH ANABEL AYCA LLANOS

VOCAL : Dra. MARILÚ HILDA MANCHEGO COLQUE

ASESOR : Dr. RAUL CARTAGENA CUTIPA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Ember Freddy Flores Valencia; Paola Mirella Flores Totorá, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 71984342 y 76008204 respectivamente, así como Raul Cartagena Cutipa con DNI 01326695; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *Obtención de celulosa bacteriana a partir del consorcio microbiano SCOPY mediante suero de leche y Phoenix dactylifera para su aplicación en una emulsión alimentaria*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Agroindustrial*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 12 de diciembre de 2024

Ember Freddy Flores Valencia
DNI: 71984342

Raul Cartagena Cutipa
DNI: 01326695

Paola Mirella Flores Totorá
DNI: 76008204

DEDICATORIA

A mi mamá Marleni, por supuesto.

Ember Freddy Flores Valencia

A Dios, a mis padres y familia.

Paola Mirella Flores Totorá

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos expresar nuestra gratitud a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial del periodo 2015-2020. Sus enseñanzas han sido la base de nuestra formación profesional.

De forma especial, agradecemos al Dr. Raul Cartagena Cutipa por su asesoramiento, apoyo y dedicación en este trabajo.

Ember Freddy Flores Valencia
Paola Mirella Flores Totorá

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Justificación e Importancia	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Hipótesis	6
1.5.1. Hipótesis específicas.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.2. Bases Teóricas.....	13
2.2.1. Celulosa Bacteriana	13
2.2.1.1. Estructura química y física de la celulosa bacteriana.....	14
2.2.1.2. Síntesis de la celulosa bacteriana	15
2.2.2. Métodos de producción de celulosa bacteriana	16
2.2.2.1. Kombucha	17
2.2.2.2. Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY).....	19
2.2.3. Factores que influyen en la producción de la celulosa bacteriana	21
2.2.4. La celulosa bacteriana en la industria alimentaria	22
2.2.5. Suero de leche	23
2.2.5.1. Impacto ambiental del suero.....	23

2.2.6. <i>Phoenix dactylifera</i> (Palmera datilera)	24
2.2.6.1. Dátil	25
2.2.6.2. Subaprovechamiento del dátil	27
2.2.7. Reología en los alimentos	28
2.2.7.1. Comportamiento de flujo	28
2.2.7.2. Parámetros Reológicos	29
2.2.7.3. Modelo de Ley de la Potencia	32
2.2.7.4. Alimentos Semisólidos	34
2.2.7.5. Comportamiento de alimentos semisólidos	35
2.2.8. Emulsiones	36
2.2.8.1. Emulsiones de aceite en agua	37
2.2.8.2. Agentes tensioactivos y emulsionantes	37
2.2.9. Evaluación Sensorial	38
2.2.9.1. Características Sensoriales	39
2.2.9.2. Pruebas de aceptación o hedónicas	40
2.3. Definición de términos	42
2.3.1. Celulosa bacteriana	42
2.3.2. Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY)	42
2.3.3. Fermentación	42
2.3.4. Suero de leche	42
2.3.5. Dátil	42
2.3.6. Emulsionantes alimentarios	42
2.3.7. Viscosidad Aparente	43
2.3.8. Fluido no newtoniano	43
2.3.9. Evaluación Sensorial	43
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	44
3.1. Diseño de la investigación	44
3.2. Acciones y actividades	46
3.2.1. Obtención de la celulosa bacteriana	46
3.2.1.1. Obtención de la Materia prima	46
3.2.1.2. Caracterización de la materia prima	47
3.2.1.3. Preparación de los sustratos	50
3.2.1.4. Condiciones de fermentación	51
3.2.1.5. Control del pH y °Bx final	52
3.2.1.6. Purificación y cuantificación de la CB	52
3.2.1.7. Caracterización de la CB	52
3.2.2. Producción de una emulsión tipo mayonesa	54

3.2.2.1. Formulación.....	54
3.2.2.2. Preparación de la materia prima.....	54
3.2.2.3. Homogenización.....	55
3.2.2.4. Emulsificación	55
3.2.2.5. Caracterización de las emulsiones	55
3.2.2.6. Evaluación Sensorial	56
3.3. Materiales y/o instrumentos.....	57
3.4. Población y/o muestra de estudio.....	58
3.5. Operacionalización de variables.....	58
3.6. Procesamiento y análisis de datos	59
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	61
4.1. Características de la materia prima	61
4.2. Características de los sustratos y los medios de cultivo	62
4.3. Variación del pH.....	63
4.4. Variación de los grados Brix	64
4.5. Producción de CB	65
4.5.1. Tasa de producción de CB	67
4.6. Características de la CB.....	68
4.6.1. Espesor de la CB	68
4.6.2. Capacidad de retención de agua.....	69
4.6.3. Tasa de liberación de agua	69
4.6.4. Morfología de la CB.....	70
4.7. Formulación de la emulsión tipo mayonesa.....	76
4.8. Características de la Emulsión	77
4.8.1. pH	77
4.8.2. Análisis Reológico	77
4.8.2.1. Viscosidad.....	77
4.8.2.2. Comportamiento de flujo e índice de consistencia	79
4.8.3. Análisis Microbiológico	81
4.8.4. Estabilidad.....	82
4.9. Evaluación Sensorial.....	83
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	87
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales microorganismos en el SCOBY	20
Tabla 2. Componentes y condiciones del medio de cultivo.....	21
Tabla 3. La celulosa bacteriana en la industria de alimentos.....	22
Tabla 4. Composición general del suero fresco (100 g).....	24
Tabla 5. Taxonomía de Phoenix dactylifera.....	25
Tabla 6. Características nutricionales y físicas de los dátiles	26
Tabla 7. Alimentos semisólidos	35
Tabla 8. Mezclas de fases múltiples en productos alimentarios.....	38
Tabla 9. Relación entre medidas físicas, fisiológicas y sensoriales	39
Tabla 10. Escala hedónica estructurada.....	41
Tabla 11. Tratamientos experimentales para la obtención de CB.....	45
Tabla 12. Emulsiones formuladas	45
Tabla 13. Operacionalización de variables de investigación.....	58
Tabla 14. Características del suero de leche.....	61
Tabla 15. Características del dátil	61
Tabla 16. UFC promedio del SCOBY	62
Tabla 17. Características de los sustratos	62
Tabla 18. Características de los medios de cultivo por cada experimento.....	63
Tabla 19. ANOVA de la producción de CB	65
Tabla 20. Formulación porcentual de las emulsiones	77
Tabla 21. pH de las emulsiones	77
Tabla 22. Parámetros del modelo de ley de potencia para las emulsiones.....	81
Tabla 23. Análisis microbiológico de las emulsiones	82
Tabla 24. Estabilidad de las emulsiones.....	83
Tabla 25. ANOVA para la categoría aspecto	84
Tabla 26. Prueba de múltiples rangos para la categoría aspecto	84

Tabla 27. ANOVA para la categoría textura.....	84
Tabla 28. Prueba de múltiples rangos para la categoría textura.....	84
Tabla 29. ANOVA para la categoría olor	85
Tabla 30. Prueba de múltiples rangos para la categoría olor.....	85
Tabla 31. ANOVA para la categoría sabor	85
Tabla 32. Prueba de múltiples rangos para la categoría sabor.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la celulosa	14
Figura 2. Síntesis de la celulosa bacteriana	16
Figura 3. Métodos de producción de celulosa bacteriana	17
Figura 4. Técnica de preparación de la Kombucha	18
Figura 5. Metabolismo de la Kombucha e interacciones microbianas.....	19
Figura 6. Etapas de maduración de los dátiles	27
Figura 7. Tipos de comportamiento de flujo.....	29
Figura 8. Modelo de dos placas paralelas	30
Figura 9. Gráficas de fluido newtoniano y no newtoniano.....	32
Figura 10. Representación de la Ley de la potencia	33
Figura 11. Emulsión estabilizada.....	37
Figura 12. Región experimental.....	44
Figura 13. Diagrama de flujo para la obtención de Celulosa Bacteriana.....	46
Figura 14. Diagrama de flujo para la obtención de mayonesa	54
Figura 15. Variación del pH en la fermentación	64
Figura 16. Variación de los °Bx en la fermentación	64
Figura 17. Producción de CB en los tratamientos.....	65
Figura 18. Gráfico de contornos	66
Figura 19. Gráfico de traza para CB.....	67
Figura 20. TCB de los tratamientos	68
Figura 21. Espesor de la CB	68
Figura 22. CRA de la CB.....	69
Figura 23. TLA de la celulosa bacteriana	70
Figura 24. Micrografía SEM de la CB tratamiento 1.....	71
Figura 25. Micrografía SEM de la CB tratamiento 2.....	72
Figura 26. Micrografía SEM de la CB tratamiento 3.....	72

Figura 27. Micrografía SEM de la CB tratamiento 4.....	73
Figura 28. Micrografía SEM de la CB tratamiento 5.....	73
Figura 29. Micrografía SEM de la CB tratamiento 6.....	74
Figura 30. Micrografía SEM de la CB tratamiento 7.....	74
Figura 31. Micrografía SEM de la CB tratamiento 8.....	75
Figura 32. Micrografía SEM de la CB tratamiento 9.....	75
Figura 33. Micrografía SEM de la CB tratamiento 10.....	76
Figura 34. Viscosidad aparente de m1	78
Figura 35. Viscosidad aparente de m2	78
Figura 36. Viscosidad aparente de m3	79
Figura 37. Curva de flujo de m1	80
Figura 38. Curva de flujo de m2	80
Figura 39. Curva de flujo de m3	81
Figura 40. Estabilidad de las emulsiones	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	105
Anexo 2. Fotos	107
Anexo 3. Dimensiones del frasco de fermentación	111
Anexo 4. Determinación de viscosidad de las emulsiones.....	112
Anexo 5. Determinación de parámetros reológicos	113
Anexo 6. Análisis microbiológico de las emulsiones	116
Anexo 7. Evaluación sensorial	120
Anexo 8. Consentimiento informado.....	122

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo obtener celulosa bacteriana (CB) a partir de fuentes de carbono alternativas, específicamente suero de leche y dátiles de *Phoenix dactylifera*. Adicionalmente, se empleó sacarosa para efectos de comparación y evaluación de la eficiencia en la producción. Como fuente de nitrógeno se utilizó infusión de té negro, mientras que la kombucha se empleó para acondicionar el medio. Las fuentes de carbono, la infusión de té negro y la kombucha representaron el 80 % (v/v), 10 % (v/v) y 10 % (v/v) del medio, respectivamente. Se utilizó un consorcio microbiano SCOBY como agente fermentador debido a su contenido de bacterias productoras de CB. Para establecer las combinaciones de las fuentes de carbono, se aplicó un diseño de mezclas Simplex-Lattice, obteniéndose 10 tratamientos. La fermentación se realizó en condiciones estáticas a 28 °C durante 21 días. Se evaluaron las características físicas de la CB obtenida, tales como grosor (mm), capacidad de retención de agua (g/g), tasa de liberación de agua (h) y morfología mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). En los resultados, el tratamiento 6 (5,07 g/L) presentó la mayor eficiencia en la producción, seguido por el tratamiento 10 (4,01 g/L) y el tratamiento 7 (3,57 g/L). Se determinó que las mezclas empleadas influyen significativamente en la producción de CB, con un valor p de 0,0434 a un nivel de confianza del 95 %. Además, las mezclas explican hasta el 89 % de la variabilidad en la producción (R-cuadrada = 0,89). En la segunda parte de la investigación, se evaluó la CB obtenida como posible emulsionante en tres formulaciones de emulsiones tipo mayonesa: m1 (sin emulsionante), m2 (con goma xantana) y m3 (con celulosa bacteriana). Se analizaron las características reológicas, la estabilidad y la evaluación sensorial (aspecto, textura, olor y sabor). En todas las formulaciones, la viscosidad aparente (η) disminuyó con el incremento de la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$). Asimismo, las tres emulsiones presentaron una naturaleza de fluido no newtoniano (pseudoplástico), con un índice de fluidez (n) menor a 1, un índice de consistencia (k) mayor a 1 y un coeficiente de regresión (R^2) superior a 0,95. La estabilidad a los 50 días fue del 7,4 % para m1, 0,0 % para m2 y 0,9 % para m3. En todos los atributos sensoriales, m3 obtuvo la mayor valoración, con un promedio superior a 4 a un nivel de confianza del 95 %. En conclusión, la producción de CB a partir de fuentes de carbono alternativas es factible, además de poder aplicarla como emulsionante alimentario.

Palabras clave: celulosa bacteriana; consorcio microbiano; emulsión alimentaria; residuos agroindustriales; fuentes de carbono alternativas.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to obtain bacterial cellulose (BC) from alternative carbon sources, specifically whey and *Phoenix dactylifera* dates. Additionally, sucrose was used for comparison and to evaluate production efficiency. Black tea infusion was employed as a nitrogen source, while kombucha was used to condition the medium. The carbon sources, black tea infusion, and kombucha accounted for 80 % (v/v), 10 % (v/v), and 10 % (v/v) of the medium, respectively. A microbial consortium (SCOBY) was used as the fermenting agent due to its content of BC-producing bacteria. To establish the combinations of carbon sources, a Simplex-Lattice mixture design was applied, resulting in 10 treatments. Fermentation was carried out under static conditions at 28 °C for 21 days. The physical characteristics of the resulting BC were evaluated, including thickness (mm), water retention capacity (g/g), water release rate (h), and morphology through scanning electron microscopy (SEM). The results showed that treatment 6 (5.07 g/L) exhibited the highest production efficiency, followed by treatment 10 (4.01 g/L) and treatment 7 (3.57 g/L). It was determined that the mixtures used significantly influenced BC production, with a p value of 0.0434 at a 95 % confidence level. Additionally, the mixtures explained up to 89 % of the variability in production (R-squared = 0.89). In the second part of the study, the BC obtained was evaluated as a potential emulsifier in three mayonnaise-type emulsion formulations: m1 (without emulsifier), m2 (with xanthan gum), and m3 (with bacterial cellulose). Rheological characteristics, stability, and sensory attributes (appearance, texture, odor, and taste) were analyzed. In all formulations, apparent viscosity (η) decreased as shear rate ($\dot{\gamma}$) increased. Similarly, all three emulsions exhibited a non-Newtonian (pseudoplastic) fluid behavior, with a flow index (n) less than 1, a consistency index (k) greater than 1, and a regression coefficient (R^2) above 0.95. Stability after 50 days was 7.4 % for m1, 0.0 % for m2, and 0.9 % for m3. For all sensory attributes, m3 received the highest ratings, with an average score greater than 4 at a 95 % confidence level. In conclusion, BC production from alternative carbon sources is feasible, and it can also be applied as a food emulsifier.

Keywords: bacterial cellulose; microbial consortium; food emulsion; agro-industrial waste; alternative carbon sources.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la pérdida y desperdicio de alimentos (PDA) ha cobrado gran relevancia en las últimas décadas debido a su impacto ambiental y las oportunidades económicas que representa. A nivel industrial, transformar residuos agroindustriales y subproductos en insumos de valor agregado no solo contribuye a mitigar problemas ambientales, sino que también abre nuevas posibilidades en el desarrollo de productos innovadores y sostenibles.

Uno de los subproductos más relevantes es el suero de leche, derivado de la producción de queso y otros lácteos, que constituye una fuente rica en nutrientes, como proteínas y lactosa. No obstante, su alto contenido orgánico lo convierte en un residuo con un potencial contaminante significativo si no se gestiona de manera adecuada. Su valorización mediante procesos biotecnológicos no solo permite reducir su impacto ambiental, sino que también ofrece una alternativa económica para la producción de compuestos de interés industrial, contribuyendo a la economía circular.

Por otro lado, existen productos agrícolas subutilizados que generan impacto ambiental debido a las prácticas asociadas a su cultivo y su huella hídrica, pero que poseen un gran potencial como fuente de carbono. Entre ellos destaca el dátil de *Phoenix dactylifera*, una fruta ampliamente cultivada en regiones áridas, caracterizada por su alto contenido de azúcares, fibras y compuestos bioactivos. Tanto a los alrededores del centro de la ciudad de Tacna y en algunas zonas agrícolas como La Yarada, el dátil de palmera se emplea principalmente con fines ornamentales, lo que refleja un subaprovechamiento de sus valiosas propiedades nutritivas y funcionales.

En este contexto, la combinación de suero de leche y dátil, junto con procesos tecnológicos orientados a extraer sus principales compuestos nutritivos, constituye una alternativa prometedora como sustrato en procesos fermentativos. Esta combinación permite el desarrollo de un producto biotecnológico de alto valor, como la celulosa bacteriana (CB), un biopolímero que ha ganado creciente atención debido a sus propiedades excepcionales. La CB es producida principalmente por bacterias del género *Komagataeibacter*, además del consorcio de bacterias y levaduras SCOBY y se distingue por ser un material puro, libre de lignina y hemicelulosa, con una estructura tridimensional de microfibrillas altamente organizadas. Estas características le confieren una notable resistencia mecánica y una alta capacidad de retención de agua, lo que amplía significativamente sus posibles aplicaciones.

Gracias a estas propiedades, la CB ha encontrado aplicaciones en diversas industrias, como la alimentaria, la farmacéutica y la biomédica. En el ámbito alimentario, su potencial como emulsionante, estabilizante y agente texturizante en productos como la mayonesa ofrece oportunidades para desarrollar formulaciones innovadoras y funcionales. En particular, su uso como alternativa a agentes emulsionantes tradicionales, como la goma xantana, podría responder a la creciente demanda de consumidores e industrias por ingredientes más naturales y sostenibles.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La PDA se refiere a masas de alimentos que se desechan o desperdician en las etapas de las cadenas alimentarias que conducen a productos comestibles destinados al consumo humano. Se consideran pérdidas o desperdicio de alimentos incluso aquellos que, posteriormente, han sido utilizados en un proceso de revalorización para uso no alimentario (planeados o no planeados), como pienso o energía (Food and Agriculture Organization [FAO], 2012). Los términos "pérdida" y "desperdicios" se distinguen según la etapa de la cadena productiva. Las pérdidas se producen principalmente durante la producción, la poscosecha, el almacenamiento y el transporte, mientras que los desperdicios ocurren durante la distribución y el consumo (FAO, 2017).

En el mundo, 1 300 millones de toneladas de alimentos se pierden o desperdician cada año, esto supone un tercio de la producción mundial. En América Latina, son 127 millones de toneladas al año. La PDA en América Latina por grupo de alimentos es la siguiente: en los cereales, el 25 %; en las raíces y tubérculos, el 40 %; en las oleaginosas y legumbres, el 20 %; en las frutas y hortalizas, el 55 %; en las carnes, el 20 %; en los productos lácteos, el 20 %; y en los pescados y mariscos, el 33 % (FAO, 2016).

En el ámbito nacional, la PDA en la cadena de suministro durante el periodo 2007-2017 fue de 12,8 millones de toneladas por año. En particular, la etapa de producción agrícola representó un 25,5 %, destacando el grupo de frutas y verduras. También resalta la etapa de procesamiento, con un 27,7 %, en la que se menciona específicamente el grupo de la leche (Bedoya-Perales y Dal' Magro, 2021).

Además de la oportunidad de alimentar a la creciente población mundial, la PDA ejerce presión sobre los recursos naturales, contribuye a la contaminación ambiental, aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), reduce la resiliencia de los ecosistemas y provoca la pérdida de biodiversidad (Vittuari et al., 2019). La PDA genera importantes emisiones de dióxido de carbono (CO₂), y cuando los alimentos terminan en vertederos, producen metano, un GEI aún más potente (Buzby, 2022). A nivel mundial, su huella de carbono es de 4,4 GtCO₂eq al año, representando alrededor del 8 % de las emisiones antropogénicas de GEI (FAO, 2015). Su huella hídrica es considerable debido a la producción agrícola, alcanzando aproximadamente 250 km³. En cuanto al uso de suelo, se destinan 1 400 millones de hectáreas para producir

alimentos que no se consumen. Además, la conversión de tierras silvestres por la expansión agrícola es una gran amenaza para la biodiversidad (FAO, 2013).

Por tal razón es importante establecer estrategias para prevenir y reducir la PDA. No obstante, la falta de datos y métodos normalizados para evaluar la eficacia de las posibles intervenciones representa un desafío (Nicastro y Carillo, 2021). Por otro lado, existen diversas herramientas con la economía circular donde la PDA sirve como materia prima para la elaboración de productos para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Osorio et al., 2021).

Uno de los materiales que se puede obtener a partir de la PDA es la celulosa bacteriana (CB), un material de gran interés con aplicaciones en varios campos, incluida la industria alimentaria (Ul-Islam et al., 2020). La CB es producida por diversas especies bacterianas, así como por el consorcio microbiano de bacterias y levaduras conocido por sus siglas en inglés como SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast). La producción de CB por medio del SCOBY se destaca por ser un método estático con menor complejidad en su procesamiento. Los medios sintéticos con fuentes de carbono, principalmente la glucosa, son esenciales para la síntesis de CB por parte de las cepas bacterianas.

De manera que, en esta investigación se propone utilizar desperdicios, específicamente de la industria del queso (suero de leche), y pérdidas en la agricultura (dátiles de *Phoenix dactylifera*) para la producción de CB. Se aplicará un método de fermentación estático con el SCOBY donde el suero de leche y los dátiles de *Phoenix dactylifera* se emplearán como fuente de carbono. Se evaluará la producción de CB y sus características. Además, se analizará la aplicación de la CB obtenida como un emulsionante alimentario.

1.2. Formulación del problema

Por los motivos expresados se plantean las siguientes interrogantes de investigación:

1.2.1. Problema general

¿Cómo influyen el suero de leche y el zumo de dátil de *Phoenix dactylifera* en la obtención de celulosa bacteriana mediante el consorcio microbiano SCOBY, y cuál es su efectividad como emulsionante alimentario?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la eficiencia del suero de leche y del zumo de dátil de *Phoenix dactylifera* en la producción de celulosa bacteriana?
- b. ¿Cuáles son las características físicas de la celulosa bacteriana obtenida a partir de suero de leche y zumo de dátil de *Phoenix dactylifera*?
- c. ¿Cuáles son las características físicas y sensoriales de una emulsión con fines alimentarios a base de celulosa bacteriana?

1.3. Justificación e Importancia

Desde el punto de vista ambiental, como lo explicado en la descripción del problema, la valorización de las pérdidas o residuos alimentarios contribuye a una economía circular y la sostenibilidad. En este caso específico evita que el suero de leche y las pérdidas de fruta termine en los vertederos o en las alcantarillas, al ser esta materia orgánica generan GEI en su descomposición. Además, también disminuye su impacto en la contaminación del agua y del suelo.

Desde un punto de vista social, favorecería al bienestar de la población, el tratamiento de desechos orgánicos, que normalmente terminan en vertederos y en cuerpos de agua, disminuiría la proliferación de vectores y enfermedades.

Desde un punto de vista económico, puede ser una parte de un estudio previo para una posible industria en el sector alimentario, así como ingresos adicionales a la industria láctea y agrícola.

Desde el punto de vista científico, aporta conocimientos sobre la producción de CB por un método de fermentación estática con el SCOBY utilizando suero de leche y zumo de dátiles de descarte como fuentes de carbono. Además de una optimización de la producción y proporcionar datos que podrían ser tomados en cuenta en futuras investigaciones. Por otro lado, el uso de subproductos industriales y desechos contribuye al desarrollo de tecnologías sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Obtener celulosa bacteriana a partir de suero de leche y zumo de dátil de *Phoenix dactylifera* mediante el consorcio microbiano SCOBY, y evaluar su efectividad como emulsionante alimentario

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Evaluar la eficiencia del suero de leche y del zumo de dátil de *Phoenix dactylifera* en la producción de celulosa bacteriana
- b. Analizar las características físicas de la celulosa bacteriana obtenida a partir de suero de leche y zumo de dátil de *Phoenix dactylifera*
- c. Analizar las características físicas y sensoriales de una emulsión con fines alimentarios a base de celulosa bacteriana

1.5. Hipótesis

La aplicación de suero de leche y zumo de dátil de *Phoenix dactylifera* mediante el consorcio microbiano SCOBY permitirá obtener celulosa bacteriana con propiedades emulsionantes para fines alimentarios

1.5.1. Hipótesis específicas

- a. La aplicación de suero de leche y zumo de dátil de *Phoenix dactylifera* influye de manera eficiente en la producción de celulosa bacteriana
- b. La aplicación de suero de leche y zumo de dátil de *Phoenix dactylifera* influye en las características físicas de la celulosa bacteriana
- c. La aplicación de celulosa bacteriana influye en las características físicas y sensoriales de una emulsión para fines alimentarios

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En relación con la problemática formulada se revisaron investigaciones que se centran en la aplicación de cepas o consorcios bacterianos capaces de producir CB de manera más eficiente utilizando medios rentables y productos de desecho industriales o agrícolas para optimizar los rendimientos.

A continuación, se detallan algunos antecedentes de investigaciones relacionadas con la problemática planteada en esta investigación.

2.1. Antecedentes de la investigación

En un estudio realizado por Shezad et al. (2009), produjeron CB utilizando los residuos del caldo de fermentación de cerveza (RFC) mediante *Gluconacetobacter hansenii*, y se comparó con la producción de CB en un medio químicamente definido (QD). Las fermentaciones se llevaron a cabo en cultivos por lotes y cultivos por lotes alimentados. El cultivo por lotes consistió en 2 L de medio fijo, mientras que el cultivo por lotes alimentados consistió en 500 ml de medio inicial, alimentado con 250 ml de medio nuevo hasta completar 2 L. En ambos casos, se utilizaron frascos de fermentación de 3 L con una tasa de aireación de 1 vvm, pH ajustado a 5, y una temperatura de 30 °C durante 30 días. Los resultados revelaron un aumento general de 2-3 veces en la producción de CB en el cultivo por lotes alimentados en comparación con el cultivo por lotes. El medio a base de RFC fue ligeramente superior al medio QD, produciendo 750 g de CB en 2 L de medio, con un grosor de 250 mm. El cambio del pH durante la fermentación no fue muy significativo, siendo la mayor disminución en el cultivo por lotes.

Continuando con su investigación, Shezad et al. (2010) determinaron la capacidad de retención de agua (CRA) y la tasa de liberación de agua (TLA) de la celulosa bacteriana (CB) obtenida utilizando un medio a partir de los residuos del caldo de fermentación de cerveza (RFC) mediante *Gluconacetobacter hansenii*. Encontraron que la CB obtenida con un medio químicamente definido (QD) tiene una CRA de 273 veces su peso seco, mientras que la CB obtenida a partir de RFC presenta una CRA de 302 veces su peso seco. También observaron que la CRA es mayor en el cultivo por lotes en comparación con el cultivo por lotes alimentado. La TLA en el cultivo por lotes alimentado tomó 75 horas, mientras que en el cultivo por lotes fue de 64 horas. Además, analizaron la morfología y superficie de la CB mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), encontrando que las nanofibrillas oscilaban entre 10 y 180 nm. Las fibrillas producidas en el medio QD en el cultivo por lotes alimentado eran extendidas y

de tamaño uniforme, mientras que en el cultivo por lotes las fibrillas eran más pequeñas. En el caso de las fibrillas producidas utilizando RFC, eran más abarrotadas y delgadas en comparación con las fibrillas de CB obtenidas en el medio QD.

Siguiendo la línea de aprovechar los residuos industriales para la producción de CB, Carreira et al. (2011) utilizaron licor de pulpa de sulfito, extracto acuoso de pieles de uva, suero de queso en polvo y residuo de glicerol crudo como sustratos para la producción de CB mediante *Gluconacetobacter sacchari*, cepa obtenida de Kombucha. La fermentación se llevó a cabo en un cultivo estático a 30 °C durante 4 días. Determinaron la concentración de las fuentes de carbono mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC), encontrando que el licor de pulpa de sulfito contenía 8,33 g/L, el extracto de pieles de uva 11,5 g/L, el suero de queso 5,98 g/L y el glicerol crudo 47 g/L. La producción de CB obtenida fue de 0,3 g/L para el medio a partir de licor de pulpa de sulfito, 0,6 g/L para el medio a partir de pieles de uva, 0,1 g/L para el medio a partir de suero de queso y 0,1 g/L para el medio a partir de residuos de glicerol. Tuvieron un porcentaje de conversión de sustrato del 28 % en el medio a partir de pulpa de sulfito, 16 % del medio a partir de pieles de uva, 42 % para el medio a base de suero de queso y 4 % para el medio a partir de residuos de glicerol. Un rendimiento de producción del 18 % en el medio a partir de pulpa de sulfito, 24 % del medio a partir de pieles de uva, 10 % para el medio a base de suero de queso y 7 % para el medio a partir de residuos de glicerol. Además, analizaron la estructura morfológica de la CB mediante SEM y encontraron que todas las CB estudiadas presentaron la típica red tridimensional homogénea de nano y microfibrillas características de la celulosa bacteriana.

De manera similar, Castro et al. (2011) produjeron CB utilizando jugo de cáscara de piña mediante el uso de *Gluconacetobacter swingsii*. Como medio de comparación, se empleó el medio HS. Las fermentaciones se realizaron en condiciones estáticas, con un pH de 3,5 a 28 °C, durante 13 días. La producción de CB fue de 2,8 g/L en el medio a base de cáscara y de 2,1 g/L en el medio Hestrin–Schramm (HS). La tasa de producción de CB fue de 0,009 g/L·h (g/L de CB seca por hora) en el medio a base de cáscara y de 0,007 g/L·h en el medio HS. Además, el análisis morfológico mediante SEM mostró que las microfibrillas de todas las membranas tenían un ancho entre 20 y 70 nm.

Por otro lado, Gomes et al. (2013) produjeron CB utilizando residuos de almazara (orujo) provenientes del proceso de extracción de aceite, mediante el uso de *Gluconacetobacter sacchari*. Como medio de comparación, se empleó el medio HS. Los residuos de almazara fueron sometidos a un tratamiento térmico a 40 °C para extraer los azúcares. Las fermentaciones se realizaron en condiciones estáticas, utilizando 50

ml de medio, con un pH de 4,5, a 30 °C, durante 4 días. La producción de CB fue de 0,81 g/L en el medio a base de orujo, y de 2,5 g/L en el medio HS. La conversión de sustrato fue del 90 % en el medio de orujo y del 82 % en el medio HS. La tasa de producción de CB fue de 0,026 g/L·h en el medio de orujo y de 0,099 g/L·h en el medio HS. El rendimiento de producción de CB fue de 9,86 % en el medio de orujo y de 13,88 % en el medio HS. Además, el análisis morfológico mediante SEM mostró que las membranas presentaban la estructura tridimensional típica de nano y microfibrillas de CB.

En la misma línea, Cavka et al. (2013) produjeron CB utilizando lodos fibrosos de los procesos de sulfatos y sulfitos, provenientes de la industria de la pulpa y el papel y de biorrefinerías lignocelulósicas, mediante *Gluconacetobacter xylinus*. Los lodos pasaron por un proceso de hidrólisis para aumentar la disponibilidad de sus azúcares. Las fermentaciones se llevaron a cabo en condiciones estáticas, utilizando medios que contenían 30 ml de sulfatos y sulfitos suplementados, ambos con doble dilución, con un pH de 5, a una temperatura de 30 °C durante 7 días. Durante la fermentación hubo una reducción del pH a 3 en ambos medios. La producción de CB obtenida fue de 6,23 g/L y 4,65 g/L (peso seco) para los medios de sulfatos y sulfitos, respectivamente. El rendimiento de CB fue del 22 % y 17 % para los medios de sulfatos y sulfitos, respectivamente. El grosor de las membranas de CB fue del 2,83 mm y 2,59 mm para los medios de sulfatos y sulfitos, respectivamente. Además, se analizó la estructura morfológica de la CB mediante SEM y se evaluó la CRA. La morfología de la superficie de las películas de CB obtenidas en diferentes medios fue similar, con un ancho promedio de 35 nm a 40 nm. Se encontró que la CB producida en el medio de sulfatos tenía una CRA del 99,5 %, mientras que la CB obtenida en el medio de sulfitos presentó una CRA del 99,4 %.

De manera similar, Rani y Appaiah (2013) produjeron celulosa bacteriana (CB) utilizando cáscaras de cereza de café mediante el uso de *Gluconacetobacter hansenii*. Como medio de comparación, se empleó el medio HS. Las cáscaras se trituraron y se hirvieron con agua (1:1) durante 30 minutos para obtener un extracto. Las fermentaciones se realizaron en condiciones estáticas, en matraces de 500 ml con 100 ml de medio, con un pH de 4,5, a 27 °C, durante 14 días. La producción de CB fue de 8,2 g/L en el medio a base del extracto y de 1,5 g/L en el medio HS. La tasa de producción de CB fue de 0,024 g/L·h en el medio a base del extracto y de 0,004 g/L·h en el medio HS. Además, el análisis morfológico mediante SEM mostró que las microfibrillas de todas las membranas tenían un tamaño promedio de poro de 1 µm. El

grosor de las membranas fue de 54 μm para el medio a base del extracto y de 38 μm para el medio HS.

Por su parte, Fan et al. (2016) produjeron CB utilizando cáscaras y orujo de cítricos, tratados previamente con un proceso enzimático (COPE), mediante el uso de *Komagataeibacter xylinus*. Adicionalmente, produjeron CB en un medio HS para efectos de comparación. La fermentación se llevó a cabo en condiciones estáticas a 30 °C y un pH de 6, durante 8 días. El contenido de azúcares totales en el medio COPE fue de 135 g/L. Se obtuvo un rendimiento de 5,7 g/L de CB en el medio a partir de COPE y de 3,9 g/L en el medio HS, ambos en peso seco. La tasa de producción de CB fue de 0,030 g/L·h en el medio a partir de COPE y de 0,020 g/L·h en el medio HS. Además, se analizó la estructura morfológica de la CB mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Los diámetros promedio de las nanofibrillas de CB obtenidas en el medio COPE fueron de 50 nm, mientras que en el medio HS fueron de 60 nm, destacando sus microestructuras similares.

Por otro lado, Salari et al. (2019) produjeron CB utilizando melaza de remolacha azucarera y suero de queso como sustratos, mediante *Gluconacetobacter xylinus*. Adicionalmente, emplearon un medio HS como control. Los sustratos fueron sometidos a tratamientos previos para aumentar la disponibilidad de azúcares: la melaza de remolacha fue tratada térmicamente con ácido sulfúrico, mientras que el suero de queso fue hidrolizado en glucosa y galactosa utilizando lactasa comercial. La fermentación se llevó a cabo en condiciones estáticas a 28 °C y un pH de 5,5, durante 14 días. El contenido total de carbohidratos en los medios se determinó mediante el método fenol-ácido sulfúrico, encontrando que el medio a base de melaza contenía 20 g/L, el de suero de queso 30 g/L y el medio HS 20 g/L. La producción de CB fue de 4,56 g/L para el medio de melaza, 3,55 g/L para el medio de suero de queso, y 3,26 g/L en el medio HS. El porcentaje de conversión de sustrato fue de 25,34 % en el medio de melaza, 14,20 % en el de suero de queso y 16,37 % en el medio HS. La tasa de producción fue de 0,014 g/L·h en el medio de melaza, 0,011 g/L·h en el de suero de queso y 0,010 g/L·h en el medio HS. Al final de la fermentación, el pH varió a 4 en el medio de melaza, 4 en el de suero y 3,1 en el medio HS. El análisis morfológico mediante SEM reveló que las membranas de CB estaban compuestas por nanofibras en forma de varilla, formando una red ultrafina con un diámetro promedio entre 50 nm y 70 nm. Las micrografías del medio de melaza mostraron fibrillas más densas en comparación con las del medio de suero de queso.

De la misma manera, Abol-Fotouh et al. (2020) produjeron CB utilizando dátiles secos de desecho, higos de desecho y melaza de caña de azúcar como fuentes de

carbono, mediante *Komagataeibacter saccharivorans*, aislado de bebidas fermentadas. Adicionalmente, emplearon un medio HS como control. Tanto los dátiles como los higos pasaron por un proceso previo para obtener sus extractos, mientras que la melaza de caña de azúcar fue tratada con ácido sulfúrico para aumentar la disponibilidad de sus azúcares. El medio HS sirvió como base de producción, sustituyendo la glucosa por las tres fuentes de carbono estudiadas (10 % v/v). El contenido inicial de azúcares totales fue de 62 g/L, 56 g/L, 14 g/L y 20 g/L en los medios de melaza, dátil, higo y HS respectivamente. Las fermentaciones se realizaron en condiciones estáticas a un pH de 6 y una temperatura de 28 °C durante 7 días. La producción de CB (peso seco) fue de 3,9 g/L, 3,2 g/L y 1 g/L para los medios de melaza, dátil e higo respectivamente, mientras que en el medio HS se obtuvo 2,6 g/L. El porcentaje de conversión de sustrato fue del 91 %, 79 % y 73 % en los medios de melaza, dátil e higo respectivamente, y del 89 % en el medio HS. El rendimiento de producción fue del 6,2 %, 5,7 % y 7,8 % para los medios de melaza, dátil e higo respectivamente, mientras que en el medio HS fue del 14,6 %. La tasa de productividad fue de 0,023 g/L·h, 0,019 g/L·h y 0,007 g/L·h en los medios de melaza, dátil e higo respectivamente, mientras que en el medio HS fue de 0,015 g/L·h. La capacidad de retención de agua (CRA) fue de 104 g/g, 99,6 g/g y 97,3 g/g (gramos de agua por g de CB) para los medios a base de melaza, dátil e higo respectivamente, mientras que en el medio HS fue de 98,6 g/g. La tasa de liberación de agua (TLA) fue de 44 h, 44 h y 36 h en los medios a base de melaza, dátil e higo respectivamente, y en el medio HS de 40 h. La variación de pH al final de la fermentación fue de 3,8, 4,1, 4,8 y 4,5 para los medios de melaza, dátil, higo y HS respectivamente. Además, el análisis morfológico mediante SEM mostró que las membranas no presentaron variaciones significativas, y el diámetro de las nanofibras osciló entre 10 nm y 90 nm.

Por su parte, Feng et al. (2024) produjeron CB utilizando suero de soya proveniente de tofu mediante Kombucha, añadiendo únicamente fuentes de carbono. Estudiaron cinco variables que pueden afectar el rendimiento: la fuente de carbono añadida al suero de soya, la concentración de la fuente de carbono, la cantidad de inoculación de Kombucha, la temperatura de fermentación, y los días de fermentación. Encontraron que las condiciones óptimas de fermentación fueron: 8,5 % (p/v) de sacarosa, 10 % (v/v) de inoculación de Kombucha, 32 °C de temperatura, pH de 6 y 11 días de fermentación. Bajo estas condiciones, obtuvieron un rendimiento de CB de 42 g/L (peso seco). La tasa de producción de CB fue de 0,159 g/L·h. Además, analizaron la estructura morfológica de la CB mediante SEM, el contenido de agua (CA) y el grado de rehidratación (GR), comparando los resultados con la CB obtenida mediante el medio

HS. El diámetro de las fibras de la CB en el medio HS varió de 20 nm a 100 nm, mientras que las fibras del medio a partir de suero de soya de tofu variaron de 20 nm a 160 nm. El CA de la CB obtenida a partir de suero de soya de tofu estuvo entre 83 % y 92 %. El GR fue cercano al 100 %.

De manera similar, Ochoa (2024) produjo CB utilizando aloe vera y moringa mediante un consorcio de bacterias y levaduras (*Gluconacetobacter*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Ruminococaceae* y *Propionibacterium*). Como medio de comparación, se empleó un medio a base de dextrosa (50 g/L). Los medios con extractos de aloe vera se prepararon en distintas proporciones con dextrosa (50:50, 75:25, 25:75), y a todos se les añadió 3,6 g/L de moringa. Las proporciones se calcularon a partir de una base de 50 g/L. Las fermentaciones se realizaron en condiciones estáticas, en envases de vidrio con 80 ml de medio, a 25 °C, durante 15 días. El pH de los medios osciló entre 2,55 y 2,8. La producción de CB fue de 5,4 g/L en el medio control y de 9,15 g/L, 3,56 g/L y 6 g/L en las proporciones 50:50, 75:25 y 25:75, respectivamente. La tasa de producción de CB en el medio control fue de 0,015 g/L·h, mientras que en las proporciones 50:50, 75:25 y 25:75 fue de 0,025 g/L·h, 0,010 g/L·h y 0,017 g/L·h, respectivamente. El valor final de pH mostró una ligera reducción en todos los medios, excepto en la proporción 25:75. Además, el análisis morfológico mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) reveló que las membranas presentaban una superficie rugosa, sin grietas ni poros, y que había partículas asociadas al gel de aloe vera.

Al respecto, es importante mencionar que otras investigaciones se centran en la identificación de nuevas cepas productoras de CB. Almihyawi et al. (2024) produjeron CB utilizando *Rhizobium sp.*, una cepa aislada de raíces de frijol. Adicionalmente, para efectos de comparación, también produjeron CB utilizando *Komagataeibacter hansenii*. Las fermentaciones se llevaron a cabo en un cultivo estático, utilizando un medio HS de 100 ml, que contenía 15 g/L de glucosa, con un pH de 6,5, a una temperatura de 30 °C durante 7 días. La producción de CB obtenida fue de 2,05 g/L y tasa de producción de 0,015 g/L·h. Además, analizaron la estructura morfológica de la CB mediante SEM, la capacidad de retención de agua (CRA), y la tasa de liberación de agua (TLA). Las microfibrillas de celulosa en la CB se distribuyeron de forma aleatoria y presentaban numerosos huecos. Se encontró que la CB producida por *Rhizobium sp.* tenía una CRA de 130 g/g, mientras que la CB obtenida con *K. hansenii* tenía una CRA de 115 g/g. La TLA fue de 35 h para *Rhizobium sp.* y 28 h para *K. hansenii*. Los resultados mostraron que la CB producida por *Rhizobium sp.* presentaba propiedades similares a la CB producida por *K. hansenii*.

La CB aplicada como posible emulsionante fue estudiada previamente por Akoğlu et al. (2018). En su investigación aplicaron CB en mayonesa reducida en grasa y caracterizaron su comportamiento reológico. El contenido de aceite se redujo del 75 % al 60 %. La CB se aplicó en la formulación de la mayonesa en porcentajes de 0 %, 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % y 2 %. Encontraron que todas las muestras presentaron un comportamiento pseudoplástico no newtoniano y que la muestra control fue la que tuvo mayor viscosidad. También realizaron una evaluación sensorial, indicando que no hubo diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los grupos en términos de olor, espesor, untuosidad y regusto. Concluyeron que la CB podría usarse como un sustituto de grasa en la producción de mayonesa reducida en grasa.

El comportamiento reológico en formulaciones de mayonesa con emulsionantes también fue detallado en la investigación de Kumar et al. (2021), donde caracterizaron el comportamiento de la mayonesa con distintos agentes emulsionantes, exploraron el potencial del homogeneizador de ultrasonidos de sonda y los hidrocoloides en la formulación y estabilización de mayonesa formulada con gomas xantana y goma guar. Estudió el efecto del tratamiento ultrasónico (12 min a 20 %, 30 %, 40 % de amplitud) y los estabilizadores goma xantana (XG; 0,5 % p/p), goma guar (GG; 0,5 % p/p) y XG/GG (1:1) sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la mayonesa. Los datos reológicos que comprenden la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) y el esfuerzo cortante (τ) se analizó a través del modelo reológico de la Ley de Potencia. Todos los datos experimentales se ajustaron a la curva del modelo casi a la perfección ($R^2 = 0,9992$) para cada muestra. Las muestras exhibieron un comportamiento pseudoplástico no newtoniano con un índice de comportamiento de flujo (n) < 1 y un índice de consistencia (K) 43,58–72,38 Pa.sⁿ. La viscosidad aparente medida a una velocidad de corte de 0–20/s, disminuyó abruptamente, mediante la aplicación de una amplitud del 40 %, más prominente en las muestras GG (1 007 Pa.s a 608 Pa.s) en comparación con XG (1 625 Pa.s a 1 304 Pa.s).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Celulosa Bacteriana

La celulosa, un polisacárido ampliamente utilizado en diversas aplicaciones a nivel mundial, es el biopolímero más abundante en la naturaleza. Es el componente principal de las paredes celulares en la mayoría de las plantas, hongos, algunas algas, y también se encuentra en ciertos mohos, siendo obtenida principalmente de plantas. Además, la celulosa puede ser producida por algunas cepas bacterianas, conocida como celulosa bacteriana (CB) (Muthu y Rathinamoorthy, 2021; Park et al., 2009). La CB, también

llamada celulosa microbiana, es un tipo de celulosa natural biodegradable sintetizada por bacterias (Manoukian et al., 2019).

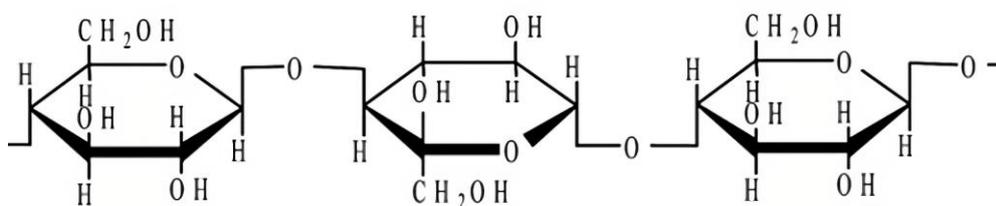
La CB es una de las formas más puras de celulosa, a diferencia de la celulosa vegetal que contiene hemicelulosa y lignina (Park et al., 2009; Ramírez Tapias et al., 2022). La estructura macromolecular y las propiedades de la CB difieren de las de la celulosa vegetal (Park et al., 2009; Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

2.2.1.1. Estructura química y física de la celulosa bacteriana

La celulosa (Figura 1) es un polímero lineal de unidades de azúcar D-glucopiranososa conectadas mediante enlaces β . Tanto la CB como la celulosa vegetal comparten la misma fórmula molecular, $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Figura 1

Estructura química de la celulosa



Nota. La CB como la celulosa vegetal constan de un homopolímero lineal de monómeros de glucosa. Tomado de Khan et al. (2007).

El grado de polimerización, es decir, la unión lineal de monómeros de glucosa, de la CB varía entre 2 000 y 6 000, lo cual es significativamente menor que el de la celulosa vegetal, que se encuentra aproximadamente entre 13 000 y 14 000 (Park et al., 2009; Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

La cristalinidad, que se refiere a la disposición de las cadenas de celulosa, es del 65 % en la celulosa vegetal, lo que la hace inaccesible a cualquier disolvente. En cambio, la CB, al ser una forma pura de celulosa, presenta un mayor porcentaje de cristalinidad (60 % - 80 %), lo que le confiere una mayor resistencia (Park et al., 2009; Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

El diámetro de las fibras de CB es cien veces menor que el de la celulosa vegetal. La estructura nanofibrosa autoensamblada es una de las características físicas únicas de la CB frente a la celulosa vegetal, con diámetros que oscilan entre 20 nm y 100 nm. Estas características le otorgan una alta resistencia a la tracción, elevada cristalinidad, y una notable capacidad para retener agua debido a su alta hidrofilia y una significativa

relación superficie/masa (alta porosidad y fibras finas). Además, la CB presenta una mayor estabilidad química y biológica que la celulosa vegetal. Estos cambios en su estructura física resultan en variaciones drásticas en sus propiedades físicas respecto a la celulosa vegetal, además de ser relativamente económica de producir (Park et al., 2009; Muthu y Rathinamoorthy, 2021; Manoukian et al., 2019; Ramírez et al., 2022).

2.2.1.2. Síntesis de la celulosa bacteriana

Diversas especies bacterianas pueden producir celulosa, siendo la mayoría de ellas gramnegativas, como *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter* y *Alcaligenes*. También existen especies grampositivas como *Sarcina ventriculi*, *Salmonella* y *Escherichia*, que tienen la capacidad de producir celulosa. Entre todas las cepas bacterianas identificadas, *Acetobacter xylinum* destaca como una de las más prometedoras para la producción de celulosa (Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

La cepa *Acetobacter xylinum* se encuentran naturalmente en las superficies de frutas y flores, donde producen una película de celulosa que cumple varias funciones: retiene la humedad, protege a las bacterias de la luz ultravioleta y, en medios líquidos, ayuda a las bacterias a permanecer cerca de la superficie, donde el oxígeno es más abundante. Además, en frutos, se ha comprobado que esta película inhibe la colonización de organismos competidores (Bodin et al., 2011).

La CB se sintetiza en la pared celular externa y en la membrana del citoplasma mediante una enzima llamada celulosa sintasa. Durante la biosíntesis, las bacterias utilizan varios compuestos de carbono presentes en el medio de nutrición, los cuales son polimerizados en cadenas simples y lineales de β -1,4-glucano (Park et al., 2009).

La CB se secreta fuera de las células a través de una fila lineal de poros situados en la superficie de la pared celular o membrana externa. Posteriormente, las cadenas de β -1,4-glucano ensambladas fuera de la célula forman subfibrillas, cada una compuesta por aproximadamente 10 a 15 cadenas nacientes de β -1,4-glucano. Estas subfibrillas, con un ancho aproximado de 1,5 nm, son algunas de las fibras naturales más delgadas. Las subfibrillas se cristalizan en microfibrillas, que se agrupan en haces y, finalmente, en cintas. Cada cinta está formada por alrededor de 1 000 cadenas individuales de glucano. Se producen dos tipos de CB: celulosa I y celulosa II (Figura 2). La celulosa I es la forma más cristalina, formándose mediante una disposición en cintas de fibrillas, mientras que la celulosa II es un polímero amorfo que es termodinámicamente estable (Park et al., 2009; Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

En condiciones de cultivo estáticas las cadenas de celulosa se unen mediante enlaces de hidrógeno para formar una lámina o membrana gruesa y gelatinosa. La estructura tridimensional de esta membrana está compuesta por una red ultrafina de nanofibras de celulosa, con diámetros de entre 3 nm y 8 nm, altamente orientadas en una sola dirección. Cabe destacar que la formación de CB sólo ocurre en la interfase aire/líquido y no sobre o dentro del medio (Park et al., 2009; Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

Figura 2

Síntesis de la celulosa bacteriana



Nota. La alta cristalinidad de la CB se debe a la formación de celulosa I. Adaptado de Muthu y Rathinamoorthy (2021).

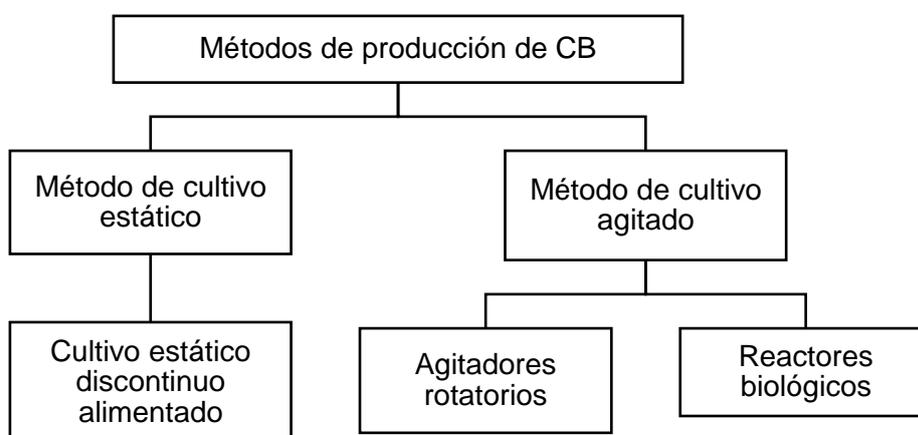
2.2.2. Métodos de producción de celulosa bacteriana

Para producir CB, se emplean principalmente dos métodos de cultivo: estático y agitado (Figura 3). En el método estático, se prepara un medio nutritivo adecuado para la cepa bacteriana, se inocula y se deja reposar sin perturbaciones durante toda la fermentación. En este proceso, la celulosa se forma en la superficie del medio en forma de estera, y es crucial mantener una adecuada aireación. Por otro lado, en el método agitado, la fermentación se realiza en un agitador rotatorio, lo que aumenta el suministro de oxígeno y favorece la producción de celulosa en forma de bolas (Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

En el método de cultivo estático, se ha estudiado la producción de celulosa bacteriana (CB) utilizando el "hongo del té", una simbiosis de levaduras osmófilas y bacterias del ácido acético. Este "hongo del té" se emplea en la producción de una bebida fermentada conocida como Kombucha. Durante la fermentación de Kombucha, se forma CB, que a menudo se utiliza para fermentar lotes posteriores de la bebida. Varios estudios han explorado la producción de CB utilizando cultivos de Kombucha, destacando su conveniencia y la simplicidad de su procesamiento (Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

Figura 3

Métodos de producción de celulosa bacteriana



Nota. Adaptado de Muthu y Rathinamoorthy (2021).

2.2.2.1. Kombucha

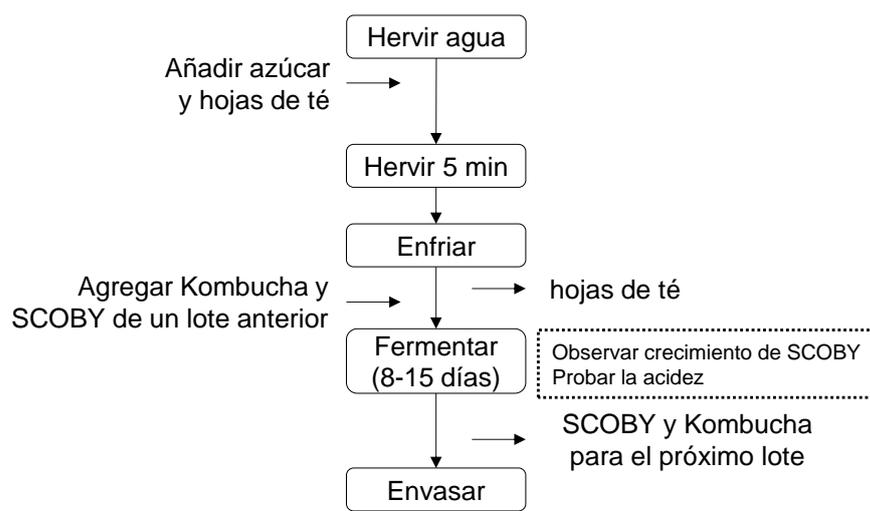
La Kombucha, o té de Kombucha, es una bebida fermentada tradicionalmente elaborada a partir de hojas de té negro o verde y azúcar. Este proceso de fermentación da lugar a una bebida efervescente y ligeramente ácida con un sabor agradablemente dulce, que inicialmente recuerda a la sidra de manzana. Sin embargo, si se deja fermentar durante más tiempo, su sabor se torna más ácido, similar al del vinagre (Soares et al., 2021; Dutta y Paul, 2019). La acción conjunta de levaduras y bacterias durante la fermentación del azúcar produce etanol y ácidos, que actúan como conservantes naturales, prolongando la vida útil de la bebida (Dutta y Paul, 2019).

La preparación de la Kombucha se basa principalmente en té negro azucarado (sacarosa), que sirve como sustrato cuando se le añade un cultivo de bacterias y levaduras, responsables de la fermentación. Este cultivo es conocido como SCOBY, por sus siglas en inglés (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts), que en español se traduce como "Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras" (Soares et al., 2021).

El proceso típico de su preparación (Figura 4) comienza hirviendo agua, a la que se le añade sacarosa (20 g/L - 100 g/L) y hojas de té (5 g/L - 12 g/L) durante al menos 5 minutos. Luego, la mezcla se enfría a una temperatura ambiente de 20 °C. En estas condiciones, se inocula con Kombucha líquida de un lote anterior (10 % - 20 %) y se coloca una biopelícula bacteriana de celulosa (SCOBY), también proveniente de un lote anterior (Jayabalan et al., 2014; Soares et al., 2021).

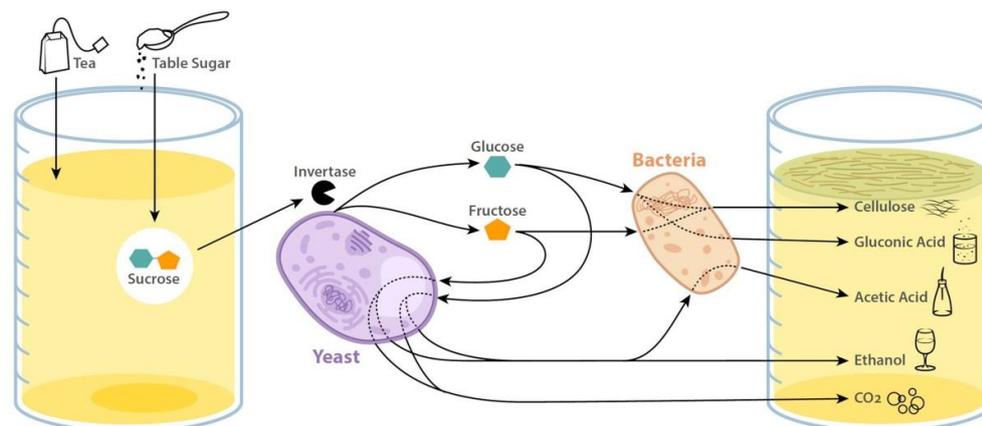
Figura 4

Técnica de preparación de la Kombucha



Nota. Adaptado de Dutta y Paul (2019).

En la fermentación, las levaduras y bacterias (SCOBY) inician la descomposición del azúcar, desencadenando una cascada metabólica (Figura 5). En las etapas tempranas de la fermentación, la levadura produce invertasa, que descompone la sacarosa en glucosa y fructosa, disponibles como fuente de carbono para todos los organismos. Las levaduras luego utilizan estos monosacáridos para producir etanol y dióxido de carbono. Posteriormente, las enzimas bacterianas oxidan el etanol, produciendo ácido acético, lo que reduce el pH de la Kombucha. Durante la fermentación, las bacterias también producen celulosa, formando biopelículas en la superficie del sustrato (May et al., 2019).

Figura 5*Metabolismo de la Kombucha e interacciones microbianas*

Nota. Luego de la fermentación se obtiene la bebida burbujeante, ácida y ligeramente alcohólica. Tomado de May et al., (2019).

2.2.2.2. Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY)

SCOBY es una película celulósica incrustada con una simbiosis de bacterias y levaduras, que se utiliza como cultivo iniciador para la fermentación de la Kombucha. Esta película, producida por la síntesis bacteriana, se forma durante el proceso de fermentación como un "SCOBY hijo" sobre el "SCOBY madre" (cultivo iniciador), flotando en la superficie del té (Marsh et al., 2014). El término SCOBY fue acuñado por Len Porzio para diferenciar entre el té de Kombucha y el cultivo de Kombucha (Crum y LaGory, 2019).

En concreto, SCOBY es el crecimiento simbiótico de bacterias del ácido acético y especies de levaduras osmófilas en una estera zoogleal. Durante la fermentación de la Kombucha, las bacterias sintetizan celulosa bacteriana, que se aglomera en la superficie, dándole la apariencia de un moho, por lo que también se le conoce como "hongo del té" (Jayabalan et al., 2014; Soares et al., 2021; Dutta y Paul, 2019).

Además, SCOBY es conocido por otros nombres, como Haipao (Marsh et al., 2014), biofilm, membrana, zooglea y cultivo (Crum y LaGory, 2019). En inglés, los términos usados para referirse a SCOBY incluyen bacterial cellulose (celulosa bacteriana), kombucha mushroom (hongo kombucha), kombucha sponge (esponja kombucha), magic mushroom (hongo mágico), manchurian mushroom (hongo de Manchuria), miracle mushroom (hongo milagroso), pellicle (membrana), tea beast (bestia del té) y tea fungus (hongo del té) (Crum y LaGory, 2019).

Diversas bacterias y levaduras se encuentran en el SCOBY (Tabla 1), siendo *Acetobacter* la especie responsable de crear la estructura de red celulósica que sirve como base física para el desarrollo de la simbiosis (Dutta y Paul, 2019).

Tabla 1

Principales microorganismos en el SCOBY

Bacterias	Levaduras	
<i>Acetobacter</i> sp.	<i>Arxula adenivorans</i>	<i>Lachancea thermotolerans</i>
<i>Acetobacter aceti</i>	<i>Brettanomyces lambicus</i>	<i>Lachancea fermentati</i>
<i>Acetobacter pasteurianus</i>	<i>Brettanomyces clausenii</i>	<i>Lachancea kluyveri</i>
<i>Acetobacter nitrogenifigens</i>	<i>Brettanomyces custersii</i>	<i>Merimblaingelheimense</i>
<i>Acetobacter peroxydans</i>	<i>Candida kefyr</i>	<i>Meyerozyma caribbica</i>
<i>Bacterium gluconicum</i>	<i>Candida krusei</i>	<i>Meyerozyma guilliermondii</i>
<i>Enterobacter cancerogenus</i>	<i>Candida stellata</i>	<i>Mycoderma</i> sp.
<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Candida stellimalicola</i>	<i>Mycotorula</i> sp.
<i>Enterobacter ludwigii</i>	<i>Candida tropicalis</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>Gluconacetobacter kombuchae</i>	<i>Candida parapsilosis</i>	<i>Saccharomyces ludwigii</i>
<i>Gluconacetobacter europaeus</i>	<i>Debaryomyces hansenii</i>	<i>Saccharomycodes ludwigii</i>
<i>Gluconobacter saccharivorans</i>	<i>Dekkera anomala</i>	<i>Saccharomycopsis fibuligera</i>
<i>Gluconobacter oxydans</i>	<i>Dekkera bruxellensis</i>	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>
<i>Komagataeibacter xylinus</i>	<i>Eremothecium ashbyii</i>	<i>Starmeramethionina</i>
<i>Komagataeibacter rhaeticuse</i>	<i>Eremothecium cymbalariae</i>	<i>Starmeracaribae</i>
<i>Komagataeibacter hansenii</i>	<i>Halomonas</i> sp.	<i>Pichia fermentans</i>
<i>Lactobacillus fermentum</i>	<i>Hanseniaspora uvarum</i>	<i>Pichia mexicana</i>
<i>Oenococcus oeni</i>	<i>Hanseniaspora meyeri</i>	<i>Sporopachydermialactivor</i>
	<i>Hanseniaspora valbyensis</i>	<i>Torulaspota delbrueckii</i>
	<i>Hanseniaspora vineae</i>	<i>Torulopsis</i> sp.
	<i>Herbaspirillum</i> sp.	<i>Zygowillioopsis californica</i>
	<i>Kazachstania telluris</i>	<i>Zygosaccharomyces bailii</i>
	<i>Kazachstania exigua</i>	
	<i>Kloeckera apiculata</i>	
	<i>Kluyveromyces marxianus</i>	

Nota. Adaptado de Soares et al. (2021).

2.2.3. Factores que influyen en la producción de la celulosa bacteriana

Los medios de cultivo desempeñan un papel crucial en la producción de celulosa CB (Tabla 2), ya que los distintos componentes presentes en ellos afectan directamente tanto la calidad como la cantidad de celulosa producida (Muthu y Rathinamoorthy, 2021).

Los medios de cultivo para la producción de celulosa bacteriana (CB) se clasifican en medios definidos y no definidos. Los medios definidos poseen composiciones y concentraciones químicas específicas y conocidas. Un ejemplo de estos es el medio de Hestrin y Schramm (HS), ampliamente utilizado para cultivar bacterias productoras de CB. Sin embargo, estos medios son costosos y requieren recursos adicionales como glucosa, peptona, extracto de levadura, y etanol, entre otros. Por otro lado, los medios no definidos utilizan fuentes naturales cuya composición química no está completamente determinada, lo que los hace más económicos. Ejemplos de estos medios incluyen la cáscara de piña y la melaza de remolacha azucarera (El-Gendi et al., 2022).

Tabla 2

Componentes y condiciones del medio de cultivo

Fuente de carbono	La glucosa, la sacarosa y la fructosa son las fuentes de carbono comunes utilizadas para la producción de celulosa bacteriana.
Fuente de nitrógeno	Proporciona nutrición para el crecimiento celular y el metabolismo. El extracto de levadura y la peptona son las fuentes de nitrógeno más utilizadas.
pH	El pH del crecimiento celular y la producción de celulosa bacteriana es completamente diferente. Normalmente pH de 4 a 7.
Suministro de oxígeno	Aumenta la actividad metabólica y el crecimiento celular y controla la tasa de producción de celulosa.
Otros nutrientes	Diversos ácidos orgánicos, alcoholes, polisacáridos y desechos industriales con alto contenido de minerales, vitaminas y otros nutrientes utilizados para reducir el costo de los medios y mejorar la producción de celulosa.
Temperatura	28-30 °C es la temperatura óptima para la producción de celulosa por varias cepas, independientemente de las fuentes de carbono utilizadas/tipos de medios.
Tiempo de fermentación	El tiempo de fermentación depende en gran medida del requerimiento final de celulosa bacteriana. En el método de cultivo estático varía de 12 a 21 días y en agitado de 2 a 5 días.

Nota. Adaptado de Muthu y Rathinamoorthy (2021).

En relación con los medios no definidos, es importante destacar que aproximadamente el 30 % del costo de producir celulosa bacteriana está relacionado con los costos de los medios de cultivo, lo que limita la producción comercial o a gran

escala de celulosa bacteriana a nivel industrial (Muthu y Rathinamoorthy, 2021). Como alternativa, se ha propuesto el uso de residuos agrícolas para la producción de CB, entre los cuales se incluyen desechos de granjas, cultivos, horticultura y productos lácteos. Estos residuos comprenden paja, tallo, rastrojo, hojas, cascarilla, cáscara, pulpa, entre otros, y provienen de cereales como arroz, trigo, maíz, sorgo y cebada; algodón, cacahuete, yute, legumbres (tomate, judía, soja); café, cacao, té; frutas como manzana, uva, plátano, mango, coco; y aceite de palma (Urbina et al., 2021).

2.2.4. La celulosa bacteriana en la industria alimentaria

La CB es reconocida como una fibra dietética, y desde 1992, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de Estados Unidos la clasifica como "generalmente reconocida como segura" (GRAS, por sus siglas en inglés) (Ullah et al., 2016).

La CB tiene un gran potencial en la industria alimentaria debido a su alta pureza, diversidad de texturas y formas (como partículas, esferas, filamentos, pulpas, películas y fibras de varias formas), capacidad para absorber cambios in situ, como colores y sabores del medio de cultivo, y un proceso de producción simple (Choi et al., 2022). Sus propiedades multifuncionales permiten su uso potencial como espesante y gelificante, estabilizador, retenedor de agua y material de embalaje (Shi et al., 2014). En la Tabla 3 se mencionan algunas aplicaciones actuales y otras en estudio de la CB en la industria alimentaria.

Tabla 3

La celulosa bacteriana en la industria de alimentos

Categoría de productos	Aplicación de CB en alimentos
¹ postres y bebidas	Nata de coco, nata de piña. Té de kombucha o Teekvass.
² productos bajos en calorías (Estabilizante de emulsiones)	Mayonesa, productos cárnicos, sustituto de grasa, helados.
³ aditivo alimentario (Agente gelificante)	Tofu, surimi.
⁴ material de envasado	Películas de CB, películas con nanocristales de CB.

Nota. ¹ La nata de coco y té de Kombucha son productos que se consumen tradicionalmente por distintos países. ²³⁴ Aplicaciones de la CB que han sido abordadas por distintas investigaciones. Adaptado de Choi et al. (2022).

2.2.5. Suero de leche

El líquido resultante después de eliminar la grasa y la caseína de la leche mediante procesos como la coagulación isoeléctrica o la coagulación inducida por cuajo de la caseína se conoce como suero. Este contiene aproximadamente el 90 % del contenido de agua de la leche, el 98 % de la lactosa, el 25 % de las proteínas y el 50 % de las sales inorgánicas. Tradicionalmente, el lactosuero era considerado un subproducto de poco valor en la industria quesera, a menudo descartado de la manera más económica posible, como alimento para animales. Sin embargo, tanto la lactosa como las proteínas presentes en el lactosuero poseen propiedades interesantes y únicas (Fox et al., 2017).

La producción de leche fresca en el Perú alcanzó 2 068 232 toneladas en 2022, siendo Cajamarca, Lima y Arequipa las principales regiones productoras (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2022). Aproximadamente el 43 % de la producción total de leche se destina a la fabricación de derivados lácteos, siendo el queso el principal producto elaborado. Se calcula que existen alrededor de 6 000 plantas queseras, tanto artesanales como industriales, distribuidas en las principales cuencas lecheras del país, entre ellas Cajamarca, Puno, Arequipa, Amazonas, Ayacucho, Junín, Cusco y Ancash. Las variedades de queso producidas incluyen frescos, paria, andino, y otros tipos como gouda, camembert, dambo, gruyere, edam, brie, parmesano, además de variedades regionales (Sierra y Selva Exportadora, 2021).

Además, se espera que el mercado de quesos en Perú crezca anualmente un 2.08 % entre 2021 y 2025, dado que el queso es el producto lácteo con mayor producción y demanda en el mercado nacional (León, 2021).

2.2.5.1. Impacto ambiental del suero

Este subproducto representa un impacto medioambiental significativo en la industria láctea debido a sus características fisicoquímicas (Prazeres et al., 2012). Para la obtención de 1 kg de queso se producen alrededor de 10 litros de suero. El suero contiene aproximadamente el 90 % del volumen de la leche y transporta el 55 % de los nutrientes de esta (Tabla 4), incluyendo un 4,5 % - 5 % de lactosa, 0,6 % - 0,8 % de proteínas, 0,4 % - 0,5 % de lípidos y 8 % - 10 % de sales minerales (extracto seco). Además, el contenido de cenizas en el suero está compuesto principalmente de cloruro de sodio, cloruro de potasio, sales de calcio, ácidos láctico y cítrico, urea, ácido úrico y vitaminas del grupo B (Goyal et al., 2023).

Siendo la lactosa el componente principal del suero, es responsable de los altos valores de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno

(DQO) (Goyal et al., 2023). La DQO del suero de queso puede oscilar entre 50 000 y 80 000 mg/L, mientras que la DBO se sitúa aproximadamente entre 40 000 y 60 000 mg/L. El rápido agotamiento de oxígeno en el suelo debido a la descomposición de las proteínas y azúcares contenidos en el suero plantea un desafío significativo en términos de eliminación, especialmente considerando los grandes volúmenes generados (Lappa et al., 2019).

Tabla 4

Composición general del suero fresco (100 g)

Constitución	Suero dulce	Suero ácido
Agua (g)	93,1	93,4
Energy (kcal)	27	24
Proteína (g)	0,85	0,76
Grasas totales (g)	0,36	0,09
Cenizas (g)	0,53	0,61
Carbohidratos (g)	5,14	5,12
Lactosa (g)	4,5-5	3,8-4,3
Calcio (mg)	47	103
pH	6,2-6,4	4,6-5,0

Nota. Suero dulce (procede de la coagulación con cuajo). Suero ácido (procede de la coagulación con ácido). Adaptado de la base de datos FoodData Central del United States Department of Agriculture (USDA, s/f-a), USDA, (s/f-b) y del sitio web Dairyforall (s/f).

Por otro lado, el problema general del suero es que solo se procesa alrededor del 50 % utilizando diferentes tecnologías, mientras que el resto se desecha como residuo debido a la falta de tecnologías eficientes de procesamiento posterior. Como resultado, la eliminación del suero de las industrias tiene graves efectos contaminantes sobre el medio ambiente debido a su alta carga orgánica (Panghal et al., 2018).

Por ende, para abordar las preocupaciones ambientales, se han propuesto numerosos enfoques de valorización, centrados principalmente en la recuperación de proteínas y lactosa del suero de queso, con el fin de utilizarlos como recursos renovables (Lappa et al., 2019).

2.2.6. *Phoenix dactylifera* (Palmera datilera)

La palmera datilera es una planta monocotiledónea que pasa por diferentes etapas durante el envejecimiento (Senthil Kumar & Yaashikaa, 2019). Es una palma de gran tamaño que crece entre 25 m y 30 m de altura y de 20 cm a 50 cm de diámetro. Su

tronco es delgado, puede curvarse, y suele presentar hijuelos en la base. Sus hojas son pinnadas, y la copa es menos densa en comparación con *Phoenix canariensis*. Cada palma puede alcanzar una altura de 6 m a 7 m, pero es más estrecha y de un color verde más pálido, con una menor densidad de foliolos. La palma presenta espinas duras en la parte inferior del pecíolo y un polvillo blanquecino en los foliolos. Es una especie dioica, en la que las inflorescencias femeninas producen dátiles comestibles, mientras que las inflorescencias masculinas no producen frutos (Vives, 2018).

Phoenix dactylifera es una de las 14 a 20 especies del género *Phoenix* (Tabla 5) y con frecuencia se confunde con *P. canariensis* debido a su parecido. Esta especie se cultiva en regiones como Oriente Medio, África, América, España, Italia, entre otros lugares (Cañizo, 2011; Vives, 2018). Llegó a las costas de Perú probablemente desde Marruecos por los españoles a finales del siglo XVI. Su presencia se ha evidenciado en localidades como Chiclayo, Lima, Pisco, Ica, Arequipa, Moquegua (Ilo) y Tacna (La Yarada) (Rivera et al., 2013; Pavez et al., 2007). Actualmente, la única región que registra su cultivo para la producción de dátiles es Ica, donde en 2023 se produjeron 526 toneladas en un total de 156 hectáreas (MINAGRI, 2023). Se ha desarrollado un germoplasma significativo a través de la propagación por semillas, dando lugar a los cultivares conocidos, como Medjool, Zahidi y Deglet Noor (Escobar & Valdivia, 2015).

Tabla 5

Taxonomía de Phoenix dactylifera

Categoría Taxonómica	Nombre científico
Familia	Palmae o Arecaceae
Subfamilia	Coryphoideae
Tribu	Phoeniceae
Género	Phoenix
Especie	Phoenix dactylifera

Nota. Adaptado de Cañizo (2011).

2.2.6.1. Dátil

El fruto de la palma datilera es una baya singular de forma oblonga, con una sola semilla, un estigma terminal, un pericarpio carnoso y un endocarpio membranoso que separa la semilla de la pulpa, existen más de 3 000 variedades en todo el mundo, en las que Medjool y Barhee son las que tienen mayor potencial de comercialización (Zaid, 2024).

Alcanza aproximadamente de 2,5 cm – 7,5 cm de longitud y 1,5 cm - 3,5 cm de diámetro, y presenta una variedad de formas y colores, que pueden ser naranja, rojizo, marrón-purpúreo o negruzco (Castroviejo et al., 2008; Cañizo, 2011).

Los dátiles contienen una amplia variedad de compuestos (Tabla 6) que los clasifican como alimentos funcionales, debido a sus propiedades antioxidantes presentes en diversas variedades (Gnanamangai et al., 2019).

Tabla 6

Características nutricionales y físicas de los dátiles

C. nutricionales (g/100g) ⁽¹⁾		C. Físicas ⁽²⁾	
Proteína	2,61	Longitud (mm)	32,5
Carbohidratos	77,13	Diámetro (mm)	21,0
Lípidos	0,35	Peso (g)	8,7
Ceniza	1,68	pH	5,5
Humedad	17,66		
Grasa	7,08		
Azúcar total	59,88		
Fibra	3,98		
Materia seca	82,63		
Nitrógeno	0,48		
Fructosa	29,39		
Glucosa	30,41		
Sacarosa	11,65		

Nota. Valores promedio de distintas variedades de dátil. ⁽¹⁾ Adaptado de Gnanamangai et al. (2019). ⁽²⁾ Adaptado de Al-shahib y Marshall (2003).

Durante su maduración, los dátiles pasan por una gama de colores, desde el verde hasta el amarillo, alcanzando un tono dorado-anaranjado cuando están maduros. Dependiendo de la variedad, los dátiles pueden mostrar colores como rojo-marrón, marrón purpúreo o negro (Barrow, 1998).

La formación y maduración del fruto de la palmera datilera se describe en cinco etapas distintas (Figura 6), utilizando una terminología iraní (Gracia, 2006). Johnson (2011) describe estas etapas de la siguiente manera:

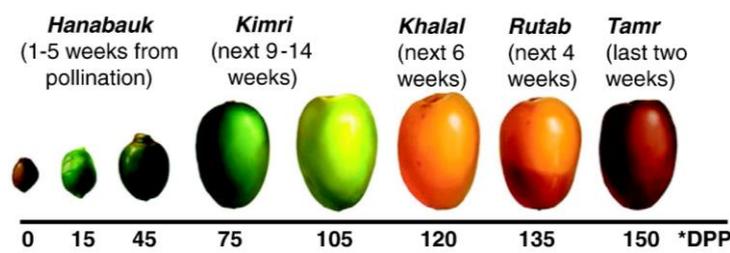
1. Hababauk: Corresponde a las flores femeninas y al periodo inmediatamente posterior a la polinización, cuando los frutos muy jóvenes son de color blanco cremoso.
2. Kimri (inmaduro): En esta etapa, los frutos verdes crecen rápidamente.

3. Khalal (maduro crujiente): Los frutos crecen lentamente hasta alcanzar su tamaño completo; el contenido de azúcar aumenta mientras disminuye el contenido de humedad. Son duros, brillantes, y de color rojo o amarillo.
4. Rutab (maduro blando): Los frutos maduran hasta alcanzar una fase blanda, de color marrón.
5. Tamar (maduro secado al sol): Los frutos están completamente maduros, arrugados, y de color marrón o negro.

Estas denominaciones, especialmente las cuatro últimas, son términos técnicos básicos que se utilizan en la actualidad.

Figura 6

Etapas de maduración de los dátiles



Nota. Diferentes etapas de fructificación de la palmera datilera según los días posteriores a la polinización (*DPP). Las etapas Khalal, Rutab y Tamr son las etapas donde la fruta es comestible. Tomado de Ghnimi et al. (2017).

2.2.6.2. Subaprovechamiento del dátil

No se hallaron estudios que cuantifiquen el impacto ambiental que conlleva la producción de dátil en la ciudad de Tacna o en otra región a nivel nacional. En este contexto, el subaprovechamiento se refiere a que el dátil, a pesar de ser un recurso con un gran potencial nutritivo y funcional (rico en azúcares, fibras y compuestos bioactivos), no está siendo utilizado en su máxima capacidad o en todo su potencial. En lugar de emplearse para producir alimentos o productos de valor agregado, se le da un uso limitado, como el de ornamento, lo que implica que sus propiedades y beneficios no están siendo plenamente explotados a pesar de los recursos empleados en su producción. Sumado a ello, se tiene documentado la huella hídrica y la huella de carbono por kilogramo de dátil deshidratado en el sitio web FoodFootprint (s/f), donde la huella hídrica es 3 200 L/kg y la huella de carbono de 2,3 kgCO₂eq/kg.

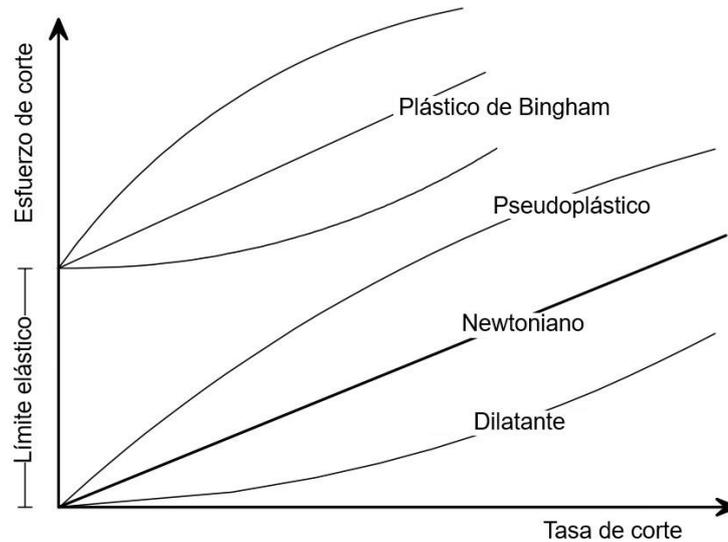
2.2.7. Reología en los alimentos

Los alimentos pueden clasificarse en diversas categorías: sólidos, geles, líquidos homogéneos, suspensiones de sólidos en líquidos y emulsiones. La Reología es la ciencia que describe los comportamientos de deformación y flujo de los materiales, ayuda a comprender las respuestas de la estructura de los alimentos a las fuerzas aplicadas o a la deformación y también proporciona información sobre la dependencia de la estructura de los alimentos de la composición general y de la interacción entre los componentes (Norton et al., 2011).

Los modelos reológicos resumen las respuestas físicas (parámetros reológicos) bajo una cierta tensión de deformación o una fuerza impulsora de flujo. Estos modelos y parámetros reológicos son fundamentales en la industria alimentaria, ya que permiten: (1) evaluar la procesabilidad de ingredientes en distintas etapas, (2) predecir la estabilidad física de productos al evitar la separación de fases, y (3) analizar propiedades texturales que influyen en la percepción sensorial de los alimentos. Su aplicación abarca desde el diseño de líneas de procesamiento y selección de equipos, hasta la predicción de la vida útil física, diseñando formulaciones para lograr una estructura específica y prediciendo atributos sensoriales (Joyner, 2019).

2.2.7.1. Comportamiento de flujo

La deformación es el desplazamiento relativo de puntos de un cuerpo. Esta deformación puede ser un flujo viscoso, una deformación elástica o una combinación de las dos. El flujo viscoso es una deformación irreversible, lo que significa que cuando se elimina la tensión, el material no vuelve a su forma original; es decir, el trabajo se convierte en calor. La Figura 7 muestra los tipos comunes de curvas de flujo, representadas como tensión de corte frente a velocidad de corte. Los flujos de adelgazamiento y espesamiento por corte se muestran mediante curvas y un flujo newtoniano mediante una línea recta. Cualquier tensión de fluencia se muestra mediante la intersección en el eje de tensiones. La tensión de fluencia es la tensión que se debe superar antes de que comience el flujo (Norton et al., 2011).

Figura 7*Tipos de comportamiento de flujo*

Nota. Tomado de Norton et al. (2011).

2.2.7.2. Parámetros Reológicos

El modelo de dos placas (Figura 8) se utiliza para medir parámetros reológicos fundamentales. En este modelo, la placa superior de área A se mueve bajo la acción de una fuerza de corte F , generando una velocidad resultante V , mientras que la placa inferior permanece fija ($v=0$). La muestra se somete a corte en el espacio entre ambas placas, que están separadas por una distancia h (Mezger, 2020).

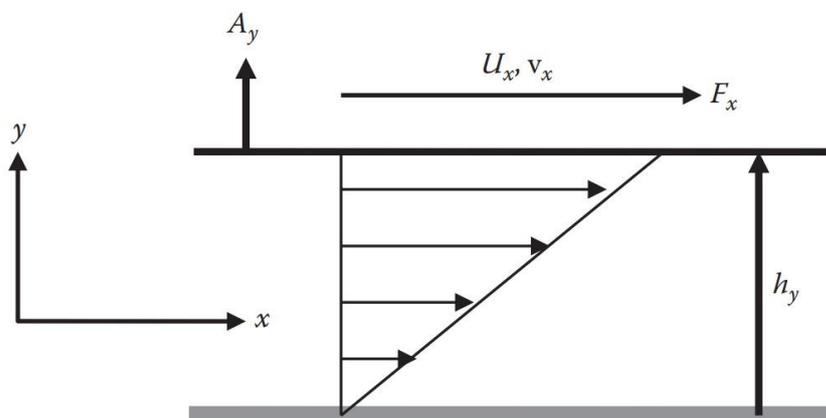
Se supone que el material se adhiere a las placas (lo que se conoce como condición de «no deslizamiento»), y sus propiedades de deformación pueden clasificarse por la forma en que responde la placa superior cuando se aplica la fuerza. El comportamiento mecánico de un material, y sus correspondientes propiedades mecánicas o reológicas, pueden definirse en términos de cómo se relacionan el esfuerzo cortante (τ_{yx}) (fuerza por unidad de superficie) y la deformación cortante (γ_{yx}) (que es un desplazamiento relativo y una medida de la deformación). Se definen, respectivamente, en términos de la fuerza total (F_x) que actúa sobre el área A_y de la placa y el desplazamiento relativo (U_x/h_y) de las placas (Darby y Chhabra, 2017), es decir:

$$\tau_{yx} = \frac{F_x}{A_y} \quad (1)$$

$$\gamma_{yx} = \frac{U_x}{h_y} = \frac{du_x}{dy} \quad (2)$$

Figura 8

Modelo de dos placas paralelas



Nota. Tomado de Darby y Chhabra (2017).

La forma en que la deformación por cizalladura, o desplazamiento, responde a una tensión por cizalladura, o fuerza, aplicada (o viceversa) en esta situación define las características mecánicas o reológicas del material. Los parámetros de cualquier relación funcional cuantitativa entre el esfuerzo y la deformación son las propiedades reológicas del material. Cabe señalar que el esfuerzo cortante tiene dimensiones de fuerza por unidad de superficie (con unidades de, por ejemplo, Pa , $kg.m/s^2$) y que la deformación cortante es adimensional (no tiene unidades) (Darby y Chhabra, 2017). Por ejemplo, si el material entre las placas es un sólido perfectamente rígido (por ejemplo, un ladrillo), no se moverá en absoluto, independientemente de la fuerza que se aplique (a menos que se rompa). Así, la relación cuantitativa que define el comportamiento de este material es:

$$\gamma_{yx} = 0 \quad (3)$$

Si las moléculas muestran una atracción mutua significativa, de forma que la fuerza (por ejemplo, el esfuerzo cortante) es proporcional a la velocidad relativa de movimiento (es decir, el gradiente de velocidad), el material se conoce como fluido newtoniano (Darby y Chhabra, 2017). La ecuación que describe este comportamiento es:

$$\tau_{yx} = \mu \dot{\gamma}_{yx} \quad (4)$$

donde $\dot{\gamma}_{yx}$ es la velocidad de deformación por cizallamiento, o velocidad de cizallamiento, para abreviar:

$$\dot{\gamma}_{yx} = \frac{d\gamma_{yx}}{dt} = \frac{dv_x}{dy} = \frac{V_x}{h_y} \quad (5)$$

y μ es la viscosidad del fluido, la viscosidad, es $\mu = \tau_{yx}/\dot{\gamma}_{yx}$, que tiene dimensiones de Pas, Poise, etc. Obsérvese que cuando se elimina la tensión de este fluido, la velocidad de deformación llega a cero, es decir, el movimiento se detiene, pero no hay «memoria» ni tendencia a volver a ningún estado pasado (Darby y Chhabra, 2017).

Si las propiedades del fluido son tales que el esfuerzo de cizallamiento y la velocidad de cizallamiento no son directamente proporcionales, sino que están relacionados por alguna función más compleja, se dice que el fluido no es newtoniano. Para estos fluidos, la viscosidad sigue definiéndose como $\tau_{yx}/\dot{\gamma}_{yx}$, pero ya no es una constante, sino una función de la velocidad de cizallamiento o del esfuerzo de cizallamiento (Darby y Chhabra, 2017). Se denomina viscosidad aparente (función) y se designa por η :

$$\eta = \frac{\tau_{yx}}{\dot{\gamma}_{yx}} = fn(\tau \text{ o } \dot{\gamma}) \quad (6)$$

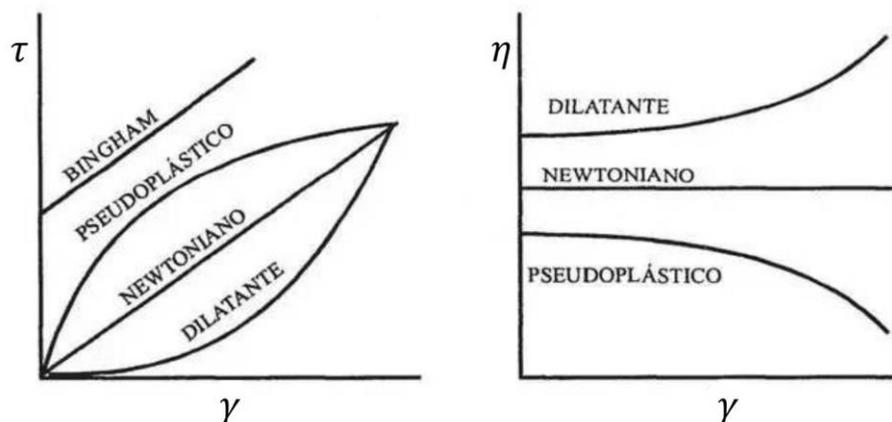
La forma matemática real de esta función dependerá de la naturaleza (es decir, de la «constitución») del material concreto. Los fluidos más comunes de estructura simple (agua, aire, glicerina, aceites, etc.) son newtonianos. Sin embargo, los fluidos de estructura compleja (fundidos o soluciones de polímeros de alto peso molecular, suspensiones de partículas finas, emulsiones, espumas, soluciones de jabón y tensioactivos, etc.) suelen ser no newtonianos (Figura 9). Algunos ejemplos muy comunes de fluidos no newtonianos son el barro, la pintura, la tinta, la mayonesa, la espuma de afeitarse, la masa, la mostaza, el yogur, el cátsup, la pasta de dientes, la sangre, el líquido sinovial, los lodos, etc. (Darby y Chhabra, 2017).

Es decir, tomando en cuenta la Ecuación 4, la representación del esfuerzo cortante (τ) y la velocidad de corte/deformación ($\dot{\gamma}$) en una línea recta que pasa por el origen. La pendiente viene dada por μ (viscosidad), que es una constante para fluidos newtonianos. Esta relación simple no se cumple en todos los fluidos, si la interacción depende de la velocidad de deformación, el coeficiente deja de ser una constante y se

usa un coeficiente de viscosidad aparente (η), que depende del esfuerzo de corte (Ecuación 6) (Méndez et al., 2001).

Figura 9

Gráficas de fluido newtoniano y no newtoniano



Nota. Tipos de fluidos. Izquierda. En función del Esfuerzo de corte y velocidad de corte. Derecha. En función de la viscosidad aparente y la velocidad de corte. Tomado de Méndez et al. (2001).

2.2.7.3. Modelo de Ley de la Potencia

La modelización permite representar una gran cantidad de datos reológicos mediante expresiones matemáticas simples, facilitando el tratamiento y el resumen de los datos. Aunque los modelos de flujo son ampliamente utilizados y documentados en la literatura, ninguno de ellos logra adaptarse completamente al comportamiento reológico de un material bajo un amplio rango de condiciones, como ocurre al variar significativamente la velocidad de corte (Norton et al., 2011).

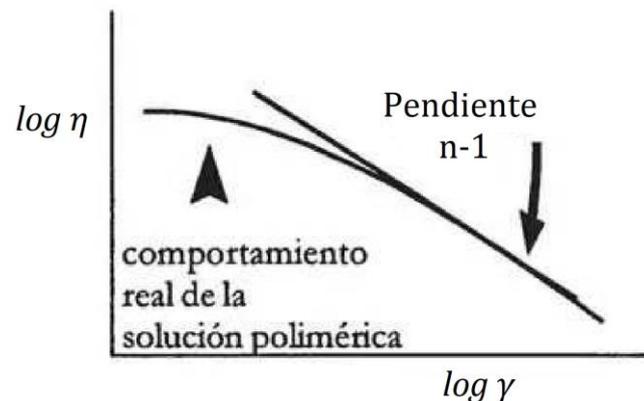
La ley de potencia, una ecuación matemática propuesta en la década de 1920 por A. de Waele y Wolfgang Ostwald, describe el comportamiento de muchos fluidos no newtonianos. Este modelo es especialmente útil para representar fluidos que muestran "adelgazamiento por cizalladura" y carecen de un punto de fluencia (Mezger, 2020).

En los sistemas dilatantes o pseudoplásticos, la relación entre $\tau - \gamma$ no se representa mediante una línea recta, sino que cada valor de τ tiene un valor único de γ , lo cual se describe mediante la Ecuación 7 y se representa gráficamente usando η y γ (Figura 10) (Méndez et al., 2001).

$$\tau = k\gamma^n \quad (7)$$

Figura 10

Representación de la Ley de la potencia



Nota. Tomado de Méndez et al. (2001).

Si los datos (ya sea el esfuerzo cortante o la viscosidad) muestran una línea recta en un gráfico logarítmico, se dice que el fluido sigue el modelo de ley de potencia, que puede representarse como (Darby & Chhabra, 2017):

$$\tau = k|\dot{\gamma}|^{(n-1)}\dot{\gamma} \quad (8)$$

Las dos propiedades reológicas viscosas son k , el coeficiente de consistencia, y n , el índice de fluidez. La función de viscosidad aparente para el modelo de ley de potencia en términos de velocidad de cizallamiento es:

$$\eta(\dot{\gamma}) = k|\dot{\gamma}|^{(n-1)} \quad (9)$$

Sin embargo, k también es igual a la viscosidad aparente del fluido a una velocidad de cizallamiento de 1 s^{-1} , por lo que es un parámetro de «viscosidad» con unidades equivalentes. Es evidente que si $n = 1$ el modelo de ley de potencia se reduce a un fluido newtoniano con $m = \mu$. Si $n < 1$, el fluido es pseudoplástico, y si $n > 1$ el modelo representa un comportamiento dilatante. La mayoría de los fluidos no newtonianos son pseudoplásticos (Darby & Chhabra, 2017). Esta simple relación describe la curva de viscosidad no newtoniana sobre la porción lineal de la gráfica log-log de la viscosidad contra la velocidad de corte para muchos materiales. Las unidades del parámetro m son $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ y n es adimensional (Bird et al., 2007).

Para calcular las constantes n y k del modelo se aplica la ley de logaritmos, la cual busca volver lineal la ecuación (Méndez et al., 2001), se ordena de la siguiente manera:

$$\log \eta = (n - 1) \log \gamma + \log k \quad (10)$$

De esta manera la ecuación toma una forma de una línea recta $y = mx + b$, lo cual indica que a partir de una gráfica del $\log \eta$ (y) vs $\log \dot{\gamma}$ (x), la ordenada al origen es el $\log k$ (b) y la pendiente es igual a $n - 1$ (m).

La mayoría de los fluidos no newtonianos presentan adelgazamiento por cizallamiento, mientras que el comportamiento de espesamiento por cizallamiento es relativamente raro, observándose principalmente en algunas suspensiones concentradas de partículas muy pequeñas (por ejemplo, suspensiones de almidón) y en algunos fluidos poliméricos inusuales. El modelo de ley de potencia es muy popular para el ajuste de curvas de los datos de viscosidad de muchos fluidos durante una a tres etapas de velocidad de cizallamiento. Sin embargo, es peligroso extrapolar más allá del rango de mediciones utilizando este modelo, porque para $n < 1$ predice una viscosidad que aumenta sin límite a medida que disminuye la velocidad de cizallamiento y una viscosidad que disminuye sin límite a medida que aumenta la velocidad de cizallamiento, siendo ambas cosas físicamente poco realistas (Darby y Chhabra, 2017).

2.2.7.4. Alimentos Semisólidos

Los alimentos pueden clasificarse como líquidos, semisólidos y sólidos según propiedades físicas como su comportamiento reológico y textura. Los líquidos no mantienen su forma y fluyen fácilmente bajo cualquier fuerza, incluidas las gravitacionales. En cambio, los sólidos conservan su forma y, bajo fuerza, tienden a deformarse o fracturarse, sin fluir. Los semisólidos combinan características de líquidos y sólidos: mantienen su forma, pero fluyen bajo presión. Aunque no existe un parámetro específico para definir cuantitativamente a los semisólidos, suelen presentar tanto elasticidad como viscosidad, teniendo mayor viscosidad que los líquidos y menor elasticidad que los sólidos. A nivel microscópico, los alimentos semisólidos suelen ser sólidos amorfos de estructura desordenada, con enlaces covalentes más débiles que los iónicos presentes en sólidos cristalinos. Esta microestructura afecta su comportamiento de flujo y textura, abarcando una gran diversidad de propiedades y estructuras en los alimentos semisólidos (Tabla 7) (Joyner, 2019).

Tabla 7*Alimentos semisólidos*

Comida	Rango de Viscosidad (Pa.s)	Modelo de Comportamiento de Flujo	Atributos Texturales Importantes	Componentes Estructurantes
Mayonesa	1.5-13.8	Herschel-Bulkley, Power law	Cremosidad, cohesividad, firmeza, consistencia, viscosidad	Lecitina de yema de huevo, grasa, tamaño y distribución de gotas
Yogurt	0.045-4.39	Power law, Casson, Herschel-Bulkley	Espesor, ropiness, suavidad, granosidad	Red de caseína, grasa, tamaño y distribución de glóbulos
Mantequilla para untar	0.01-350	Herschel-Bulkley, Casson, Bingham	Cremosidad, untabilidad, firmeza	Estabilizadores, emulsionantes, cantidad y tamaño de cristales de grasa
Salsa	0.1-20.0	Power law, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk	Suavidad, cremosidad, espesor, viscosidad	Estabilizadores, emulsionantes, tejidos vegetales
Helado	-1	Power law	Firmeza, cremosidad, frialdad, aspereza	Distribución del tamaño de los cristales de hielo y grasa, distribución del tamaño de las burbujas de aire, exceso de volumen, estabilizadores, emulsionantes
Mezcla para helado	0.01-0.1	Power law	Firmeza, cremosidad	Estabilizadores, emulsionantes, cristales de grasa
Crema batida	0.1-1.0	Cross model	Cremosidad	Estabilizadores y emulsionantes, en cristales, distribución del tamaño de las burbujas de aire, sobreenfriamiento, proteínas de la leche
Aderezo para ensalada	0.5-2.5	Power law	Espesor, firmeza, granulosidad	Estabilizadores, gotas de aceite

Nota. Adaptado de Joyner (2019).

2.2.7.5. Comportamiento de alimentos semisólidos

Aunque los alimentos semisólidos varían significativamente en estructura, reología y textura, tienden a exhibir ciertos comportamientos comunes. Estos rasgos permiten

distinguir cualitativamente a los sólidos blandos y a los fluidos de alta viscosidad de los verdaderos semisólidos (Joyner, 2019).

- Desplome

Los alimentos semisólidos pueden mantener su forma de manera temporal, pero ante fuerzas externas, como la gravedad, su estructura puede colapsar, un fenómeno conocido como "desplome" (Fig. 1). Este colapso puede deberse a una transición de fase; por ejemplo, el helado a temperatura ambiente (20–25 °C) se hunde cuando los cristales de grasa y agua se derriten parcial o totalmente. Otros alimentos semisólidos, como el yogur, los aderezos para ensaladas y la mayonesa, pueden colapsar porque su estructura de soporte cede bajo su propio peso (Joyner, 2019).

- Untabilidad

La untabilidad mide la facilidad con la que un alimento puede extenderse uniformemente sobre una superficie, siendo una característica clave para los consumidores. En alimentos semisólidos, la untabilidad resulta de varios comportamientos reológicos, destacando la viscosidad como el factor principal. A mayor viscosidad, la untabilidad disminuye debido a una mayor resistencia al flujo (Joyner, 2019).

- Separación

Los alimentos semisólidos pueden separarse en dos o más fases bajo ciertas condiciones, como cambios en la temperatura, agitación y variaciones de pH. La separación de una emulsión ocurre en dos etapas: primero, la floculación, donde las gotitas se agrupan formando agregados o "flóculos". En la segunda etapa, la coalescencia, estas gotitas de agua o aceite se fusionan para crear una fase continua, un proceso irreversible que reduce la cantidad de gotitas y, en última instancia, lleva a la separación completa de las fases de la emulsión (Joyner, 2019).

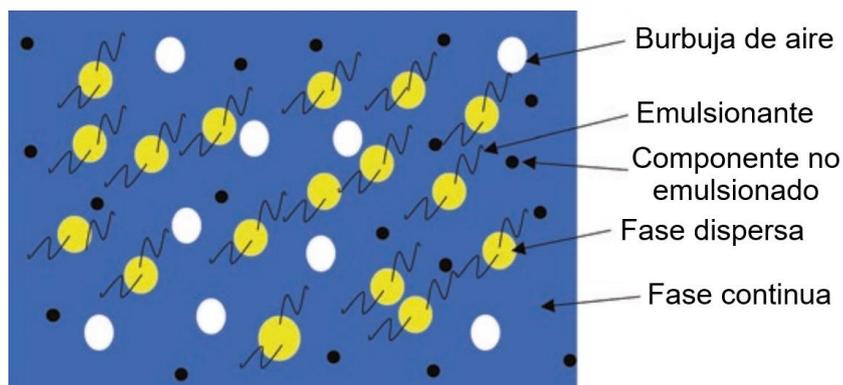
2.2.8. Emulsiones

Las emulsiones son sistemas coloidales que consisten en agua dispersa en aceite (w/o) o aceite disperso en agua (o/w), donde las gotas de un fluido se distribuyen dentro de otro (Figura 11). Estas gotas pueden tener tamaños que varían desde la escala micrométrica hasta la nanométrica, lo que permite que las emulsiones estabilizadas se vean homogéneas a nivel macroscópico, aunque mantengan dos fases distintas. Los emulsionantes, con sus propiedades anfífilas (sección polar e hidrófila y sección no

polar e hidrófoba), estabilizan las emulsiones al recubrir las gotas y alinear sus regiones polares y no polares con las fases de agua y aceite. Esto reduce la probabilidad de floculación y coalescencia. Ejemplos de alimentos semisólidos estabilizados mediante emulsiones incluyen aderezos para ensaladas, yogur, crema batida, postres helados y margarina (Joyner, 2019).

Figura 11

Emulsión estabilizada



Nota. Tomado de Joyner (2019).

2.2.8.1. Emulsiones de aceite en agua

Las emulsiones de aceite en agua (o/w) son comunes en alimentos semisólidos. Por ejemplo, la crema de un café expreso es una emulsión inestable en la que la grasa de la leche actúa como fase oleosa y el café como fase acuosa. La mayonesa es otra emulsión o/w, con una alta fracción de volumen de aceite (70-80%) que le otorga su alta viscosidad. Dado el elevado volumen de aceite, la mayonesa debe estabilizarse con lecitina de yema de huevo u otros estabilizantes para evitar la separación durante el almacenamiento. Por otro lado, el helado es una emulsión o/w estabilizada que se convierte en espuma al incorporar aire en su producción; la estabilidad de esta emulsión afecta su textura, ya que un helado mal estabilizado puede desarrollar una textura granulosa debido a la formación de grandes cristales de grasa y la incorporación insuficiente de aire (Joyner, 2019).

2.2.8.2. Agentes tensioactivos y emulsionantes

Los agentes tensioactivos, o emulsionantes, juegan un papel crucial en alimentos naturales y en la industria, ya que influyen en las fuerzas en las interfaces de las superficies, siendo fundamentales para el crecimiento de plantas y animales. Estos compuestos orgánicos modifican las actividades superficiales de los materiales y actúan

como humectantes, lubricantes, dispersantes, detergentes, emulsionantes y solubilizantes. Ejemplos como la lecitina y los mono y diglicéridos, junto con agentes humectantes como los "tweens", se añaden en productos de panadería para mejorar el volumen, la textura y prevenir el endurecimiento de la miga, así como en mezclas de pasteles y helados para optimizar sus propiedades de batido (Owusu-Apenten y Vieira, 2023).

Muchos productos contienen fases insolubles, como gas, líquido y sólidos (Tabla 8), que tienden a separarse con el tiempo, alterando su textura, sabor y apariencia. Los emulsionantes ayudan a ralentizar esta separación, mientras que el aumento de la viscosidad en la fase continua (con almidones, gomas, grasas sólidas, ceras y sales de calcio) reduce la movilidad de las partículas dispersas. Los emulsionantes alimentarios, considerados tensioactivos, son moléculas anfífilas que poseen una cabeza hidrofílica y una cola lipofílica. Las colas suelen consistir en ácidos grasos de cadena recta, de origen animal o vegetal, mientras que los grupos hidrofílicos, iónicos o dipolares, derivan de moléculas comestibles. Además, proteínas que contienen residuos hidrofílicos y lipofílicos también pueden ser activas en la superficie (Hasenhuettl, 2019).

Tabla 8

Mezclas de fases múltiples en productos alimentarios

Fases		Fase continua		
		Sólido	Líquido	Gas
Fase dispersa	Sólido	Aleación/solución sólida: Chocolate	Dispersión: Bebida de chocolate	Aerosoles sólidos: Glaseados en spray
	Líquido	Emulsión semisólida: Margarina	Emulsión: Aderezo cremoso	Aerosol líquido: Aceite en spray
	Gas	Espuma: Cobertura batida	Dispersión de gas: Bebida carbonatada	Mezcla de gases: Aire

Nota. Adaptado de Tomado de G. Hasenhuettl, 2019.

2.2.9. Evaluación Sensorial

Según el Instituto de Tecnólogos de Alimentos de EE. UU. (IFT, por sus siglas en inglés), el análisis sensorial es una disciplina empleada para medir, analizar e interpretar las reacciones provocadas por las características de los alimentos y otros materiales, tal como las perciben los sentidos de la vista, el gusto, el tacto y el oído (Espinoza, 2003).

También se define como una disciplina independiente, capaz de generar resultados precisos y reproducibles tanto en aspectos cualitativos como cuantitativos de los alimentos. Actualmente, el término “Evaluación sensorial” es el que mejor se ajusta a esta definición, y debe ser realizada por un grupo de personas conocidas como “Equipo de degustadores”, “Panel Sensorial”, “Panel de jueces”, “Equipo de jueces” o “Panel de catadores” (Espinoza, 2003).

2.2.9.1. Características Sensoriales

Las características sensoriales, también conocidas como atributos sensoriales, son los estímulos evaluados y representan la imagen, percepción o reflejo que los evaluadores humanos generan a partir de ellos (Tabla 9). La precisión de esta percepción depende de la calidad de los procedimientos, condiciones de evaluación sensorial aplicadas y la experiencia de los jueces. La selección de los atributos sensoriales a evaluar debe basarse en los mecanismos de percepción humana y en las características específicas del alimento en cuestión, lo que permite una interpretación adecuada de los resultados sensoriales (Espinoza, 2003).

Tabla 9

Relación entre medidas físicas, fisiológicas y sensoriales

Estímulo Físico (medio estimulante)	Sistema sensorial (Transductor)	Sensación Humana
Energía radiante	Visual	Apariencia, color
Vibración, tonalidad	Auditivo	Sonido
Temperatura	Térmico	Caliente, frío
Viscosidad	Cinestético	Espeso, Viscoso
Densidad	Cinestético, táctil	Pesado, ligero
Cizallamiento	Cinestético	Resistente, duro, blando
Contenido de humedad	Táctil, térmico	Seco, mojado, húmedo
Superficie áspera	Táctil	Áspero, abrasivo, dolor
Químicos irritantes	Terminaciones nerviosas libres	Pungente, picante, dolor
Acidez total	Gustativo, táctil	Ácido, agrio, dolor
Compuesto hidrosoluble	Gustativo	Sabor
Compuesto en fase vapor	Olfativo	Olor

Nota. Tomado de Espinoza (2003).

De acuerdo con Espinoza (2003), las características sensoriales se clasifican según el sentido que las percibe, y se dividen en los siguientes factores:

- Factores de Aspecto o Apariencia
 - Percibidos por el sentido de la vista, incluyen el color, la forma, el tamaño, entre otros.
- Factores de Sabor y Aroma
 - Gusto o Sabor básico: captado por las papilas gustativas de la lengua y las paredes internas de la boca, y abarca sabores fundamentales como dulce, amargo, salado y ácido. También pueden combinarse dos o más de estos sabores.
 - Olor: percibido por el epitelio olfativo en la nariz, incluye olores internos, picantes, podridos, etc.
 - Aroma: percepción de los componentes aromáticos de un alimento tras colocarlo en la boca; los aromas alcanzan los receptores olfativos a través de las trompas de Eustaquio. El aroma es un elemento clave del sabor.
 - Sabor: este atributo es complejo, ya que integra olor, aroma y gusto, siendo su evaluación y apreciación más difícil que la de cada propiedad individualmente.
- Factores de Textura
 - Percibidos a través del tacto, la vista y el oído, usando principalmente los dedos y la boca, incluyen cualidades como blando, duro, elástico y viscoso.
 - Viscosidad: mide la resistencia de un producto líquido al flujo, determinando si el producto es espeso, aguado o delgado. Se evalúa según la fuerza necesaria para sorber el alimento desde una cuchara, su resistencia al ser removido con un agitador de vidrio o su velocidad de desplazamiento en un plano inclinado.

2.2.9.2. Pruebas de aceptación o hedónicas

Este tipo de prueba en análisis sensorial se emplea para evaluar la aceptación o el rechazo de un producto específico. Aunque pueda parecer una tarea rutinaria, el diseño de estas pruebas es complejo y debe realizarse con precisión para obtener datos relevantes. Cuando se busca conocer la preferencia inmediata o momentánea, ya sea

en un entorno de laboratorio o en un ambiente natural (como en la calle o en una sala), se recurre a una evaluación hedónica (Sancho et al., 2002).

- Evaluación Hedónica: En este tipo de prueba, las muestras se presentan de manera individual y en un orden diferente para cada evaluador. Se solicita al catador que las califique utilizando una escala de intervalo no estructurada o según una graduación específica (Tabla 10) (Sancho et al., 2002).

Tabla 10

Escala hedónica estructurada

Graduación	
1.	Extremadamente agradable
2.	Muy agradable
3.	Agradable
4.	Ligeramente agradable
5.	Ni agradable ni desagradable
6.	Ligeramente desagradable
7.	Desagradable
8.	Muy desagradable
9.	Extremadamente desagradable

Nota. Tomado de Sancho et al. (2002)

Es aconsejable dejar un intervalo de 1 a 3 minutos entre la presentación de cada muestra para reducir la adaptación sensorial. Si es necesario, el catador puede enjuagarse la boca, beber agua o consumir un pequeño trozo de pan o manzana. Además, se debe utilizar una ficha nueva para cada muestra, a fin de evitar cualquier sesgo respecto a las evaluaciones previas (Sancho et al., 2002).

- Muestras: Se presentan una o más muestras, dependiendo de la naturaleza del estímulo, para que cada una sea ubicada de forma independiente en la escala hedónica. Es recomendable ofrecer estas muestras de manera natural, como se consumirían habitualmente, para evitar que el evaluador sienta que está en un entorno de laboratorio o bajo análisis (Espinoza, 2003).
- La población elegida: La evaluación debe realizarse con consumidores potenciales o habituales del producto en estudio. Estas personas no

deben conocer el propósito específico del estudio; solo es necesario que comprendan el procedimiento de la prueba y respondan adecuadamente. Se recomienda un número de 8 a 25 jueces. (Espinoza, 2003).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Celulosa bacteriana

Es un tipo de celulosa natural biodegradable que se produce mediante la síntesis de bacterias (Manoukian et al., 2019).

2.3.2. Cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY)

SCOBY es una película celulósica incrustada con una simbiosis de bacterias y levaduras, esta se utiliza como cultivo iniciador para la fermentación de la Kombucha (Marsh, et al. 2014).

2.3.3. Fermentación

Es un proceso metabólico que libera energía a partir de un azúcar u otra molécula orgánica, no necesita la presencia de oxígeno ni de una cadena transportadora de electrones y utiliza una molécula orgánica como aceptor final de electrones (Tortora et al., 2007).

2.3.4. Suero de leche

Subproducto de la industria láctea, principalmente de la elaboración de queso, es valorado por sus propiedades nutricionales (Goyal et al., 2023).

2.3.5. Dátil

Es el fruto de Phoenix dactylifera, alcanzan unos 7 cm de longitud y 3 cm de diámetro, con características de forma variadas y de color naranja, rojizo, marrón-purpúreo o negruzco (Cañizo, 2011).

2.3.6. Emulsionantes alimentarios

Los emulsionantes alimentarios son moléculas anfifílicas con una cabeza hidrofílica y una cola lipofílica, derivadas de grasas animales o vegetales. Los grupos hidrofílicos son iónicos o dipolares (Hasenhuettl, 2019).

2.3.7. Viscosidad Aparente

La viscosidad aparente es la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte en un fluido no newtoniano. Este valor no es constante, ya que varía con las condiciones de flujo, reflejando cómo cambia la resistencia al movimiento bajo diferentes fuerzas aplicadas (Méndez et al., 2001).

2.3.8. Fluido no newtoniano

Un fluido no newtoniano es aquel cuya viscosidad cambia con la velocidad de cizalladura o la tensión aplicada, sin mantener una relación lineal constante. En estos fluidos, la resistencia al flujo puede aumentar o disminuir según la fuerza, diferenciándose así de los fluidos newtonianos, cuya viscosidad es constante (Méndez et al., 2001; Darby & Chhabra, 2017).

2.3.9. Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial es una disciplina que mide, analiza e interpreta las reacciones sensoriales (vista, gusto, tacto y oído) que provocan las características de alimentos u otros materiales en el ser humano (Espinoza, 2003).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

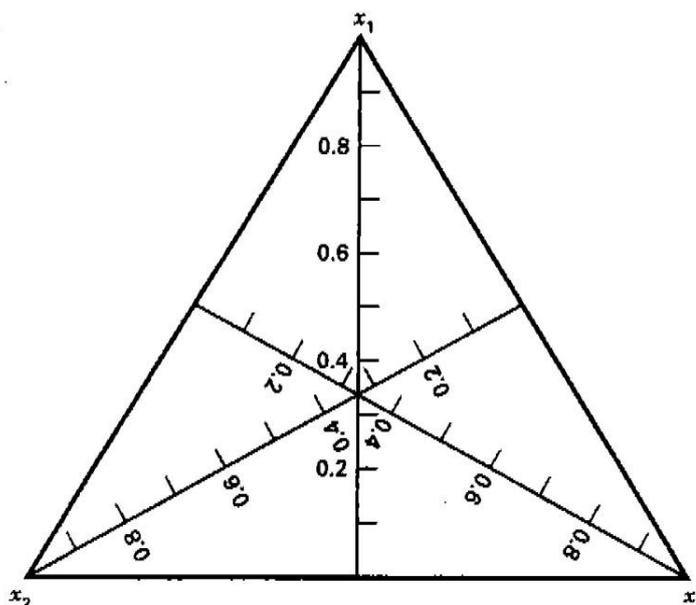
3.1. Diseño de la investigación

El procedimiento para la producción de CB consistió en formular medios de cultivo utilizando las diferentes fuentes de carbono: suero de leche (SL), zumo de dátil (D) y Sacarosa (SA), esta última se utilizó para efectos de comparación; estos representaron el 80 % del total del medio. El 20 % restante del medio estuvo compuesto por componentes constantes, que incluyeron infusión de té negro como fuente de nitrógeno (10 %) y kombucha como acidificador del medio (10 %).

Como se quiere estudiar cómo las diferentes combinaciones de fuentes de carbono afectan en la producción CB se empleó un diseño simplex reticular (Simplex-Lattice) con un modelo cuadrático, el modelo cuadrático es adecuado para modelar tanto los efectos lineales como las interacciones cuadráticas entre los componentes.

Las variables independientes fueron las proporciones de suero de leche (X_1), zumo de dátil (X_2), y sacarosa (X_3), siendo la región experimental del estudio (Figura 12), y la variable dependiente fue la producción de CB. Se realizaron un total de 10 corridas (tratamientos) experimentales por duplicado, las mezclas obtenidas por el diseño se muestran en la Tabla 11.

Figura 12
Región experimental



Nota. Tomado de Montgomery (2005). X_1 : Suero de leche. X_2 : zumo de dátil. X_3 : Sacarosa.

Tabla 11*Tratamientos experimentales para la obtención de CB*

Tratamientos	SL (%)	D (%)	SA (%)
1	80	0	0
2	40	40	0
3	40	0	40
4	0	80	0
5	0	40	40
6	0	0	80
7	27	27	27
8	53	13	13
9	13	53	13
10	13	13	53

Nota. SL: Suero de leche. D: zumo de dátil. SA: sacarosa.

La siguiente etapa de la investigación consistió en evaluar la CB obtenida como agente emulsionante. Para ello se formularon emulsiones tipo mayonesa. Para efectos de comparación, se formularon tres tipos de emulsiones diferentes, una sin ningún agente emulsionante, otra con la adición de goma xantana y una última con la adición de CB (Tabla 12). En los tres casos, se evaluaron las características reológicas, como viscosidad, coeficiente de consistencia (k), índice de fluido (n), además de la estabilidad. Por otro lado, se realizó una evaluación sensorial para conocer el grado de satisfacción en las 3 emulsiones, para lo cual se empleó un diseño completo al azar (DCA).

Tabla 12*Emulsiones formuladas*

Emulsiones	Emulsionante
m1	Sin emulsionante
m2	Goma Xantana
m3	Celulosa Bacteriana

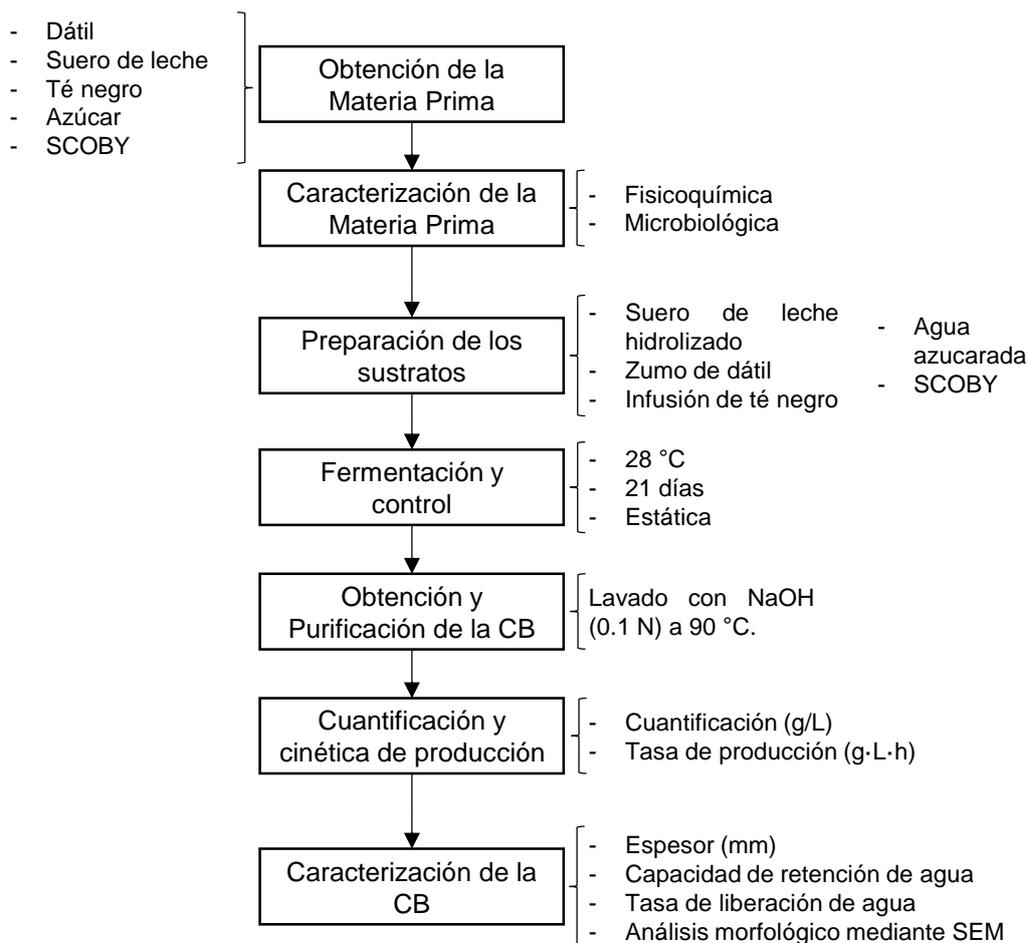
3.2. Acciones y actividades

3.2.1. Obtención de la celulosa bacteriana

En la Figura 13 se resumen las actividades que se realizaron para la obtención de CB en la primera etapa de la investigación.

Figura 13

Diagrama de flujo para la obtención de Celulosa Bacteriana



3.2.1.1. Obtención de la Materia prima

- Dátiles de *Phoenix dactylifera*

Los dátiles de *Phoenix dactylifera* se obtuvieron de un productor en el distrito de La Yarada Los Palos (Yarada baja - Los Olivos). Se tomó en cuenta que estén en la etapa de maduración Rutab (maduro, crujiente) o Tamar (maduro, secado al sol) y en buenas condiciones (Anexo 2-a).

- Suero de leche

El suero de leche se obtuvo del Fondo de Fomento para la Ganadería Lechera de Tacna (FONGAL), se tomó en cuenta que fuera suero dulce (sin sal). El suero de leche se acopió en envases limpios y provistos con tapa y se trasladó hasta el laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales.

- Sacarosa (azúcar)

La azúcar rubia de grado comercial se obtuvo del supermercado Plaza Vea.

- Té negro

El té negro (*Camellia sinensis*) se obtuvo del mercado mayorista Grau de marca TE HUYRO.

- SCOBY

Se obtuvo de la empresa Fermentos & Kombucha Perú. Consiste en un kit de elaboración de kombucha el cual contiene el líquido iniciador con un SCOBY (CB madre).

3.2.1.2. Caracterización de la materia prima

- Suero de leche

Previamente a los análisis, el suero se filtró con poliseda para retirar todos los sólidos restantes de la producción de queso. Todos los procedimientos se realizaron por duplicado.

- pH

Para ello en un vaso de precipitado de 100 ml se colocaron 50 ml de suero y se usó un pH-metro digital BOECO PT-380. Los datos se tomaron a temperatura ambiente.

- Grados Brix

Se midieron los índices de refracción para poder cuantificar los sólidos solubles presentes en el suero. Se utilizó un refractómetro ABBE, se colocaron 3 gotas de suero de leche en el refractómetro y se anotó la lectura indicada a temperatura ambiente.

- Sólidos totales

Se empleó como referencia la ISO 6731:2010, los sólidos totales se expresaron en porcentaje de sólidos totales (%).

- Cenizas

Se empleó el método indicado por Gandhi et al. (2020). El contenido de ceniza se expresó en porcentaje (%).

- Acidez titulable

Se calculó según la ISO/TS 11869:2012, la acidez se expresó en porcentaje de ácido láctico (% ácido láctico).

- Densidad

La densidad de la leche se determinó mediante un picnómetro de 10 ml, el cual se pesó en una balanza analítica (rango de pesaje 250 g – 0.0001 g). Previamente agitado, el suero se colocó en el picnómetro y se pesó. La densidad se expresó en el peso en gramos de la muestra por el volumen en mililitros de la muestra (g/ml). Se calculó a través de la ecuación 11:

$$\rho = \frac{\text{masa de la muestra en gramos}}{\text{volumen de la muestra en mililitros}} \quad (11)$$

- Azúcares totales

Para determinar los azúcares totales se utilizó el método fenol – ácido sulfúrico descrito por Nielsen (2017). Los azúcares totales se expresaron en gramos de glucosa por litro de suero (g/L).

- Dátiles de Phoenix dactylifera

Previamente se verificó que los frutos no tengan daños físicos, presencia de hongos o lesiones. Se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio (2.5 ml en 5 L de agua) durante 5 minutos, posteriormente se enjuagaron con abundante agua. Todos los procedimientos se realizaron por duplicado.

- Grados Brix

Se midieron los índices de refracción para poder cuantificar los sólidos solubles presentes en el fruto. Para ello con la ayuda de un mortero de laboratorio se trituró un fruto para obtener sus jugos. Se utilizó un refractómetro ABBE, se colocaron 3 gotas de jugo de dátil en el refractómetro y se anotó la lectura indicada a temperatura ambiente.

- Humedad (%)

Primero se desecó una cápsula de porcelana a 105 °C por 2 horas y se dejó enfriar en un desecador. Luego, se pesaron 5 gramos de pulpa de fruta en la cápsula y se secó en una estufa a 103 °C por 4 horas. La cápsula con la muestra seca se colocó en un desecador durante 40 min y se pesó. Se repitió el secado en la estufa por 1 hora, hasta que la muestra no variara su peso más de un 0.2 %. El procedimiento se realizó por duplicado. La humedad se calculó con la siguiente fórmula (Ecuación 12):

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (12)$$

P_i = masa de la muestra inicial en gramos

P_f = masa de la muestra final en gramos

- Cenizas (%)

Se utilizó el mismo método del punto 3.2.1.2.

- SCOBY

- Características microbiológicas

Para la extracción de la muestra se tomó como referencia el método de Reyes et al. (2003). Se pesaron 26 g de SCOBY, el cual se introdujo a una bolsa estéril con 100 ml de solución salina estéril (0.85 % p/v). Se agitó en un homogeneizador de paletas Stomacher (Modelo: BK-SHG04-CHINA) de BIOBASE. La agitación duró 5 min a una velocidad de aleteo de 10 veces por segundo. A partir de esta dilución, se preparan otras diluciones decimales para poder hacer el recuento. Se realizó por duplicado.

El método utilizado fue recuento en placa para el recuento total de levaduras y aerobios mesófilos. Se utilizó medio Oxytetra Glucose Yeast Agar Base (OGYE Agar Base) para el recuento total de levaduras, con la adición de

gentamicina (0.005 %) para inhibir el crecimiento de bacterias. Las placas se incubaron durante 5 días a 30 °C. Para el recuento de aerobios mesófilos se utilizó el medio Plate Count Agar (PCA). Las placas se incubaron a 30 °C durante 2 días.

3.2.1.3. Preparación de los sustratos

- Té

Se preparó una infusión de té, compuesto de té negro (20 % p/v) y azúcar (10 % p/v). Se llevó a ebullición agua destilada y añadieron el té negro y el azúcar, manteniendo la ebullición por 15 minutos. Luego se filtró la infusión con poliseda para eliminar las partículas sólidas del té y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

- Suero de leche

Para una mayor disponibilidad de los azúcares del suero por el SCOBY, se trató por un proceso de hidrólisis enzimática para descomponer la lactosa en glucosa y galactosa. Se utilizó la enzima β -galactosidasa (lactasa) comercializada bajo el nombre NOLATM Fit 5500. El suero se calentó a 40 °C, se añadió 1 ml de la enzima por cada litro de suero, y se mantuvo a esa temperatura durante una hora. Finalmente, el suero hidrolizado se esterilizó en un autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Luego se filtraron los sólidos precipitados con poliseda, se reservó el suero filtrado hasta su utilización.

- Zumo de dátil

Para obtener el zumo de dátil se utilizó como referencia el método de Abbès et al. (2011), primero se despepitaron los dátiles para obtener solo la pulpa, luego se licuó en una licuadora industrial durante 3 minutos con agua destilada, la proporción para el licuado fue de 1 kg de pulpa por 2.7 L de agua destilada. Posteriormente, el licuado se llevó a ebullición y se mantuvo hirviendo durante 15 minutos. Luego, se filtró el zumo con una poliseda. Se conservó hasta su utilización.

- Sacarosa (Agua azucarada)

El agua azucarada se preparó a una concentración de azúcar del 10 % p/v. Se utilizó azúcar comercial y agua destilada. Para ello, se diluyeron 100 gramos de azúcar por cada litro de agua destilada.

3.2.1.4. Condiciones de fermentación

Tanto para formulación, condiciones y los procedimientos de los medios, se tomó como referencia lo descrito por Marsh et al. (2014), Jayabalan et al. (2014) y Soares et al. (2021).

- Acondicionamiento de cultivo estático
Se acondicionaron frascos de vidrio de 450 ml provistos con tapa, se hizo un agujero de 2 cm de diámetro en la tapa para que pueda haber salida de los gases producto de la fermentación (Anexo 3).
- Adición y mezclado de sustratos
Se midieron las cantidades de los sustratos para cada experimento según el diseño planteado y se añadieron a los frascos, además de la infusión de té negro y el líquido iniciador, luego se agitaron con una varilla de vidrio, se consideró un volumen de medio total de 260 ml. Se retiraron 10 ml de los medios para medir pH y °Bx.
- Medición de pH y grados Brix de cada experimento
En cada experimento luego del mezclado se midió el pH y los °Bx para conocer las condiciones iniciales de la fermentación. Se emplearon los mismos procedimientos descritos anteriormente.
- Esterilización
Los frascos con los medios se esterilizaron a 121 °C por 15 minutos.
- Inoculación
Luego de la esterilización se dejó enfriar los frascos a temperatura ambiente. Para la inoculación se añadió un SCOBY de aproximadamente 5 cm de diámetro y de alrededor de 25 g a cada frasco (Anexo 2-b). Con la ayuda de una varilla de vidrio estéril, se colocó el SCOBY en el medio del sustrato. Finalmente, en el agujero hecho en la tapa se tapó con cinta transpirable (3M) para evitar que se contamine la muestra y a la vez puedan salir los gases.
- Fermentación
La fermentación se llevó a cabo en una incubadora Ecocell a una temperatura de 28 °C durante 21 días. Se aseguró que las rejillas de ventilación de la incubadora estén abiertas (Anexo 2-c).

3.2.1.5. Control del pH y °Bx final

A cada experimento se midió el pH y °Bx final para verificar la variación de los valores, se utilizaron los mismos procedimientos descritos anteriormente. Los datos se tomaron a temperatura ambiente.

3.2.1.6. Purificación y cuantificación de la CB

- Purificación

La purificación de la CB se realizó con el fin de eliminar células, proteínas, polifenoles y otros componentes del medio de cultivo en la fermentación. Se utilizó como referencia el método detallado por Amarasekara et al. (2020). La producción de la CB se dio en la superficie del medio (Anexo 2-d). Se destaparon los frascos y se retiró la CB producida junto con el SCOBY madre. La CB fue lavada con agua destilada para retirar restos y partículas del medio de cultivo. Posteriormente, se lavó por dos veces sucesivas con NaOH (0.1 N) a 90 °C durante 1 h cada vez en un Baño María, y luego se enjuagó con agua destilada. Para retirar los restos de NaOH, se dejó la CB reposando en 250 ml de agua destilada durante 15 min y se midió el pH del agua. Este paso se repitió hasta que el pH alcanzó la neutralidad.

- Cuantificación

La CB ya purificada se colocó en una superficie inclinada para escurrir el agua destilada durante 2 h. Luego se secó en un secador de bandejas a 40 °C con salida de aire a 1 m/s hasta alcanzar un peso constante. La cuantificación se expresó en gramos de CB seca por litro de medio de cultivo (g/L). También se expresó según la tasa de producción de CB (TCB) por la ecuación 13:

$$TCB = \frac{CB}{V \times t} \quad (13)$$

Donde CB es el peso seco de la celulosa bacteriana (g), V es el volumen del sustrato (L) y t es el tiempo de fermentación (h).

3.2.1.7. Caracterización de la CB

- Determinación del espesor de las membranas de CB

Las mediciones del espesor de las membranas de CB se realizaron utilizando un Bernier.

- Capacidad de retención de agua (CRA) y la tasa de liberación de agua (TLA)

La CRA se determinó utilizando como referencia el método de Schrecker & Gostomski (2005). Después de la purificación, las membranas de CB se colocaron en un tamiz y se agitaron vigorosamente para retirar el agua superficial restante. Luego, se secaron a temperatura ambiente durante 48 h registrando sus pesos cada 12 h. Posteriormente, se secaron a 60 °C durante 12 h en una estufa para eliminar completamente la humedad. La CRA se determinó con la ecuación 14:

$$CRA = \frac{CB_{Húmeda}}{CB_{Seca}} \quad (14)$$

Para determinar la TLA se elaboró un gráfico del peso (g) del agua que se liberó de cada membrana de CB durante el secado.

- Análisis morfológico de las membranas mediante SEM

Para determinar la morfología y topografía de la superficie de las membranas de CB se utilizó un microscopio electrónico de barrido de sobremesa (SEM) EM-30N de COXEM (Corea). La CB seca se recubrió con iones de plata durante 100 segundos y a 5 mA utilizando un recubridor de iones SPT-20 de COXEM. Las imágenes se obtuvieron a una ampliación de 5000x y 15000x y a un voltaje de aceleración de 10 kV, observando la alineación, densidad, grosor de las fibras, textura de la superficie, interacción entre las fibras y la cristalinidad.

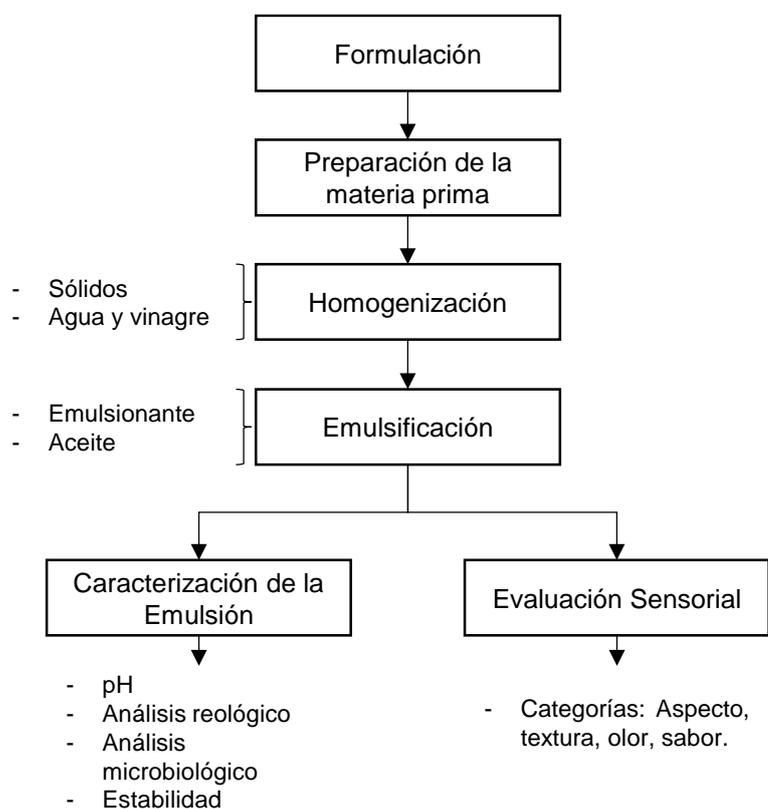
Con el mismo equipo también se hizo un análisis elemental, por medio de espectroscopia de rayos X por dispersión de energía (EDS).

3.2.2. Producción de una emulsión tipo mayonesa

En la Figura 14 se resume las actividades para la producción de una emulsión alimentaria con celulosa bacteriana como emulsionante.

Figura 14

Diagrama de flujo para la obtención de mayonesa



3.2.2.1. Formulación

Para realizar la formulación de la emulsión tipo mayonesa se tomó en cuenta la NTP 209.033 de 1974 (revisada el 2017), se decidió emplear aceitunas negras naturales por ser propias de la zona, además de poder dar un valor agregado. Previamente se realizaron ensayos para poder determinar una formulación adecuada para poder evaluar los emulsionantes.

3.2.2.2. Preparación de la materia prima

- Todos los insumos fueron obtenidos en establecimientos locales.

- Aceitunas: Las aceitunas previamente se trataron por un proceso térmico de conservación, para ello se pasteurizaron a 70 °C por 5 min. Posteriormente se separó el hueso de la pulpa con un cuchillo.
- Yema de huevo: Se separó la clara de las yemas en un recipiente de vidrio, posteriormente en baño maría se trató térmicamente a 55 °C con agitación constante durante 5 minutos y posteriormente se sumergió parcialmente en un baño maría inverso hecho con agua y hielo. Se conservó tapado hasta su utilización.
- Todos los ingredientes se pesaron en una balanza según la formulación.

3.2.2.3. Homogenización

1. Se utilizó una licuadora Oster (Modelo 250-022-220), primero se añadió la aceituna, el vinagre, la sal, el glutamato monosódico, la pimienta y el sorbato de potasio, y una parte del agua.
2. Se licuó hasta asegurar que la aceituna forme una pasta, se utilizó el agua sobrante para limpiar las paredes del vaso y se realizó un licuado final.
3. Para homogeneizar la CB, previamente se cortaron en pequeños trozos y se hidrataron en agua recién hervida por 15 min. Se utilizó la CB independientemente del tratamiento. Luego se añadió a la mezcla del paso anterior y se licuó hasta asegurar su completa homogeneización.

3.2.2.4. Emulsificación

1. En el vaso con la pasta de aceituna y los demás ingredientes ya homogeneizados se añadió el emulsionante (si fuera el caso) y la yema de huevo.
2. Con la licuadora ya encendida se añadió el aceite en forma de hilo.
3. Se almacenó en envases de vidrio previamente pasteurizados (Anexo 2-e).

3.2.2.5. Caracterización de las emulsiones

- pH
El valor del pH se midió con un pH-metro digital BOECO PT-380. Los datos se tomaron a temperatura ambiente.

- Análisis Reológico

Primero se determinó la viscosidad aparente de las emulsiones, se realizó en el Laboratorio de Tecnología Pesquera de la UNJBG. El equipo utilizado fue un viscosímetro rotacional (Modelo Digital EXPERT, Fungilab) (Anexo 2-f). En la medición se utilizaron Spindles adecuados para cada muestra a distintas velocidades de rotación (RPM). Para determinar el tipo de fluido no newtoniano, posteriormente se procesaron los datos según el modelo de Ley de la potencia, se determinaron el índice de consistencia (k) y el índice de fluidez (n) (Méndez et al., 2001).

- Análisis Microbiológico

El análisis microbiológico se realizó en el Laboratorio del Módulo de Servicios Tacna – MS Tacna Innova (MSLAB). El análisis se realizó tomando en cuenta la NTS N° 071 – MINSA/DIGESA-V.01, la cual detalla en el grupo de alimentos XIII.1 los criterios microbiológicos de la mayonesa y otras salsas a base de huevo, donde considera el recuento de Aerobios mesófilos, Levaduras, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella spp.*

- Estabilidad

Se tomó como referencia el método de Pazhvand y Khavarpour (2019) con modificaciones, para ello se utilizaron tubos de ensayo con tapa de una capacidad de 23 ml, los cuales se llenaron con las muestras de mayonesa y se almacenaron en refrigeración por 50 días. La estabilidad se calculó con siguiente ecuación:

$$Estabilidad (\%) = \frac{V_1}{V_0} \quad (15)$$

Donde V_1 es el volumen de la fracción precipitada y V_0 es el volumen de la muestra.

Además, se realizó una inspección visual de la estabilidad a los 20 y 50 días de almacenamiento.

3.2.2.6. Evaluación Sensorial

- A través de una prueba afectiva en la que se busca conocer el nivel de agrado o grado de satisfacción de las emulsiones, se realizó una evaluación sensorial, para lo cual se utilizó una escala hedónica

estructurada del 1 al 5, siendo 1 Me disgusta mucho, 2 Me disgusta moderadamente, 3 No me gusta ni me disgusta, 4 Me gusta moderadamente y 5 Me gusta mucho (Anexo 7). Los atributos sensoriales para evaluar se agruparon por las siguientes categorías y atributos: Aspecto (Color, Brillo, Estabilidad), Textura (Consistencia, untuosidad, homogeneidad), Olor y Sabor (Salado, Ácido, Amargo, Aceituna).

- Los evaluadores fueron 16 consumidores habituales de mayonesa.
- A cada evaluador se le proporcionó 15 gramos de cada tipo de emulsión, los cuales fueron rotulados de forma adecuada sin proporcionar información específica, además de galletas para hacer la degustación y evaluar la untuosidad y un vaso con agua para la evaluación entre muestras (Anexo 2-g). Previamente a la evaluación se informó a los evaluadores los ingredientes de las mayonesas por medio de un consentimiento informado (Anexo 8). En todo el procedimiento se tomó referencia lo descrito por Espinoza (2003).

3.3. Materiales y/o instrumentos

- Vasos precipitados
- Poliseda
- Cucharas
- Espátulas
- Ollas de acero
- Cocina de inducción
- Termómetro
- pHmetro
- Refractómetro
- Placas Petri
- Incubadora
- Mufla de laboratorio
- Homogeneizador de paletas
- Probetas
- Pipetas
- Fiolas
- Vasos precipitados
- Tubos de ensayo
- Contador de colonias
- Secador de bandejas

- Microscopio Electrónico de Barrido
- Viscosímetro Rotacional
- Baño maría
- Licuadora
- Licuadora industrial
- Espectrofotómetro
- Balanza analítica
- Glucosa
- Hidróxido de sodio
- Ácido sulfúrico
- Lactasa (enzima)
- Agar OGYE
- Agar PCA
- Gentamicina

3.4. Población y/o muestra de estudio

En la obtención de la CB las muestras de estudio son el suero de leche, zumo de dátil y sacarosa, que fueron empleados como sustrato mediante la fermentación. En la evaluación de la efectividad de aplicar la CB como emulsionante en una mayonesa, la celulosa es la muestra que se somete a análisis, evaluando sus propiedades emulsionantes y características reológicas en la mayonesa.

3.5. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables estudiadas se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Operacionalización de variables de investigación

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Variable independiente: Fuente de Carbono	La fuente de carbono (sacarosa, glucosa, fructuosa, etc.), es uno de los elementos	Suero de leche	%	13, 27, 40, 53, 80 %	Se tomó como referencia los métodos de Marsh et al. (2014), Jayabalan et al. (2014) y Soares et al. (2021).
	esenciales para la síntesis de celulosa en la producción de celulosa bacteriana	Zumo de dátil	%	13, 27, 40, 53, 80 %	
	(Muthu y Rathinamoorthy, 2021).	Sacarosa	%	13, 27, 40, 53, 80 %	

(continúa)

Tabla 13 (continuación)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Variable independiente para la formulación de la emulsión: Adición de CB			Emulsión con/sin CB	0, 0,2 %	Se tomó en cuenta la NTP 209.033 de 1974 (revisada el 2017).
		CB	Producción de CB	g/L	Se tomó en cuenta el método de Amarasekara et al. (2020).
			Tasa de producción de CB	g·L·h	Se tomó en cuenta el método de Castro et al. (2011).
Variable dependiente: Celulosa bacteriana (CB)	Biopolímero compuesto por moléculas de glucosa producido por algunas cepas bacterianas (Park et al., 2009; Khan et al., 2007).	Características de la CB	Espesor de CB	mm	Se midió con un Bernier.
			Capacidad de retención de agua	g/g	Se tomó en cuenta el método de Schrecker & Gostomski (2005)
			Tasa de liberación de agua	h	
			Tamaño de fibras	nm	Se midió por medio de un microscopio electrónico de barrido (SEM).
			Viscosidad	Pa·s	Se midió por medio de un Viscosímetro Rotacional Fungilab.
Variable dependiente: Emulsión	Sistemas coloidales que consisten en agua dispersa en aceite (w/o) o aceite disperso en agua (o/w), donde las gotas de un fluido se distribuyen dentro de otro. (Joyner, 2019).	Características de la emulsión	Índice de fluido	adimensional	Se determinó según el modelo de Ley de la potencia descrito por Méndez et al. (2001).
			Coefficiente de consistencia	Pa·s ⁿ	
			Estabilidad	%	Se tomó como referencia el método de Pazhvand y Khavarpour (2019).
		Aceptabilidad	Evaluación sensorial	Escala hedónica 1 al 5	Se tomo en cuenta el método de Espinoza (2003).

3.6. Procesamiento y análisis de datos

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion. Se utilizó análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia estadística del modelo cuadrático y su capacidad para explicar la variabilidad en la producción de CB, además si las combinaciones de los componentes tienen un efecto significativo en la respuesta. Se utilizó el gráfico de contornos para evaluar de forma

visual las regiones óptimas donde se maximiza la producción de CB, y además el gráfico de trazas donde se visualiza el efecto individual de cada componente.

Respecto a la evaluación sensorial de las emulsiones las diferencias entre las emulsiones y los evaluadores se corroboraron mediante ANOVA y prueba de múltiples Rangos. Los gráficos se realizaron por medio de la aplicación de hoja de cálculo Microsoft Excel.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Características de la materia prima

Se presentan las características fisicoquímicas del suero de leche y el dátil de *Phoenix dactylifera* y las características microbiológicas del SCOBY.

- Suero de leche

En la Tabla 14 se puede ver la cantidad de lactosa que contiene el suero de leche, se realizó la hidrólisis enzimática para descomponer la lactosa en sus monosacáridos glucosa y galactosa, estos azúcares pueden ser utilizados por las bacterias productoras de celulosa como fuente de carbono.

Tabla 14

Características del suero de leche

Parámetro	Valores
pH	6,6
Grados brix	4
Sólidos totales (%)	6,1
Cenizas (%)	0,3
Acidez titulable (% ácido láctico)	0,07
Densidad (g/ml)	1,05
Azúcares totales (g/L)	40,4

- Dátil

En la Tabla 15 se puede observar la alta concentración de sólidos solubles en el dátil, como se mencionó estos son ricos en fructosa y glucosa, además de sacarosa, azúcares simples que son fácilmente fermentables por las bacterias.

Tabla 15

Características del dátil

Parámetro	Valores
Grados brix	29
Humedad (%)	59
Cenizas (%)	1,35

- SCOBY

En la Tabla 16 se puede observar la cantidad total de aerobios mesófilos y levaduras presente por gramo de SCOBY utilizado en la fermentación. Los aerobios mesófilos indican la cantidad de microorganismos que pueden crecer en condiciones aeróbicas y a temperaturas moderadas. Un alto recuento de levaduras y aerobios mesófilos sugiere que el SCOBY está activo. La cantidad de aerobios mesófilos indica que el consorcio tiene el potencial de producir celulosa bacteriana. Las levaduras son fundamentales en la fermentación de los azúcares presentes en los medios y contribuyen a la producción de ácidos orgánicos y alcohol, que está asociado a una mayor acidez en la fermentación, esto es importante ya que la producción de CB es mejor en medios ácidos.

Tabla 16

UFC promedio del SCOBY

Microorganismos	Log UFC / g
Aerobios mesófilos	4,68
Levaduras	5,59

4.2. Características de los sustratos y los medios de cultivo

La Tabla 17 muestra el pH y °Bx inicial y el contenido de azúcares totales del zumo de dátil (D), suero de leche (SL), la sacarosa (SA) y la infusión de té negro.

Tabla 17

Características de los sustratos

Sustratos	pH	°Bx	Azúcares totales (g/L)
Zumo de dátil	5,8	9	106,3
Suero de leche	6,7	4	40,4
Infusión de té	6	9	80
Agua azucarada	4,8	9	80

En la Tabla 18 se muestra el pH y °Bx de los tratamientos luego de la mezcla según el diseño experimental. Al no ajustar los parámetros a un valor fijo, se observan valores diferentes. Los medios con mayor proporción de SA tienen los valores más altos de grados Brix, mientras que los valores menores son los medios con SL. El pH en la mayoría de los tratamientos es alrededor de 4.

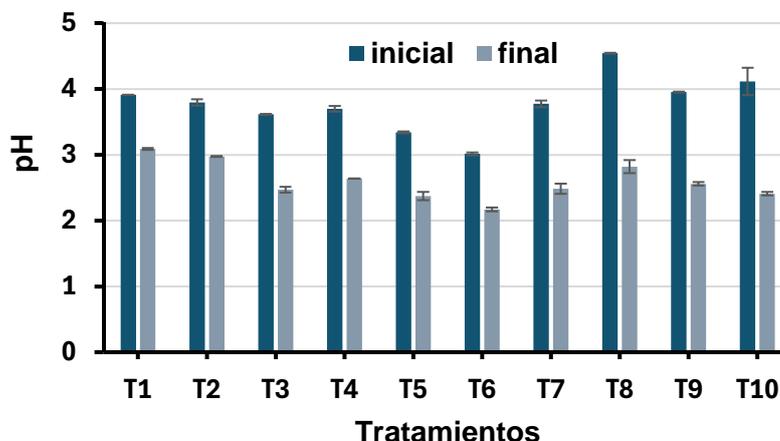
Tabla 18

Características de los medios de cultivo por cada experimento

Tratamientos	pH	°Bx
1	3,91 ± 0.00	5,30 ± 0.14
2	3,80 ± 0.05	7,20 ± 0.00
3	3,62 ± 0.01	7,40 ± 0.00
4	3,70 ± 0.04	9,00 ± 0.00
5	3,34 ± 0.01	9,00 ± 0.00
6	3,02 ± 0.02	9,20 ± 0.00
7	3,78 ± 0.05	8,00 ± 0.00
8	4,55 ± 0.01	7,00 ± 0.00
9	3,96 ± 0.01	8,60 ± 0.00
10	4,12 ± 0.21	9,00 ± 0.00

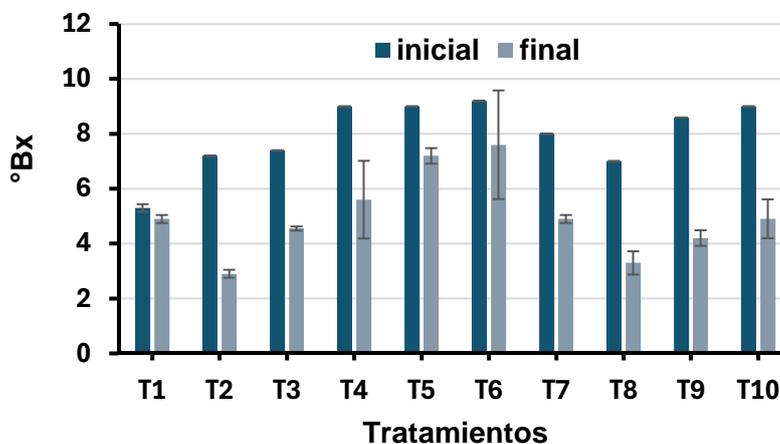
4.3. Variación del pH

Los valores de pH no se ajustaron a un valor fijo, así que cada tratamiento tiene un valor distinto producto de la mezcla de los sustratos. Al final de la fermentación los tratamientos experimentaron la disminución típica de pH en la fermentación, debido a los ácidos orgánicos que se producen por el metabolismo de los microorganismos, los cuales acidifican más el medio. Los valores de pH inicial oscilaron entre 3,02 en el tratamiento 6 y 4,55 en el tratamiento 8, mientras que los valores finales variaron desde 2,17 en el tratamiento 6 hasta 3,09 en el tratamiento 1. La mayoría de los tratamientos comenzaron con valores de pH cercanos a 4, por otro lado, los tratamientos con valores de pH cercanos a 3 fueron los tratamientos 5 y 6; esto indicaría que los medios con mayores concentraciones de suero y dátil tienden a ser menos ácidos. Luego de la fermentación el tratamiento 6 tuvo el pH más bajo (2,17), sin embargo, los tratamientos que redujeron más su valor de pH fueron los tratamientos 10 y 8, seguidos del 9 y 7. Mientras que los tratamientos que menos variaron su valor de pH fueron el 1 y el 2, correspondientes al tratamiento con SL (80 %) y SL-D (40-40 %) respectivamente (Figura 15).

Figura 15*Variación del pH en la fermentación*

4.4. Variación de los grados Brix

Al final de la fermentación los tratamientos experimentaron la disminución esperada de grados Brix en la fermentación, esto debido a que los sólidos solubles representan a las fuentes de carbono disueltas en los medios, y que son utilizados por los microorganismos para producir energía. Los valores de °Bx inicial oscilaron entre 5,3 en el tratamiento 1 y 9,2 en el tratamiento 6, mientras que los valores finales variaron desde 2,9 en el tratamiento 2 hasta 7,6 en el tratamiento 6. El tratamiento 2 fue el que más redujo los °Bx, seguido del tratamiento 8, 9 y 10. Por lo contrario, el tratamiento 1 fue el que menos redujo su valor de °Bx, seguido del tratamiento 6 y 5. A una mayor variación de °Bx indicaría que hubo mayor asimilación de los carbohidratos por los microorganismos (Figura 16).

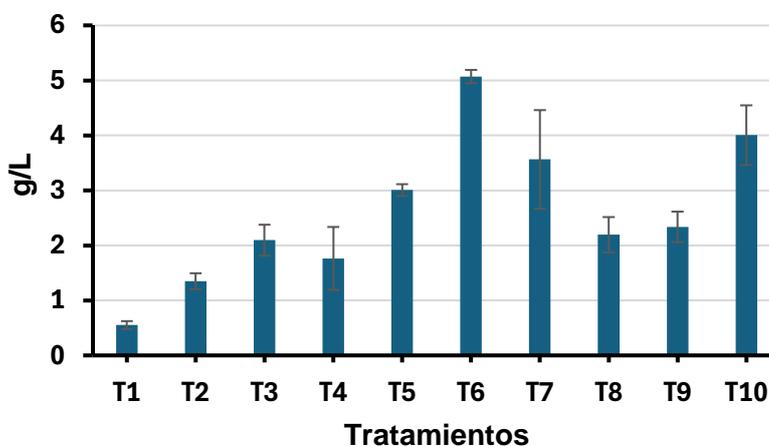
Figura 16*Variación de los °Bx en la fermentación*

4.5. Producción de CB

La producción de CB fue mayor en el tratamiento 6 (5,07 g/L), seguido del tratamiento 10 (4,01 g/L) y del tratamiento 7 (3,57 g/L). El tratamiento 6, 10 y 7 corresponden a los medios con A (80 %), SL-D-A (13-13-53 %) y SL-D-A (27-27-27 %) respectivamente. Los medios con menor producción de CB fueron el tratamiento 1 (0,55 g/L), el tratamiento 2 (1,35 g/L) y el tratamiento 4 (1,77 g/L). El tratamiento 1, 2 y 4 corresponden a los medios con SL (80 %), SL-D (40-40 %) y D (80 %) respectivamente (Figura 17).

Figura 17

Producción de CB en los tratamientos



Los resultados del ANOVA para la producción de CB (Tabla 19) muestran un valor p de 0,0434 (menor a 0,05), lo que indica que el modelo cuadrático es estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95 %. Lo que significa que los tratamientos con el suero de leche, zumo de dátil y sacarosa realizados según el diseño de mezclas tienen un efecto significativo en la producción de CB. El modelo cuadrático explicaría la variabilidad en la producción de CB en un 89,4773 % según el R-cuadrada, si bien la R-cuadrada ajustada es del 76,324 %, el modelo es aún significativo.

Tabla 19

ANOVA de la producción de CB

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Cuadrático	14,4322	5	2,88643	6,80	0,0434
Error total	1,69724	4	0,424311		
Total (corr.)	16,1294	9			

Nota. R-cuadrada = 89,4773 %. R-cuadrada (ajustada por g. l.) = 76,324 %.

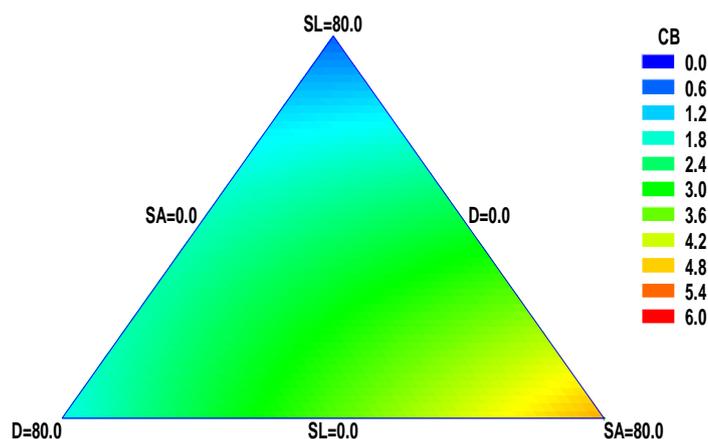
En la ecuación del modelo cuadrático ajustado (Ecuación 16), el cual permite predecir la producción de celulosa bacteriana (CB) en función de las proporciones de los 3 componentes, se puede observar que los efectos individuales de SL, D y SA tienen un valor positivo, lo que indica que un aumento de los ingredientes contribuye en la producción de CB, siendo la sacarosa el componente que más influye en la producción. También se puede observar que las interacciones también afectan la producción de CB.

$$CB = 0,536583*SL + 1,60113*D + 4,9884*SA + 3,19616*SL*D - 0,229292*SL*SA + 0,659801*D*SA \quad (16)$$

En el gráfico de contornos (Figura 18) se muestra de forma evidente que una mayor producción de CB está más relacionado con la cantidad de sacarosa, el otro componente con resultados aceptables es el zumo de dátil, el componente que no aporta un efecto positivo al aumentar su proporción es el suero de leche, donde muestra una evidente disminución en la cantidad de CB. Se debe tomar en cuenta la relación zumo de dátil (D) y Sacarosa (SA), donde se obtienen resultados promedios que se deben tomar en cuenta si se quieren encontrar fuentes de carbono alternativas. Como se mencionó en la ecuación del modelo cuadrático, la mezcla de los 3 componentes tiene un efecto en la producción de CB, por lo que se deben tomar en cuenta en su conjunto y no por separado.

Figura 18

Gráfico de contornos



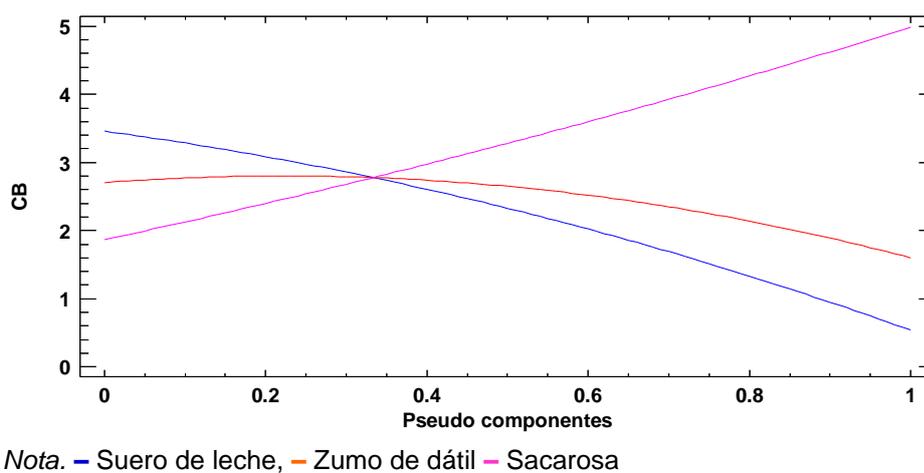
Nota. SL: Suero de leche. D: Zumo de dátil. SA: Sacarosa.

En el gráfico de traza (Figura 19) se visualiza la producción de la celulosa para cada componente partiendo del punto medio SL-D-SA (27-27-27 %) que corresponde al tratamiento 7, al extremo en el eje x se muestra la producción de CB (eje y) si solo se usara un tipo de fuente de carbono, la línea azul muestra la tendencia del SL, que a una

mayor proporción significaría una menor producción de CB, en la línea naranja se muestra un comportamiento proporcional en el aumento de zumo de dátil con la producción de CB, pero que luego empieza a disminuir. La línea azul muestra que un aumento en la proporción de azúcar produce más CB. La forma en que las líneas se cruzan indicaría que existe una dependencia entre los componentes sobre la producción de CB.

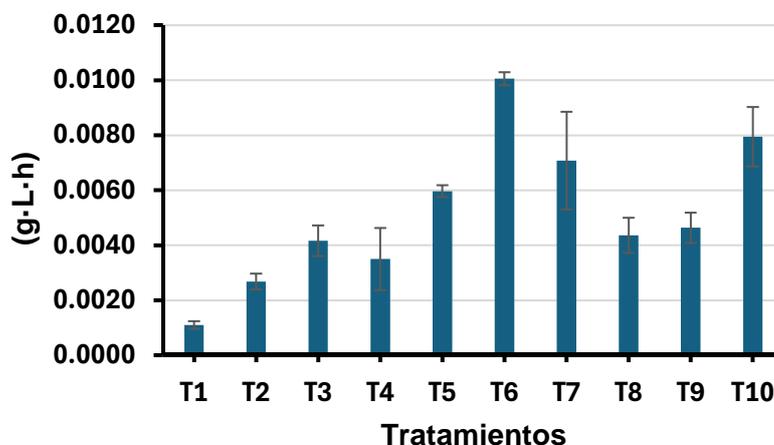
Figura 19

Gráfico de traza para CB



4.5.1. Tasa de producción de CB

La TCB fue más alta en el tratamiento 6, seguido del tratamiento 10 y 7 con 0,0101, 0,0079 y 0,0071 g·L·h respectivamente. Los tratamientos 6, 10 y 7 corresponden a los medios con A (80 %), SL-D-A (13-13-53 %) y SL-D-A (27-27-27 %) respectivamente. La TCB fue más baja en los tratamientos 1, 2 y 4 con 0,0011, 0,0027 y 0,0035 g·L·h respectivamente. El tratamiento 1, 2 y 4 corresponden a los medios con SL (80 %), SL-D (40-40 %) y D (80 %) respectivamente (Figura 20).

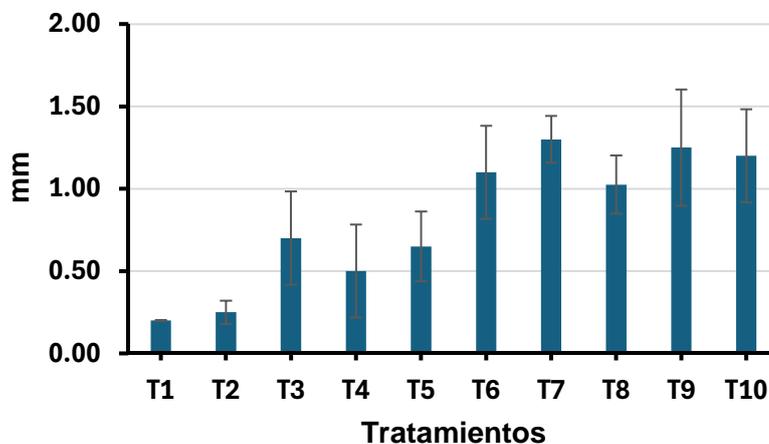
Figura 20*TCB de los tratamientos*

Nota. TCB: Tasa de producción de celulosa bacteriana.

4.6. Características de la CB

4.6.1. Espesor de la CB

La CB con mayor grosor corresponden a los tratamientos 7, 9, 10, 6 y 8, con 1,3, 1,25, 1,20, 1,10 y 1,03 mm respectivamente. Los tratamientos 7, 9, 10, 6 y 8 corresponden a los medios con SL-D-A (27-27-27 %), SL-D-A (13-53-13 %), SL-D-A (13-13-53 %), A (80 %) y SL-D-A (53-13-13 %) respectivamente. La CB con menor grosor corresponde a los tratamientos 1,2, 4, 5 y 3 con 0,2, 0,25, 0,5, 0,65 y 0,7 mm respectivamente. Los tratamientos 1,2, 4, 5 y 3 corresponden a los medios con SL (80 %), SL-D (40-40 %), D (80 %), D-A (40-40 %) y SL-A (40-40 %) respectivamente (Figura 21).

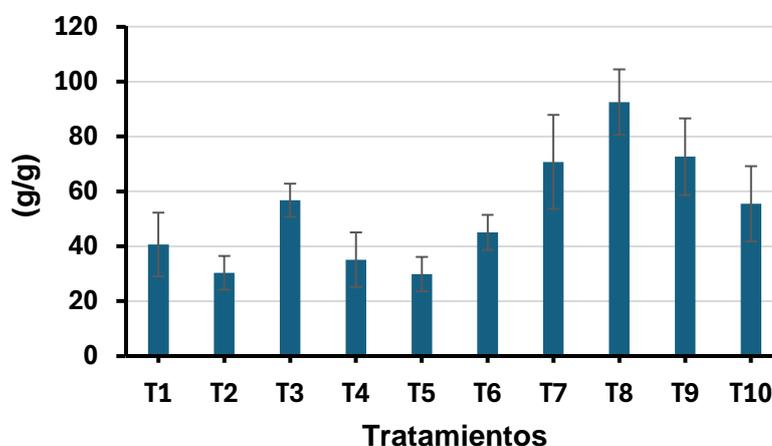
Figura 21*Espesor de la CB*

4.6.2. Capacidad de retención de agua

La mayor CRA de la CB corresponde a los tratamientos 8, 9 y 7 con 92,54, 72,65 y 70,73 g/g (gramos de agua por gramo de CB) respectivamente. Estos tratamientos corresponden a los medios con SL-D-A (53-13-13 %), SL-D-A (13-53-13 %) y SL-D-A (27-27-27 %) respectivamente. La CB con menor CRA corresponde a los tratamientos 5, 2, 4 y 1 con 29,89, 30,35, 35,06 y 40,62 g/g respectivamente. Estos tratamientos corresponden a los medios con D-A (40-40 %), SL-D (40-40 %), D (80 %) y SL (80 %) respectivamente (Figura 22).

Figura 22

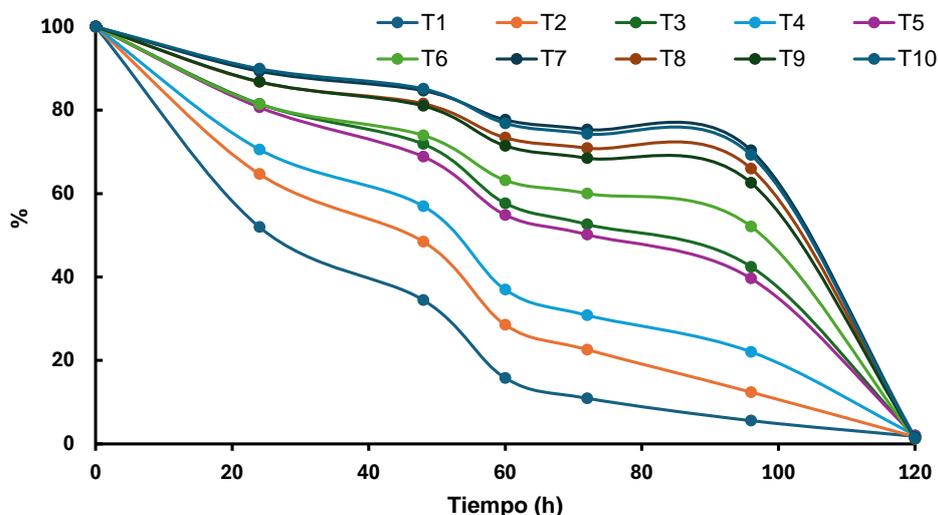
CRA de la CB



Nota. CRA: Capacidad de retención de agua.

4.6.3. Tasa de liberación de agua

La TLA de la CB obtenida se muestra en la Figura 23. Se puede observar que la CB que liberó menos agua hasta las 96 h corresponde a la de los tratamientos 7, 10, 8 y 9, por lo que conservaron su peso en un 70,36 %, 69,26 %, 65,98 % y 62,55 % respectivamente. Estos tratamientos corresponden a los medios con SL-D-SA (27-27-27 %), SL-D-SA (13-13-53 %), SL-D-SA (53-13-13 %) y SL-D-SA (13-53-13 %) respectivamente. Los tratamientos con mayor TLA corresponden a los tratamientos 4, 2 y 1, ya que a las 96 h conservaron su peso en un 22,04 %, 12,37 % y 5,56 %. Estos tratamientos corresponden a los medios con D (80 %), SL-D (40-40 %) y SL (80 %) respectivamente.

Figura 23*TLA de la celulosa bacteriana*

Nota. TLA: Tasa de liberación de agua. Proporción de fuentes de carbono SL-D-SA. T1: 80-0-0 %. T2: 40-40-0 %. T3: 40-0-40 %. T4: 0-80-0 %. T5: 0-40-40 %. T6: 0-0-80 %. T7: 27-27-27 %. T8: 53-13-13 %. T9: 13-53-13 %. T10: 13-13-53 %.

4.6.4. Morfología de la CB

Las micrografías de la superficie de las películas de BC están ilustradas en las Figuras 24-33. La estructura de estas películas varía según el medio de origen. La CB procedente del medio SA (Figura 29) como sustrato puro exhibió una estructura típica de CB, con nanofibras en forma de varillas que formaban una red, con un diámetro promedio de 165 nm. Las micrografías de la CB obtenida de SA revelaron una estructura de fibrillas característica de la CB, a diferencia de otros medios.

Por otro lado, las micrografías de la CB de medios con compuestos binarios equilibrados, como el medio D (zumo de dátil), mostraron una estructura amorfa típica de la CB tipo II, donde las cintas de celulosa se orientan isotrópicamente sin un patrón definido, destacando regiones amorfas (Figura 25). La CB obtenida del medio SL (suero de leche) (Figura 24) presenta una reticulación similar a la obtenida en el medio SA, pero con regiones amorfas, y un diámetro de nanofibrillas que fluctuó en 175,6 nm.

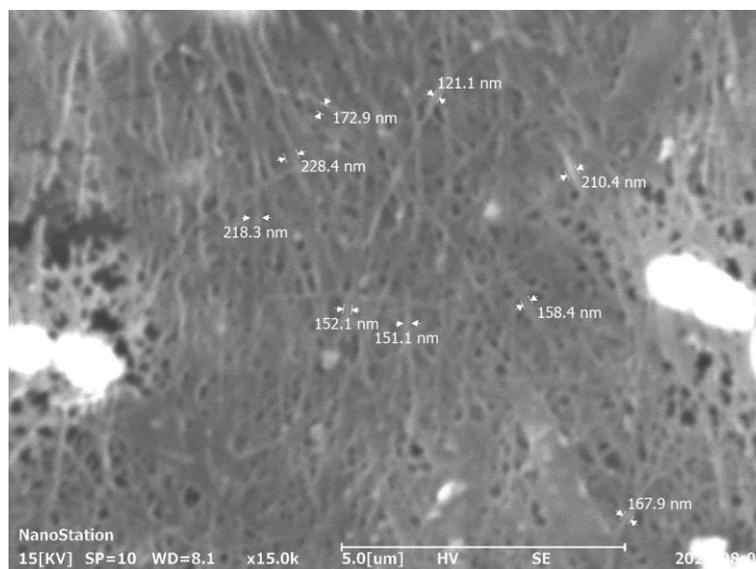
Además, las películas de CB obtenidas de combinaciones binarias (T2, T3, T5) y de medios con mezclas ternarias (T7, T8, T10) no mostraron la estructura característica de la CB. En su lugar, predominaban estructuras amorfas, en lugar de la red tridimensional característica.

Las imágenes de la BC producida a partir de los medios D y SL revelaron estructuras visiblemente diferentes en comparación con el medio de SA. Se observó un patrón donde las microfibrillas de celulosa eran menos visibles que en la CB, presentando una estructura compacta y totalmente amorfa en los medios con mayor proporción de D (T2) y SL (T7). En comparación, los medios con mayor proporción de SA (T3, T5, T8, T10) mostraron estructuras mixtas y amorfas.

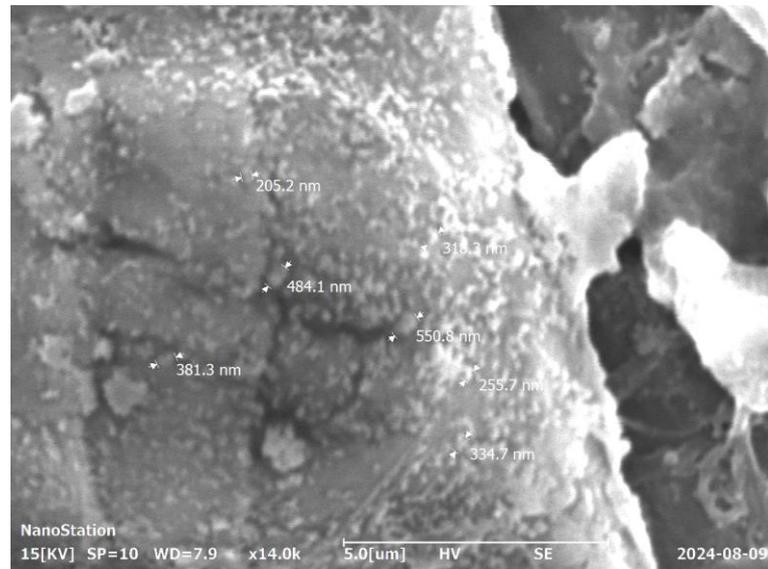
En el análisis elemental realizado por espectroscopia de rayos X por dispersión de energía (EDS) todas las membranas presentaban elementos como el carbono, hidrógeno y oxígeno en mayor proporción.

Figura 24

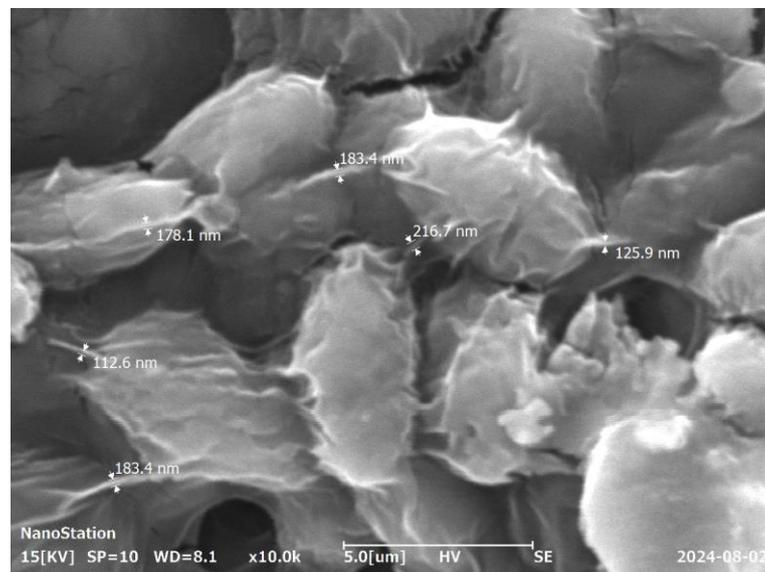
Micrografía SEM de la CB tratamiento 1



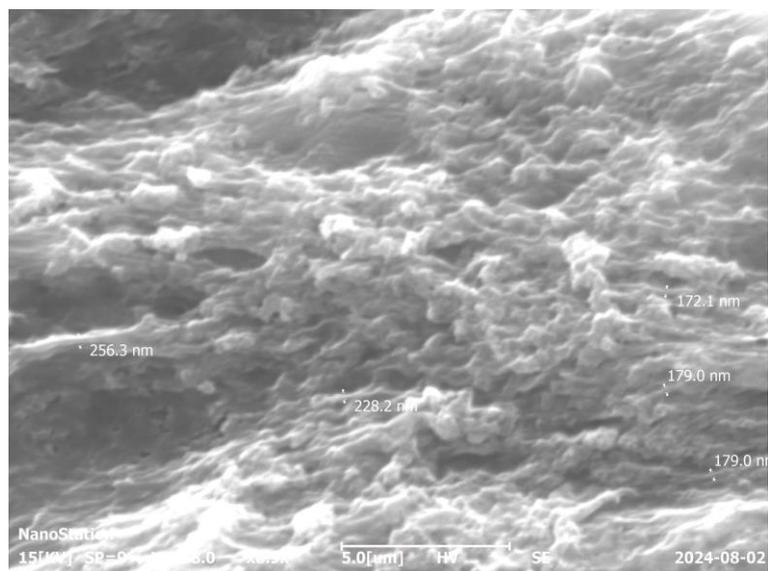
Nota. SL: 80 %. D: 0 %. SA: 0 %.

Figura 25*Micrografía SEM de la CB tratamiento 2*

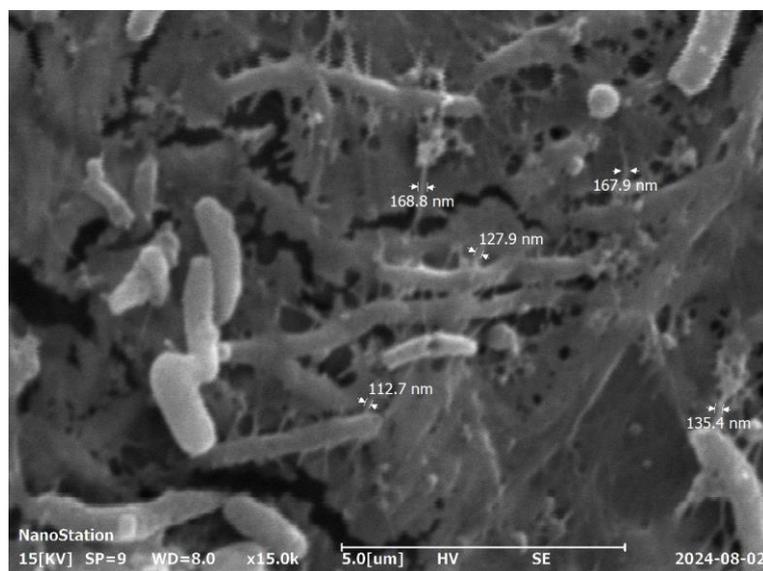
Nota. SL: 40 %. D: 40 %. SA: 0 %.

Figura 26*Micrografía SEM de la CB tratamiento 3*

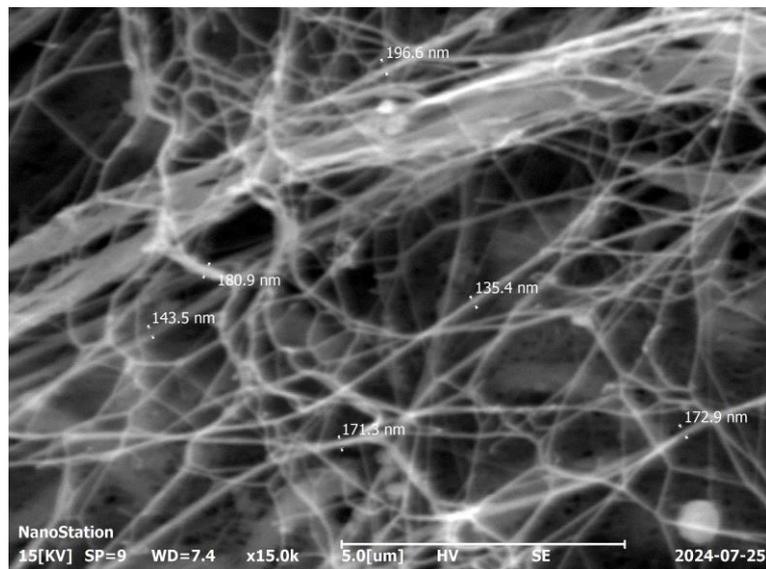
Nota. SL: 40 %. D: 0 %. SA: 40 %.

Figura 27*Micrografía SEM de la CB tratamiento 4*

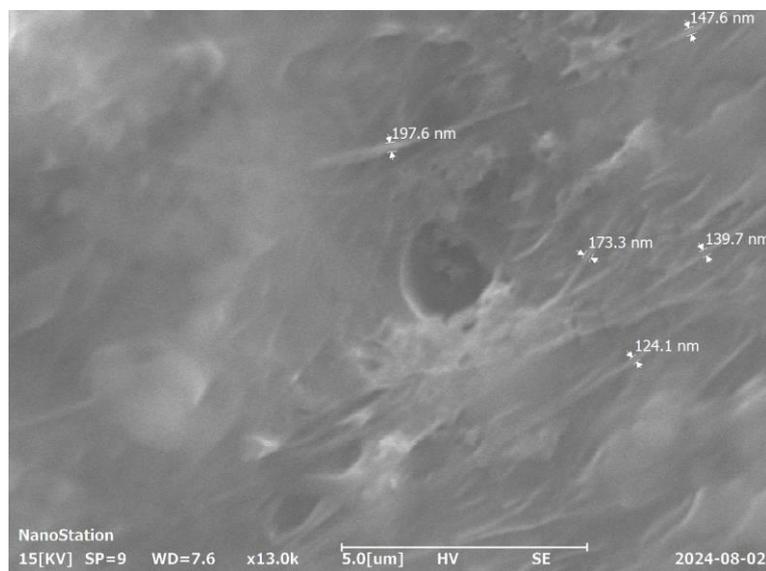
Nota. SL: 0 %. D: 80 %. SA: 0 %.

Figura 28*Micrografía SEM de la CB tratamiento 5*

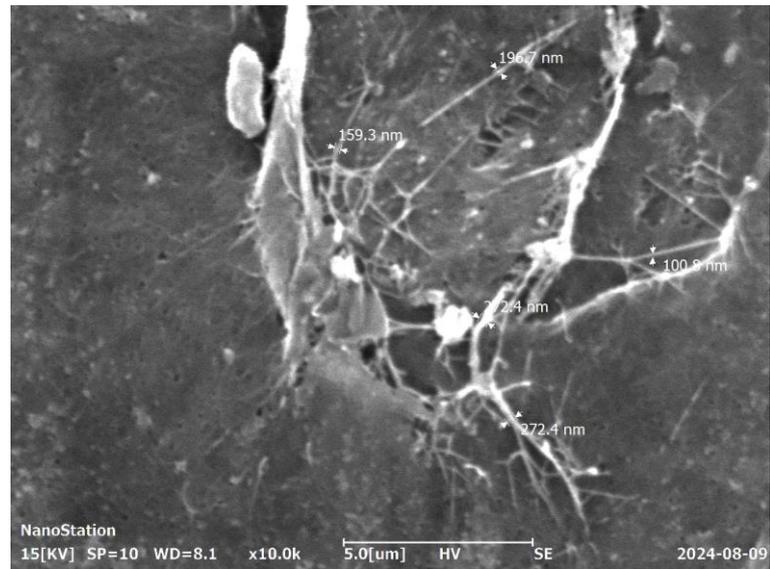
Nota. SL: 0 %. D: 40 %. SA: 40 %.

Figura 29*Micrografía SEM de la CB tratamiento 6*

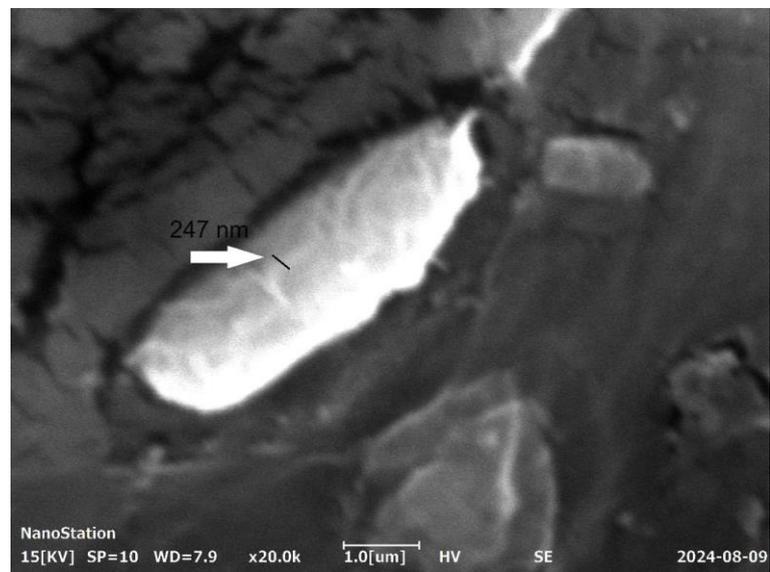
Nota. SL: 0 %. D: 0 %. SA: 80 %.

Figura 30*Micrografía SEM de la CB tratamiento 7*

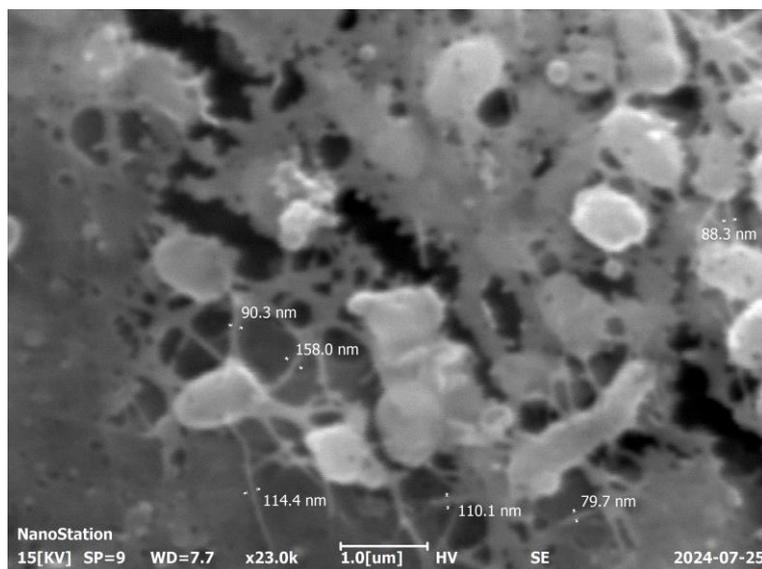
Nota. SL: 27 %. D: 27 %. SA: 27 %.

Figura 31*Micrografía SEM de la CB tratamiento 8*

Nota. SL: 53 %. D: 13 %. SA: 13 %.

Figura 32*Micrografía SEM de la CB tratamiento 9*

Nota. SL: 13 %. D: 53 %. SA: 13 %.

Figura 33*Micrografía SEM de la CB tratamiento 10*

Nota. SL: 13 %. D: 13 %. SA: 53 %.

4.7. Formulación de la emulsión tipo mayonesa

Se ensayaron distintas formulaciones para poder fijar una formulación base en la cual aplicar los emulsionantes. Tomando como referencia la NTP 209.033 de 1974 (revisada el 2017) el componente principal en la mayonesa es el aceite seguido de la yema de huevo y un ingrediente ácido que puede ser vinagre, ácido cítrico o limón. Además, puede ser sazonada por sal, especias, y glutamato monosódico. Por ser un producto local abundante se decidió utilizar aceituna negra natural en la formulación, primero se evaluó un 5 % (p/p) de la formulación total, pero en los ensayos se decidió utilizar 10 % (p/p) por presentar un mejor color y sabor. La norma permite el uso de almidones hasta un 0,5 %, por ello se decidió utilizar los emulsionantes (Goma xantana, CB) a un 0,2 % (p/p), concentración que quedó fija por los resultados favorables. La mayonesa con aceituna fue sazonada con sal, glutamato monosódico y pimienta. Se utilizó un conservante (sorbato de potasio) al 0,1 % (p/p), lo cual también permite la norma. Las formulaciones finales para evaluar se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20*Formulación porcentual de las emulsiones*

	Ingredientes	m1	m2	m3
1	Aceite	59,65	59,45	59,45
2	Agua	19,00	19,00	19,00
3	Aceituna	10,00	10,00	10,00
4	Yema de huevo	5,00	5,00	5,00
5	Vinagre	5,00	5,00	5,00
6	Emulsionante	0,00	0,20	0,20
7	Sal	1,00	1,00	1,00
8	Glutamato monosódico	0,15	0,15	0,15
9	Pimienta	0,10	0,10	0,10
10	Conservante	0,10	0,10	0,10

Nota. m1: sin emulsionante. m2: Goma xantana. m3: CB.

4.8. Características de la Emulsión

4.8.1. pH

La Tabla 21 muestra el valor de pH para las distintas emulsiones, en todos los casos no supera el valor máximo que indica la NTP 209.033 de 1974 (revisada el 2017).

Tabla 21*pH de las emulsiones*

	Emulsiones	pH
m1	Sin emulsionante	4,20
m2	Con Goma Xantana	4,12
m3	Con celulosa bacteriana	4,20

4.8.2. Análisis Reológico

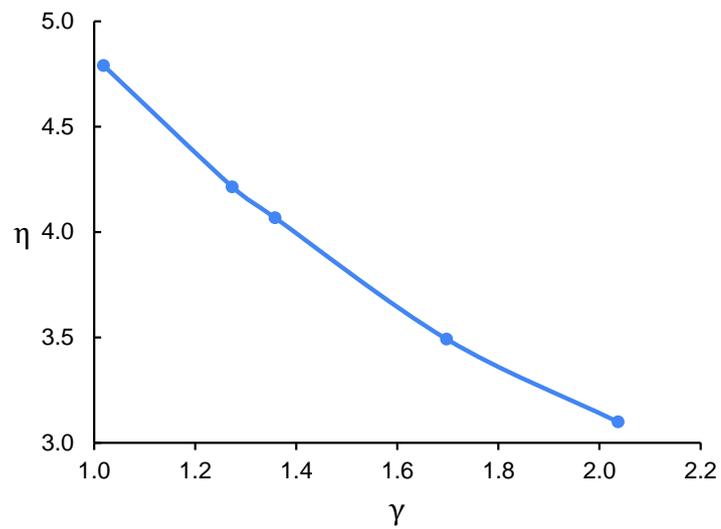
4.8.2.1. Viscosidad

La viscosidad de todas las emulsiones disminuyó significativamente con el aumento en la velocidad de corte o gradiente de velocidad aplicado, independientemente de la aplicación de la Goma Xantana y la CB. En la mayonesa sin emulsionantes la viscosidad aparente varió de 4,79 a 3,1 Pa·s. En la mayonesa con Goma Xantana varió de 5,98 a

3,18 Pa·s. En la mayonesa con CB varió de 18,64 a 8,51 Pa·s. En las Figuras 34, 35 y 36 se muestran las variaciones de la viscosidad aparente (η) frente al aumento de la velocidad de corte (γ) (Anexo 4).

Figura 34

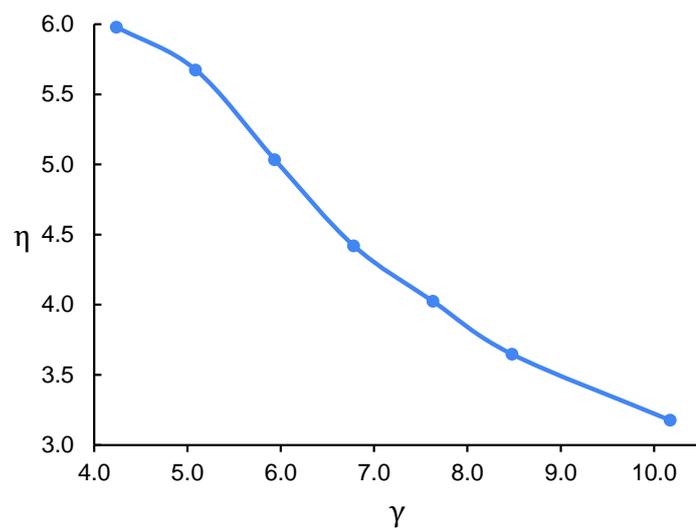
Viscosidad aparente de m1



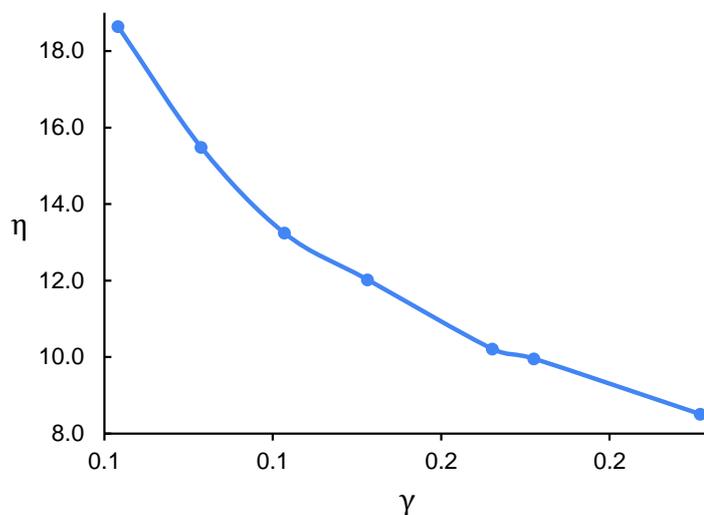
Nota. Emulsión sin emulsionantes.

Figura 35

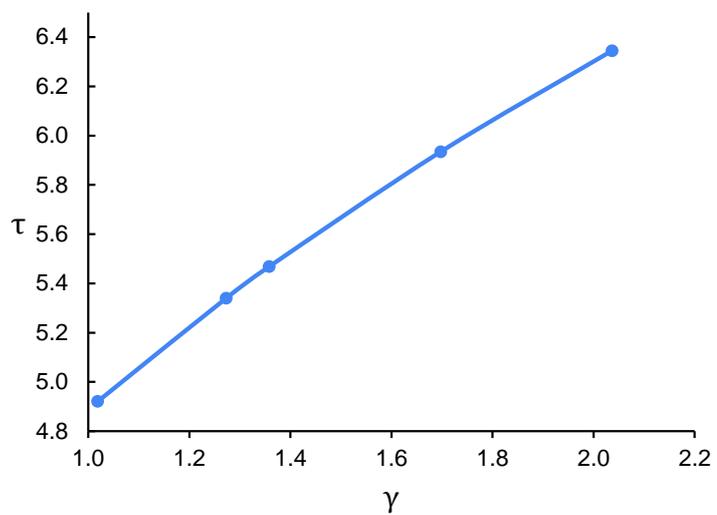
Viscosidad aparente de m2



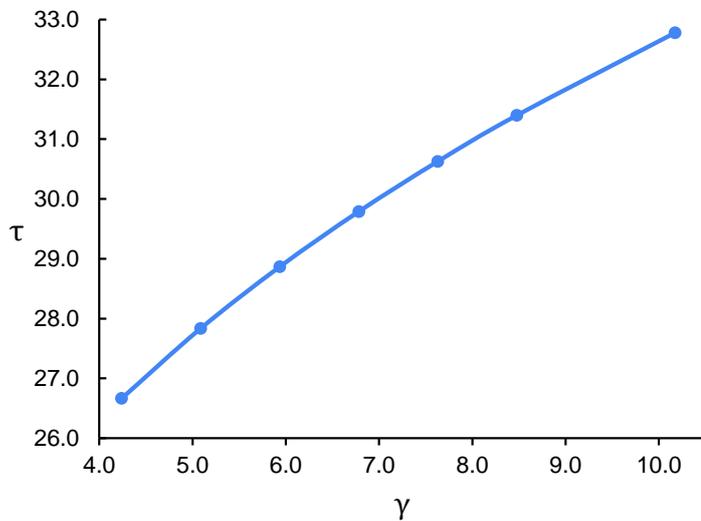
Nota. Emulsión con Goma xantana.

Figura 36*Viscosidad aparente de m3**Nota.* Emulsión con CB.**4.8.2.2. Comportamiento de flujo e índice de consistencia**

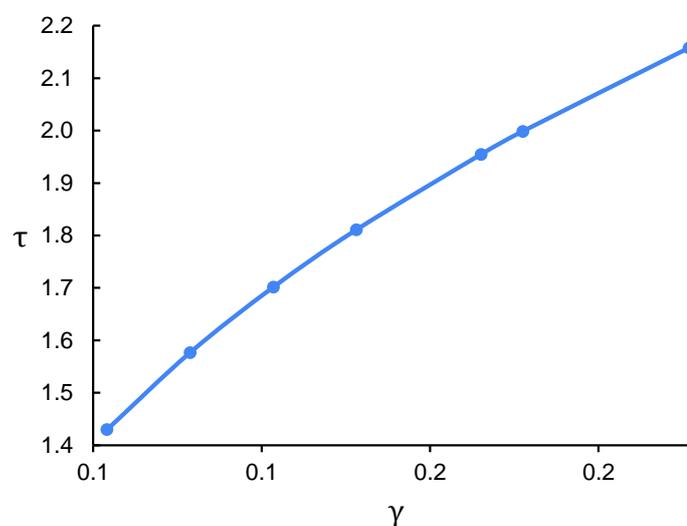
La forma de las curvas al graficar el esfuerzo cortante (τ) frente a la velocidad de corte (γ) en las Figuras 37, 38 y 39, muestra que las emulsiones tienen un comportamiento pseudoplástico. En los fluidos pseudoplásticos la viscosidad se reduce significativamente cuando se les aplica una fuerza de cizallamiento, pero la viscosidad se restaura tan pronto como se elimina esta. Se puede observar que la mayonesa con Goma Xantana y CB tienen mayor comportamiento pseudoplástico que la mayonesa sin emulsionante.

Figura 37*Curva de flujo de m1*

Nota. Emulsión sin emulsionantes.

Figura 38*Curva de flujo de m2*

Nota. Emulsión con Goma xantana.

Figura 39*Curva de flujo de m3*

Nota. Emulsión con CB.

Los valores de n obtenidos a partir del modelo de ley de potencia para todas las emulsiones se muestran en la Tabla 21, todas presentan valores menores a 1, lo que indica su naturaleza pseudoplástica. Se encontró que el índice de consistencia (K) de todas las emulsiones era mayor que 1 y se vio afectado significativamente por el tipo de emulsionante aplicado (Anexo 5).

Tabla 22*Parámetros del modelo de ley de potencia para las emulsiones*

Emulsiones	n	K (Pa·sⁿ)
m1 Sin emulsionante	0,37	4,89
m2 Con Goma Xantana	0,24	18,97
m3 Con celulosa bacteriana	0,35	3,45

4.8.3. Análisis Microbiológico

Según el análisis microbiológico realizado en el laboratorio MSLAB (Anexo 6), tanto en la mayonesa con Goma Xantana como en la mayonesa con CB no se encontraron *Estafilococos coagulasa positivo* ni *Salmonella*, por lo que se podría decir que no hubo contaminación en la manipulación de los ingredientes, por lo tanto, no representa un problema para la salud (Tabla 23). Sin embargo, en las dos emulsiones se encontró

aerobios mesófilos y mohos y levaduras, esto podría deberse a los microorganismos que se encuentran naturalmente en la CB, tal y como se mostró en la caracterización microbiológica del SCOPY y no fueron eliminados en el proceso de purificación con hidróxido de sodio, pero como se encontró en ambas emulsiones, los resultados obtenidos en los análisis se deberían a que la aceituna no fue pasteurizada adecuadamente. Aun así, los valores no exceden los límites máximos permisibles que detalla la NTS N° 071–MINS/DIGESA-V.01. “Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano” (Resolución Ministerial N° 591-2008/MINSA, 2008), el cual detalla en el grupo de alimentos XIII. Especies, condimentos y salsas, que el límite por gramo para mayonesa de Aerobios mesófilos y Levaduras es 5×10^4 y 10^2 respectivamente.

Tabla 23

Análisis microbiológico de las emulsiones

N°	Emulsiones	m2	m3
1	Aerobios mesófilos	$2,773 \times 10^2$	$2,318 \times 10^2$
2	Mohos y levaduras	$2,455 \times 10^1$	$2,363 \times 10^1$
3	Estafilococos coagulasa positivo	0	0
4	Salmonella	Ausencia	Ausencia

Nota. m2: Mayonesa con Goma xantana. m3: Mayonesa con CB.

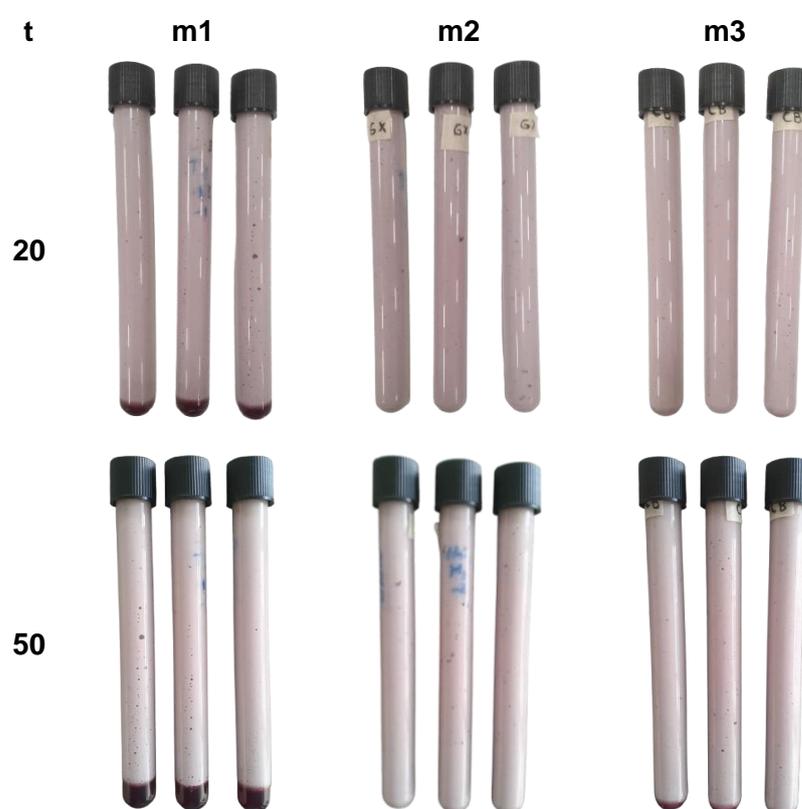
4.8.4. Estabilidad

Un aspecto crítico de las emulsiones es su estabilidad. Termodinámicamente, una emulsión se considera estable cuando la cantidad y el tamaño de las gotas en la fase interna, por unidad de volumen de la fase continua, se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Esto implica que no hay cambios en el valor energético del sistema ni en su área interfacial. La estabilidad se muestra en la Tabla 24, se encontró una estabilidad de 7,4 %, 0,0 % y 0,9 % para la muestra m1, m2 y m3 respectivamente. Según la inspección visual a los 20 días de almacenamiento se puede observar que en m1 hay sedimentación de líquido (fase dispersa), en m2 no se observa sedimentación y en m3 se pudo observar una muy ligera superficie de líquido. A los 50 días de almacenamiento m1 tiene mayor cantidad de líquido, m2 mantiene su estado inicial y en m3 ya se puede distinguir con claridad la sedimentación (Figura 40).

Tabla 24*Estabilidad de las emulsiones*

Emulsiones	Precipitado (ml)	Estabilidad
m1	1,7	7,4 %
m2	0,0	0,0 %
m3	0,2	0,9 %

Nota. m1: sin emulsionantes. m2: Goma xantana. m3: CB.

Figura 40*Estabilidad de las emulsiones*

Nota. m1: sin emulsionantes. m2: Goma xantana. m3: CB.

4.9. Evaluación Sensorial

Luego del análisis estadístico en el software Statgraphics centurión, en el análisis de varianza (ANOVA) para la categoría aspecto, se obtuvo un valor p de 0,1562, esto significa que no hay diferencias significativas entre los evaluadores, pero sí se observaron diferencias significativas entre las muestras de mayonesa (m1, m2 y m3), donde m3 tuvo la mayor puntuación promedio y m1 y m2 tuvieron la misma puntuación estadísticamente.

Tabla 25*ANOVA para la categoría aspecto*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Evaluadores	12,9792	15	0,865278	1,53	0,1562
B: Emulsiones	8,375	2	4,1875	7,41	0,0024
Residuos	16,9583	30	0,565278		
Total (Corregido)	38,3125	47			

Tabla 26*Prueba de múltiples rangos para la categoría aspecto*

Emulsiones	Casos	Media	Grupos Homogéneos
m2	16	3,25	X
m1	16	3,5625	X
m3	16	4,25	X

Nota. m1: sin emulsionantes. m2: Goma xantana. m3: CB.

Lo mismo se pudo observar en la categoría textura, no existen diferencias entre los evaluadores ($p=0,6772$) y si entre las muestras ($p=0,0334$), donde m3 tuvo la mayor puntuación promedio y m1 y m2 tuvieron la misma puntuación estadísticamente.

Tabla 27*ANOVA para la categoría textura*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Evaluadores	11,1458	15	0,743056	0,79	0,6772
B: Emulsiones	7,16667	2	3,58333	3,82	0,0334
Residuos	28,1667	30	0,938889		
Total (Corregido)	46,4792	47			

Tabla 28*Prueba de múltiples rangos para la categoría textura*

Emulsiones	Casos	Media	Grupos Homogéneos
m2	16	3,5625	X
m1	16	3,6875	X
m3	16	4,4375	X

Nota. m1: sin emulsionantes. m2: Goma xantana. m3: CB.

En la categoría olor, si hay diferencias significativas entre los evaluadores con valor $p=0,0024$. De la misma forma también hay diferencias entre las muestras ($p=0,0079$), donde m3 tuvo la mayor puntuación promedio y m1 y m2 tuvieron la misma puntuación estadísticamente.

Tabla 29*ANOVA para la categoría olor*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Evaluadores	13,6667	15	0,911111	3,33	0,0024
B: Emulsiones	3,125	2	1,5625	5,71	0,0079
Residuos	8,20833	30	0,273611		
Total (Corregido)	25,0	47			

Tabla 30*Prueba de múltiples rangos para la categoría olor*

Emulsiones	Casos	Media	Grupos Homogéneos
m2	16	3,4375	X
m1	16	3,75	XX
m3	16	4,0625	X

Nota. m1: sin emulsionantes. m2: Goma xantana. m3: CB.

Para la categoría sabor, no hay diferencias significativas entre los evaluadores con valor $p=0,2127$. De la misma forma también hay diferencias entre las muestras ($p=0,0079$), donde m3 nuevamente tuvo la mayor puntuación.

Tabla 31*ANOVA para la categoría sabor*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Evaluadores	13,9167	15	0,927778	1,39	0,2127
B: Emulsiones	5,375	2	2,6875	4,04	0,0280
Residuos	19,9583	30	0,665278		
Total (Corregido)	39,25	47			

Tabla 32*Prueba de múltiples rangos para la categoría sabor*

Emulsiones	Casos	Media	Grupos Homogéneos
m2	16	3,5	X
m1	16	3,8125	XX
m3	16	4,3125	X

Nota. m1: sin emulsionantes. m2: Goma xantana. m3: CB.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En cuanto a la eficiencia en la producción celulosa bacteriana, se discuten primero los tratamientos con un solo tipo de fuente de carbono, se encontró que el tratamiento con sacarosa (T6) es el que tuvo mayor producción de CB (5,07 g/L), este medio se empleó como control para los demás tratamientos, aun así fue mayor respecto otras investigaciones en la cual utilizaron un medio químico con glucosa como fuente de carbono (medio Hestrin y Schramm) y cepas bacterianas en específico, donde se obtuvieron 3,9, 3,26, 2,6, 2,5 y 2,1 g/L reportados por Fan et al. (2016), Solari et al (2019), Abol-Fotouh et al. (2020), Gomes et al. (2013) y Castro et al (2011) respectivamente. Si bien son cantidades menores también se debe tomar en cuenta que en los medios se utilizó entre 20 y 30 g/L de glucosa en los medios de cultivo químicos, además de tener un tiempo de fermentación menor a 28 días. Por otro lado, el medio a base de Kombucha que se utilizó para obtener CB es más económico que los medios químicos que requieren las fuentes de nitrógeno como extracto de levadura, peptona entre otros nutrientes.

El medio a base de dátil (T4) obtuvo 1,77 g/L de CB, este resultado es menor a lo obtenido por Abol-Fotouh et al (2020) que fue 3,2 g/L, este resultado se pudo deber al tipo de medio de cultivo utilizado, el cual fue un medio HS modificado, donde reemplazaron la fuente de carbono (glucosa) por jarabe de dátil, siendo el 10 % v/v de todo el medio, por lo cual tenía distintas fuentes de nitrógeno y nutrientes químicos.

En el medio a base de suero de leche (T6) se obtuvo 0,55 g/L, el cual es la producción más baja de todos los tratamientos, este resultado es inferior a lo reportado por Salari et al. (2019) que también utilizaron suero de queso, obtuvieron 3,55 g/L, esta diferencia se puede deber al tipo de tratamiento previo del suero de queso, por un lado la eficiencia en la hidrólisis para separar la lactosa en galactosa y glucosa, y por otro las técnicas para separar los sólidos presentes en el suero producto de la elaboración del queso y la grasa presente, ya que en este estudio se utilizó poliseda para filtrar en suero, y en otros estudios se utilizaron centrifugas de alta revolución; estos pasos para el uso de suero de queso son fundamentales para la disposición de azúcares para la síntesis de CB y además que los medios no deben contener sólidos o grasa que interfiera en la fermentación. En otro estudio obtuvieron un resultado inferior en un medio a base de suero de queso (0,1 g/L) (Carreira et al., 2011), por lo cual la variación de resultados puede deberse a los aspectos antes mencionados y a las condiciones de fermentación.

Por otro lado, cabe destacar la producción de CB en el tratamiento 10 y 7 con 4,1 y 3,57 g/L respectivamente. El tratamiento 10 tiene como fuentes de carbono el suero de leche (13 %), dátil (13 %) y azúcar (53 %) y el tratamiento 7 con las tres fuentes de carbono en proporciones iguales (27 %), por ello, el tratamiento 7 resultaría ser el más efectivo para reemplazar la utilización de sacarosa en la producción de CB.

Es evidente que la TCB fue mayor en el Tratamiento 6, seguido del 10 y 7, con valores de 0,0101, 0,0079 y 0,0071 respectivamente. Estos valores se pueden comparar por lo reportado por Salari et al. (2019), donde obtuvieron una TCB de 0,014, 0,011 y 0,010 en medios a base de remolacha cruda, suero de queso hidrolizado y medio HS respectivamente. El tiempo es muy crucial en este caso, ya que la fermentación duró 28 días con una cepa en específico (*Gluconacetobacter xylinus*), lo que podría explicar la mayor obtención de CB por hora.

Como se mencionó, las condiciones de fermentación se basaron en la preparación de la Kombucha, para la cual no se añadió ningún aditivo, se realizó en condiciones estáticas a una temperatura de 28 °C, pH inicial promedio de 3,8 durante 21 días en todos los tratamientos. El pH no se ajustó con aditivos solo fue el resultado de la combinación de los sustratos. Al final de la fermentación disminuyeron los valores de pH en todos los tratamientos, siendo la disminución más notable fue en los tratamientos T10 (2,41), T8 (2,82), por lo que indicaría una mayor actividad de levaduras que producen etanol que posteriormente son oxidadas por las bacterias produciendo ácido acético, bajando así el pH durante la fermentación (May, et al., 2019), en ciertas circunstancias se puede presentar un aumento en el valor de pH, el cual se debería a un exceso en el tiempo de fermentación, donde las bacterias acéticas oxidarían los ácidos orgánicos a dióxido de carbono y agua, aumentando de esa forma el pH (Jayabalan et al., 2014; He et al., 2022). Estas variaciones no son proporcionales al descenso de los °Bx, los tratamientos que más redujeron los °Bx fueron el 2, seguido del 8 y 9.

El grosor de la CB húmedo fue mayor en los tratamientos T7, T9 y T10, con 1,3 mm, 1,29 y 1,20 respectivamente. Estos resultados fueron casi la mitad a la CB obtenida en medios con solo glucosa como fuente de carbono y nutrientes químicos, en la que obtuvieron un grosor de 3 mm (Almihyawi et al., 2024).

La CRA fue mayor en el Tratamiento 8 (92,54 g/g), seguido del 9 (72,65 g/g) y del 7 (70,73 g/g), los cuales tienen todas las fuentes de carbono estudiadas, este valor depende de en cómo están agrupadas o entrelazadas las fibras de CB, de tal forma que actúen como una esponja. Se ha evidenciado una un comportamiento similar en la CB

obtenida a base de jarabe de dátil (Abol-Fotouh et al., 2020) donde obtuvieron una CRA de 99,6 g/g, si bien se usó como fuente de carbono el dátil, este solo representó el 10 % (p/v) del medio total, además de usar una cepa en específico. En el mismo estudio se obtuvo una TLA de 44 h, en los tratamientos estudiados los tratamientos 7,8,9 y 10 tuvieron se mantuvieron entre 60 y 70 % de su peso a las 96 h. Estos valores están relacionados con el grosor de las fibras de CB, mientras se tienen fibras más largas y delgadas se tiene una CRA alta, pero hace que el agua se libere más rápido (TLA). Mientras las fibras sean más gruesas retienen menos agua, pero impiden que el agua salga rápido, ya que funcionan como un escudo para las moléculas de agua (Shezad et al., 2010).

Las micrográficas obtenidas mediante SEM de la membrana de CB producida en medio SA (sacarosa) puro (T6) mostraron la estructura típica estabilizada por numerosos enlaces de hidrógeno. Debido a que este sustrato se compone de azúcares simples como la glucosa, las microfibras de celulosa se ensamblan mediante fuerzas de Van der Waals, resultando en una conversión óptima de CB (Kamal et al., 2020; Manan et al., 2022). En comparación, el estudio de Vasconcelos et al. (2020) reportó nanofibras de CB con un diámetro promedio de 67,5 nm, mientras que Liu et al. (2024) encontraron un rango de 20 nm - 150 nm en un medio hidrolizado de vinagre, y Hernández-Guerrero et al. (2024) reportaron 100 nm en medios nitrogenados. En este estudio, se observaron nanofibrillas de mayor diámetro, y las nanoestructuras formaban una red tridimensional altamente porosa.

En el tratamiento 4, que corresponde al medio con zumo de dátil puro, la película mostró una estructura amorfa típica de la CB tipo II, similar a lo reportado para películas de CB de medios cítricos (Andritsou et al., 2018). Las diferencias en la morfología entre las CB de los medios con mayor proporción de D (zumo de dátil) y SL (suero de leche) comparados con los medios con mayor proporción de SA se deben a la variación del medio de crecimiento, lo que afectó significativamente la estructura de la CB producida (Kosseva et al., 2020). Las regiones cristalinas son conocidas por contribuir a la robustez, elasticidad y resistencia a la tracción del material (Lahiri et al., 2022; Girard et al., 2024). Por lo tanto, la CB producida a partir de SL, un medio económico, podría ser adecuada para aplicaciones textiles o materiales que requieran buena elasticidad, como el biocuero (Girard et al., 2024).

También se pudo notar que en los tratamientos 8, 9 y 7 se encontraron fibras de hasta 272, 247 y 197 nm respectivamente, lo que podría estar relacionado con sus valores de CRA y TLA.

En la elaboración de la emulsión para comprobar la aplicación de CB como emulsionante, se formuló una mayonesa con aceituna negra natural. En la evaluación de aceptabilidad realizada evaluando los atributos sensoriales por categorías se encontró que en todos los aspectos evaluados la mayonesa con CB (m3) tuvo la más alta valoración, siendo diferente estadísticamente a un 95 %. Por otro lado, no existen diferencias significativas entre las respuestas de los evaluadores, por lo que hubo consistencia en las respuestas de la mayoría de los aspectos a excepción del olor, donde se encontró que, si hay diferencia, esto podría deberse a la adición de la aceituna en la formulación. Estos resultados pueden compararse con los de Akoğlu et al. (2018), donde aplicaron CB en mayonesa y realizaron una evaluación sensorial, indican que la adición de CB no influye de forma negativa en la aceptabilidad de la emulsión en términos de olor, espesor, untuosidad y regusto.

Respecto a los parámetros reológicos se observó el típico comportamiento de los fluidos pseudoplásticos, donde la viscosidad de las emulsiones varía a una mayor velocidad de corte. Los parámetros de Ley de la potencia indican que todos tenían un valor de n menor a 1, correspondiente a un fluido pseudoplástico y un índice de consistencia mayor a 1, siendo el más alto en la mayonesa con Goma Xantana (18,97), lo cual indicaría que tiene mayor viscosidad, por ende, es más espeso (Méndez et al., 2001). La forma más adecuada de aplicar el modelo es obtener un coeficiente de regresión mayor a 0.95, de lo contrario se tendrían que repetir las mediciones y los cálculos (Méndez et al., 2001). El coeficiente de regresión obtenido de las emulsiones era casi perfecto con un R^2 de 0,998, 0,9829 y 0,9991 para m1, m2 y m3 respectivamente, por lo que podría compararse con los resultados obtenidos por Kumar et al. (2021), donde en la aplicación de ultrasonidos y emulsionantes comerciales (hidrocoloides) obtuvieron un $R^2 = 0,9992$.

CONCLUSIONES

Se concluye que el suero de leche, el dátil de *Phoenix dactylifera* y la sacarosa influyen en la producción de celulosa bacteriana con un p valor de 0,0434 a un nivel de 95 % de confianza. Las mezclas empleadas explicarían la variabilidad de la producción de CB en un 89 % (R-cuadrada) y en un 76 % (R-cuadrada ajustada). En el medio con SL (80 %) se obtuvo 0,55 g/L, en el medio con D (80 %) se obtuvo 1,77 g/L y en el medio con SA (80 %) se obtuvo 5,07 g/L.

Se analizó las características físicas de la CB obtenida, las cuales fueron el grosor (mm), la capacidad de retención de agua (CRA), la tasa de liberación de agua (TLA), y el análisis morfológico mediante SEM. Resultando la CB del tratamiento 7 la más gruesa (1,3 mm) y con menor liberación de agua y la CB del tratamiento 8 con mayor CRA. En todos los tratamientos se obtuvo CB con la típica red tridimensional de nano y microfibras de celulosa, además de estructuras mixtas y amorfas.

Se aplicó la CB en una emulsión alimentaria, la cual se evaluó por sus propiedades reológicas y su aceptabilidad. Se pudo demostrar que la CB tiene propiedades emulsionantes al medir su viscosidad y determinar según el modelo de Ley de la potencia el índice de fluidez (n) y el coeficiente de consistencia (k), el cual determinó que se trata de un fluido pseudoplástico (no newtoniano). La estabilidad para m3 fue del 0,9 % a los 50 días. Estas características confirman la aplicación de la CB como potencial emulsionante. Respecto a la aceptabilidad, se concluye que la muestra con CB (m3) tuvo mayor aceptación en todos los aspectos a un 95 % de confianza, por lo que su aplicación no incide de forma negativa en una aplicación alimentaria.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar las condiciones de producción de celulosa bacteriana a partir de sustratos alternativos, el pH, la temperatura y la concentración de nutrientes podría mejorar la productividad y reducir los costos de producción, haciendo este proceso más viable a escala industrial.

Se recomienda investigar la interacción de la celulosa bacteriana con otros microorganismos presentes en el consorcio de fermentación, para comprender mejor cómo afectan a su rendimiento y estructura, sumado a ello, experimentar la producción con una cepa en específico. Además, esto puede ayudar a diseñar procesos más robustos de fermentación para la producción de celulosa.

Dado que la celulosa bacteriana ha demostrado ser efectiva como emulsionante en la mayonesa, se sugiere probar su aplicación en otros productos emulsionados como aderezos, salsas, y bebidas. Esto permitiría explorar su potencial en diferentes tipos de matrices alimentarias y adaptar su uso según los requisitos de cada producto.

Dado que la estabilidad a largo plazo es fundamental para productos alimenticios emulsionados, se recomienda realizar pruebas de estabilidad de la mayonesa con celulosa bacteriana bajo condiciones de almacenamiento típicas. Evaluar su comportamiento en distintos periodos de tiempo y temperaturas ayudaría a comprender mejor su aplicabilidad comercial.

Además de sus propiedades como emulsionante, la celulosa bacteriana podría investigarse por sus efectos beneficiosos como fibra dietética o como texturizante en productos bajos en grasa, lo que podría abrir nuevas oportunidades para su uso en formulaciones alimentarias saludables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbès, F., Bouaziz, M. A., Blecker, C., Masmoudi, M., Attia, H., y Besbes, S. (2011). Date syrup: Effect of hydrolytic enzymes (pectinase/cellulase) on physico-chemical characteristics, sensory and functional properties. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, *44*(8), 1827–1834. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.020>
- Abol-Fotouh, D., Hassan, M. A., Shokry, H., Roig, A., Azab, M. S., y Kashyout, A. E.-H. B. (2020). Bacterial nanocellulose from agroindustrial wastes: low-cost and enhanced production by *Komagataeibacter saccharivorans* MD1. *Scientific Reports*, *10*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60315-9>
- Akoğlu, A., Çakır, İ., Karahan, A., Lutfu, M., y Çakmakçı, M. (2018). Effects of bacterial cellulose as a fat replacer on some properties of fat-reduced mayonnaise. *Romanian Biotechnological Letters*. <https://hdl.handle.net/20.500.12491/9602>
- Almihyawi, R. A. H., Musazade, E., Alhussany, N., Zhang, S., y Chen, H. (2024). Production and characterization of bacterial cellulose by *Rhizobium* sp. isolated from bean root. *Scientific Reports*, *14*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61619-w>
- Al-shahib, W., y Marshall, R. J. (2003). The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *54*(4), 247–259. <https://doi.org/10.1080/09637480120091982>
- Amarasekara, A. S., Wang, D., y Grady, T. L. (2020). A comparison of kombucha SCOBY bacterial cellulose purification methods. *SN Applied Sciences*, *2*(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1982-2>
- Andritsou, V., De Melo, E. M., Tsouko, E., Ladakis, D., Maragkoudaki, S., Koutinas, A. A., y Matharu, A. S. (2018). Synthesis and characterization of bacterial cellulose from citrus-based sustainable resources. *ACS Omega*, *3*(8), 10365–10373. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01315>
- Barrow, S. C. (1998). A Monograph of Phoenix L. (Palmae: Coryphoideae). *Kew bulletin*, *53*(3), 513. <https://doi.org/10.2307/4110478>

- Bedoya-Perales, N. S., y Dal' Magro, G. P. (2021). Quantification of food losses and waste in Peru: A mass flow analysis along the food supply chain. *Sustainability*, 13(5), 2807. <https://doi.org/10.3390/su13052807>
- Bird, R. B., Stewart, W. E., y Lightfoot, E. N. (2006). *Fenómenos de transporte* (H. Villagómez, Trad.; 2a ed.). LIMUSA WILEY. (Obra original publicada en 2002)
- Bodin, A., Bäckdahl, H., Petersen, N., y Gatenholm, P. (2011). Bacterial cellulose as biomaterial. En *Comprehensive Biomaterials* (pp. 405–410). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-055294-1.00080-5>
- Buzby, J. (2022). *Food waste and its links to greenhouse gases and climate change*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.usda.gov/media/blog/2022/01/24/food-waste-and-its-links-greenhouse-gases-and-climate-change>
- Cañizo, J. A. (2011). *Palmeras. Todos los géneros y 565 especies*. Mundi-Prensa Libros. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaupt/55248?page=6>
- Carreira, P., Mendes, J. A. S., Trovatti, E., Serafim, L. S., Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., y Neto, C. P. (2011). Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose. *Bioresource Technology*, 102(15), 7354–7360. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.081>
- Castro, C., Zuluaga, R., Putaux, J.-L., Caro, G., Mondragon, I., y Gañán, P. (2011). Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.10.072>
- Castroviejo, S., Luceño, M., Galán, A., Jiménez, P., Cabezas, F., y Medina, L. (Eds.). (2008). *Flora iberica: plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares* (Vol. 18). Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC. <https://bibdigital.rjb.csic.es/idurl/1/12958>
- Cavka, A., Guo, X., Tang, S.-J., Winstrand, S., Jönsson, L. J., y Hong, F. (2013). Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-25>
- Choi, S. M., Rao, K. M., Zo, S. M., Shin, E. J., y Han, S. S. (2022). Bacterial cellulose and its applications. *Polymers*, 14(6), 1080. <https://doi.org/10.3390/polym14061080>

- Crum, H., y LaGory, A. (2019). *El gran libro de la kombucha: Cómo preparar, dar sabor y mejorar tu salud con el té fermentado*. Editorial Diente de León.
- Dairyforall. (s/f). *Whey*. Dairyforall. Recuperado el 4 de mayo de 2024, de <https://www.dairyforall.com/whey.php>
- Darby, R., y Chhabra, R. P. (2017). *Chemical engineering fluid mechanics* (3a ed.). CRC Press.
- Dutta, H., y Paul, S. K. (2019). Kombucha drink: Production, quality, and safety aspects. En *Production and Management of Beverages* (pp. 259–288). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815260-7.00008-0>
- El-Gendi, H., Taha, T. H., Ray, J. B., y Saleh, A. K. (2022). Recent advances in bacterial cellulose: a low-cost effective production media, optimization strategies and applications. *Cellulose (London, England)*, 29(14), 7495–7533. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04697-1>
- Escobar, H. A., y Valdivia, R. G. J. (2015). Date palm status and perspective in south American countries: Chile and Peru. En *Date Palm Genetic Resources and Utilization* (pp. 487–506). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1_15
- Espinoza, E. (2003). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. https://pmb.unjbg.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=6463
- Fan, X., Gao, Y., He, W., Hu, H., Tian, M., Wang, K., y Pan, S. (2016). Production of nano bacterial cellulose from beverage industrial waste of citrus peel and pomace using *Komagataeibacter xylinus*. *Carbohydrate Polymers*, 151, 1068–1072. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.062>
- FAO. (2012). *Pérdidas y Desperdicio de Alimentos en el Mundo – Alcance, Causas y Prevención*. <https://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/detalles/es/c/278445/>
- FAO. (2013). *Food wastage footprint: Impacts on natural resources*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/nr/sustainability/food-loss-and-waste>
- FAO. (2015). *Sustainability Pathways: Food loss and waste*. FAO. <https://www.fao.org/nr/sustainability/food-loss-and-waste>

- FAO. (2016). *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y el Caribe*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5504s>
- FAO. (2017). *Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i7248s>
- Feng, X., Ge, Z., Wang, Y., Xia, X., Zhao, B., y Dong, M. (2024). Production and characterization of bacterial cellulose from kombucha-fermented soy whey. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00188-3>
- FoodFootprint. (s/f). *Climate impact CO2 Dates (dried)*. FoodFootprint. Recuperado el 5 de mayo de 2024, de <https://foodfootprint.nl/en/foodprintfinder/dates-dried/>
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., y McSweeney, P. L. H. (2017). Whey and whey products. En *Fundamentals of Cheese Science* (pp. 755–769). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_22
- Gandhi, K., Sharma, R., Gautam, P. B., y Mann, B. (2020a). Quality Assessment of Processed Milk. En *Chemical quality assurance of milk and milk products*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-4167-4>
- Gandhi, K., Sharma, R., Gautam, P. B., y Mann, B. (2020b). Quality Assessment of Processed Milk. En *Chemical Quality Assurance of Milk and Milk Products*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-4167-4>
- Ghnimi, S., Umer, S., Karim, A., y Kamal-Eldin, A. (2017). Date fruit (*Phoenix dactylifera* L.): An underutilized food seeking industrial valorization. *NFS Journal*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.12.001>
- Girard, V. D., Chaussé, J., y Vermette, P. (2024). Bacterial cellulose: A comprehensive review. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(15). <https://doi.org/10.1002/app.55163>
- Gnanamangai, B. M., Saranya, S., Ponmurugan, P., Kavitha, S., Pitchaimuthu, S., y Divya, P. (2019). Analysis of antioxidants and nutritional assessment of date palm fruits. En *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 19–40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11345-2_2
- Goyal, C., Dhyani, P., Rai, D. C., Tyagi, S., Dhull, S. B., Sadh, P. K., Duhan, J. S., y Saharan, B. S. (2023). Emerging trends and advancements in the processing of dairy whey for sustainable biorefining. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2023/6626513>

- Gracia, L. (2006). *Indicadores ambientales y paisajísticos del palmeral de Elche* [Universidad Miguel Hernández]. <http://hdl.handle.net/11000/729>
- Hasenhuettl, G. L. (2019). Overview of food emulsifiers. En *Food Emulsifiers and Their Applications* (pp. 1–9). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7_1
- Hasenhuettl, G. L., y Hartel, R. W. (Eds.). (2019). *Food emulsifiers and their applications*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7>
- He, Y., Xie, Z., Zhang, H., Liebl, W., Toyama, H., y Chen, F. (2022). Oxidative fermentation of acetic acid bacteria and its products. *Frontiers in microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.879246>
- Hernández, M., Gomez, D., Gutiérrez, J., Revah, S., Campos, J., y Viguera, G. (2024). Assessment of culture systems to produce bacterial cellulose with a kombucha consortium. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s12010-024-04929-z>
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., y Sathishkumar, M. (2014). A review on kombucha tea—microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538–550. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>
- Johnson, D. V. (2011). Introduction: Date palm biotechnology from theory to practice. En *Date Palm Biotechnology* (pp. 1–11). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1318-5_1
- Joyner, H. S. (Ed.). (2019). *Rheology of semisolid foods*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27134-3>
- Kamal, T., Ul-Islam, M., Fatima, A., Ullah, M. W., y Manan, S. (2022). Cost-effective synthesis of bacterial cellulose and its applications in the food and environmental sectors. *Gels (Basel, Switzerland)*, 8(9), 552. <https://doi.org/10.3390/gels8090552>
- Khan, T., Park, J. K., y Kwon, J.-H. (2007). Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering. *The Korean Journal of Chemical Engineering*, 24(5), 816–826. <https://doi.org/10.1007/s11814-007-0047-1>
- Kosseva, M. R., Zhong, S., Li, M., Zhang, J., y Tjutju, N. A. S. (2020). Biopolymers produced from food wastes: a case study on biosynthesis of bacterial cellulose

- from fruit juices. En M. Kosseva & C. Webb (Eds.), *Food Industry Wastes: Assessment and Recuperation of Commodities* (pp. 225–254). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817121-9.00011-5>
- Kosseva, M., y Webb, C. (2020). *Food industry wastes: Assessment and Recuperation of Commodities*. Academic Press.
- Kumar, Y., Roy, S., Devra, A., Dhiman, A., y Prabhakar, P. K. (2021). Ultrasonication of mayonnaise formulated with xanthan and guar gums: Rheological modeling, effects on optical properties and emulsion stability. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 149(111632), 111632. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111632>
- Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Dey, A., Sarkar, T., Pati, S., Edinur, H. A., Abdul Kari, Z., Mohd Noor, N. H., y Ray, R. R. (2021). Bacterial cellulose: Production, characterization, and application as antimicrobial agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 12984. <https://doi.org/10.3390/ijms222312984>
- Lappa, I., Papadaki, A., Kachrimanidou, V., Terpou, A., Koulougliotis, D., Eriotou, E., y Kopsahelis, N. (2019). Cheese whey processing: Integrated biorefinery concepts and emerging food applications. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8(8), 347. <https://doi.org/10.3390/foods8080347>
- León, J. C. (Ed.). (2021). *Del total de la producción nacional de leche, el 43% se destina para la elaboración de derivados lácteos, principalmente quesos*. Agencia Agraria de Noticias. <https://agraria.pe/noticias/del-total-de-la-produccion-nacional-de-leche-el-43-se-destin-24157>
- Liu, Z., Wang, Y., Guo, S., Liu, J., y Zhu, P. (2024). Preparation and characterization of bacterial cellulose synthesized by kombucha from vinegar residue. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258(Pt 1), 128939. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128939>
- Manan, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Shi, Z., Gauthier, M., y Yang, G. (2022). Bacterial cellulose: Molecular regulation of biosynthesis, supramolecular assembly, and tailored structural and functional properties. *Progress in Materials Science*, 129(100972), 100972. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.100972>
- Manoukian, O. S., Sardashti, N., Stedman, T., Gailiunas, K., Ojha, A., Penalosa, A., Mancuso, C., Hobert, M., y Kumbar, S. G. (2019). Biomaterials for tissue engineering and regenerative medicine. En *Encyclopedia of Biomedical*

- Engineering* (pp. 462–482). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801238-3.64098-9>
- Marsh, A. J., O'Sullivan, O., Hill, C., Ross, R. P., y Cotter, P. D. (2014). Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples. *Food Microbiology*, 38, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.09.003>
- May, A., Narayanan, S., Alcock, J., Varsani, A., Maley, C., y Aktipis, A. (2019). Kombucha: a novel model system for cooperation and conflict in a complex multi-species microbial ecosystem. *PeerJ*, 7(e7565). <https://doi.org/10.7717/peerj.7565>
- Méndez, M., Núñez, M., y Solorza, J. (2001). *Introducción a la reología*. Instituto Politecnico Nacional. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaupt/74040?page=1>
- Mezger, T. G. (2020). *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillatory rheometers*. Vincentz Network.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2022). *Perfil productivo y competitivo de las principales especies y productos pecuarios*. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2023). *Perfil Productivo Regional*. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/>
- Montgomery, D. C. (2005). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa Wiley.
- Muthu, S. S., y Rathinamoorthy, R. (2021). Bacterial cellulose: Raw materials and production methods. En *Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry* (pp. 19–60). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9581-3_2
- Nicastro, R., y Carillo, P. (2021). Food loss and waste prevention strategies from farm to fork. *Sustainability*, 13(10), 5443. <https://doi.org/10.3390/su13105443>
- Nielsen, S. S. (2017a). Total carbohydrate by phenol-sulfuric acid method. En *Food Analysis Laboratory Manual* (pp. 137–141). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6_14
- Nielsen, S. S. (2017b). Total carbohydrate by phenol-sulfuric acid method. En *Food Analysis Laboratory Manual* (pp. 137–141). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6_14

- Norton, I. T., Spyropoulos, F., y Cox, P. (Eds.). (2011). *Practical food rheology: An interpretive approach*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444391060>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación: cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*.
- Ochoa, C. A. (2024). *Caracterización de películas bioactivas de celulosa bacteriana elaboradas a partir de la fermentación de moringa oleifera y aloe vera* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/27345>
- Osorio, L. L. D. R., Flórez-López, E., y Grande-Tovar, C. D. (2021). The potential of selected agri-food loss and waste to contribute to a circular economy: Applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(2), 515. <https://doi.org/10.3390/molecules26020515>
- Owusu-Apenten, R., y Vieira, E. (2023). Food Additives. En *Elementary Food Science* (pp. 355–376). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65433-7_16
- Panghal, A., Patidar, R., Jaglan, S., Chhikara, N., Khatkar, S. K., Gat, Y., y Sindhu, N. (2018). Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. *Nutrition & Food Science*, 48(3), 520–535. <https://doi.org/10.1108/nfs-01-2018-0017>
- Park, J. K., Jung, J. Y., y Khan, T. (2009). Bacterial cellulose. En *Handbook of Hydrocolloids* (pp. 724–739). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.724>
- Pavez, A., Escobar, H., y Johnson, D. (2007). Date palm cultivation in Chile and Peru (south America): Current status and future prospects for development. *Acta horticulturae*, 736, 71–85. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.736.5>
- Pazhvand, R., y Khavarpour, M. (2019). Rheological, physical and sensory properties of mayonnaise formulated with sesame oil. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 9(1), 35–44. <https://sanad.iau.ir/Journal/jfibt/Article/833162>
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., y Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, 110, 48–68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.018>
- Ramírez, Y. A., Di, M. V., Peltzer, M. A., y Salvay, A. G. (2022). Bacterial cellulose films production by Kombucha symbiotic community cultured on different herbal

- infusions. *Food Chemistry*, 372(131346), 131346.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131346>
- Rani, M. U., y Appaiah, K. A. A. (2013). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 using coffee cherry husk. *Journal of Food Science and Technology*, 50(4), 755–762. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0401-5>
- Resolución Ministerial N° 591-2008/MINSA. (2008). *NTS N° 071–MINSA/DIGESA-V.01. “Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano”*.
<https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/247682-591-2008-minsa>
- Reyes, J., Blanco, D., Venturini, M., y Oria, R. (2003). Eficacia de diversos métodos en la recuperación de la microbiota epífita de frutas. En C. Merodio & M. I. Escribano (Eds.), *Maduración y post-recolección de frutos y hortalizas* (pp. 151–154). Editorial CSIC - CSIC Press.
- Rivera, D., Johnson, D., Delgadillo, J., Carrillo, M. H., Obón, C., Krueger, R., Alcaraz, F., Ríos, S., y Carreño, E. (2013). Historical evidence of the Spanish introduction of date palm (*Phoenix dactylifera* L., Arecaceae) into the Americas. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(4), 1433–1452.
<https://doi.org/10.1007/s10722-012-9932-5>
- Salari, M., Sowti Khiabani, M., Rezaei Mokarram, R., Ghanbarzadeh, B., y Samadi Kafil, H. (2019). Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from bacterial cellulose produced in sugar beet molasses and cheese whey media. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 280–288.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.136>
- Sancho, J., Bota, E., y de Castro, J. J. (2002). *Introducción Al análisis sensorial de Los alimento*. Universitat de Barcelona.
- Schrecker, S. T., y Gostomski, P. A. (2005). Determining the water holding capacity of microbial cellulose. *Biotechnology Letters*, 27(19), 1435–1438.
<https://doi.org/10.1007/s10529-005-1465-y>
- Senthil Kumar, P., y Yaashikaa, P. R. (2019). Date palm as a healthy food. En *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 1–17). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11345-2_1
- Shezad, O., Khan, S., Khan, T., y Park, J. K. (2009). Production of bacterial cellulose in static conditions by a simple fed-batch cultivation strategy. *The Korean Journal*

- of Chemical Engineering*, 26(6), 1689–1692. <https://doi.org/10.1007/s11814-009-0232-5>
- Shezad, O., Khan, S., Khan, T., y Park, J. K. (2010). Physicochemical and mechanical characterization of bacterial cellulose produced with an excellent productivity in static conditions using a simple fed-batch cultivation strategy. *Carbohydrate Polymers*, 82(1), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.052>
- Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G. O., y Yang, G. (2014). Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*, 35, 539–545. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.012>
- Sierra y Selva Exportadora. (2021). *Tendencia consumo de derivados lacteos*. <https://repositorio.sierraexportadora.gob.pe/handle/SSE/233>
- Soares, M. G., de Lima, M., y Reolon Schmidt, V. C. (2021). Technological aspects of kombucha, its applications and the symbiotic culture (SCOBY), and extraction of compounds of interest: A literature review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 539–550. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.017>
- Thomas, C. G. (2021). Approaches to research. En *Research Methodology and Scientific Writing* (pp. 49–63). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64865-7_3
- Tortora, G. J., Funke, B. R., y Case, C. L. (2007). *Introducción a la microbiología*. Ed. Médica Panamericana.
- UI-Islam, M., Ullah, M. W., Khan, S., y Park, J. K. (2020). Production of bacterial cellulose from alternative cheap and waste resources: A step for cost reduction with positive environmental aspects. *The Korean Journal of Chemical Engineering*, 37(6), 925–937. <https://doi.org/10.1007/s11814-020-0524-3>
- Ullah, H., Santos, H. A., y Khan, T. (2016). Applications of bacterial cellulose in food, cosmetics and drug delivery. *Cellulose (London, England)*, 23(4), 2291–2314. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0986-y>
- United States Department of Agriculture. (s/f-a). *Whey, acid, fluid*. FoodData Central. Recuperado el 4 de mayo de 2024, de <https://fdc.nal.usda.gov/>
- United States Department of Agriculture. (s/f-b). *Whey, sweet, fluid*. FoodData Central. Recuperado el 4 de mayo de 2024, de <https://fdc.nal.usda.gov/>
- Urbina, L., Corcuera, M. Á., Gabilondo, N., Eceiza, A., y Retegi, A. (2021). A review of bacterial cellulose: sustainable production from agricultural waste and

applications in various fields. *Cellulose (London, England)*, 28(13), 8229–8253. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04020-4>

Vasconcelos, N. F., Andrade, F. K., Vieira, L. de A. P., Vieira, R. S., Vaz, J. M., Chevallier, P., Mantovani, D., Borges, M. de F., y Rosa, M. de F. (2020). Oxidized bacterial cellulose membrane as support for enzyme immobilization: properties and morphological features. *Cellulose (London, England)*, 27(6), 3055–3083. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-02966-5>

Vittuari, M., De Menna, F., García-Herrero, L., Pagani, M., Brenes-Peralta, L., y Segrè, A. (2019). Food systems sustainability: The complex challenge of food loss and waste. En R. Accorsi & R. Manzini (Eds.), *Sustainable Food Supply Chains* (pp. 249–260). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813411-5.00017-x>

Vives, M. S. (2018). *Palmeras - Elección y cuidados*. Parkstone International.

Zaid, A. (2024). *Date palm cultivation*. *FAO Plant Production and Protection Paper Series 156* (2a ed.). Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc9251en>

ANEXOS

Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo influyen el suero de leche y el zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i> en la obtención de celulosa bacteriana mediante el consorcio microbiano SCOBY, y cuál es su efectividad como emulsionante alimentario?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Obtener celulosa bacteriana a partir de suero de leche y zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i> mediante el consorcio microbiano SCOBY, y evaluar su efectividad como emulsionante alimentario</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La aplicación de suero de leche y zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i> mediante el consorcio microbiano SCOBY permitirá obtener celulosa bacteriana con propiedades emulsionantes para fines alimentarios</p>	<p>Variable independiente</p> <p><i>Variables para la obtención de CB</i></p> <p>a. Suero de leche (SL)</p> <p>b. Zumo de dátil (D)</p> <p>c. Sacarosa</p> <p><i>Variable para la formulación de la emulsión</i></p> <p>a. Adición de CB</p>	<p><i>Indicadores para la obtención de CB</i></p> <p>a. Niveles: 13, 27, 40, 53, 80 %</p> <p>b. Niveles: 13, 27, 40, 53, 80 %</p> <p>c. Niveles: 13, 27, 40, 53, 80 %</p> <p><i>Indicador para la formulación de la emulsión</i></p> <p>a. Emulsión con/sin celulosa</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>El tipo de estudio es investigación aplicada ya que utiliza conocimientos ya existentes en una aplicación práctica específica (Thomas, 2021).</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>El nivel de investigación es aplicativo, ya que en base a la investigación básica o fundamental que se ha realizado se formulan nuevos problemas e hipótesis (Ñaupas et al., 2014).</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>a. ¿Cuál es la eficiencia del suero de leche y del zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i> en la producción de celulosa bacteriana?</p> <p>b. ¿Cuáles son las características físicas de la celulosa bacteriana a partir de suero de leche y zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i>?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Evaluar la eficiencia del suero de leche y del zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i> en la producción de celulosa bacteriana</p> <p>b. Analizar las características físicas de la celulosa bacteriana obtenida a partir de suero de leche y zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i></p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a. La aplicación de suero de leche y zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i> influye de manera eficiente en la producción de celulosa bacteriana</p> <p>b. La aplicación de suero de leche y zumo de dátil de <i>Phoenix dactylifera</i> influye en las características físicas de la celulosa bacteriana</p>	<p>Variable dependiente</p> <p><i>Variables para obtención de celulosa</i></p> <p>a. Celulosa bacteriana</p> <p>b. Tasa de producción de CB</p> <p>c. Espesor de la CB</p> <p>d. Capacidad de retención de agua de la CB</p> <p>e. Tasa de liberación de agua</p> <p>f. Tamaño de fibras</p>	<p><i>Indicadores para obtención de celulosa</i></p> <p>a. g/L</p> <p>b. g·L·h</p> <p>c. mm</p> <p>d. g/g</p> <p>e. h</p> <p>f. nm</p>	<p>Diseño de investigación</p> <p><i>Obtención de la CB</i></p> <p>- Diseño experimental de mezclas</p>

<p>c. ¿Cuáles son las características físicas y sensoriales de una emulsión con fines alimentarios a base de celulosa bacteriana?</p>	<p>c. Analizar las características físicas y sensoriales de una emulsión con fines alimentarios a base de celulosa bacteriana</p>	<p>c. La aplicación de celulosa bacteriana influye en las características físicas y sensoriales de una emulsión para fines alimentarios</p>	<p><i>Variables medidas en las características de la emulsión</i></p> <p>a. Viscosidad b. Índice de fluido c. Coeficiente de consistencia d. Estabilidad e. Evaluación sensorial</p>	<p><i>Indicadores medidos en las características de la emulsión</i></p> <p>a. Pa·s b. adimensional c. Pa·sⁿ d. % e. Escala hedónica 1 al 5</p>	<p><i>Obtención de emulsión</i></p> <p>- Diseño completo al azar (DCA) para evaluación sensorial</p>
---	---	---	--	---	--

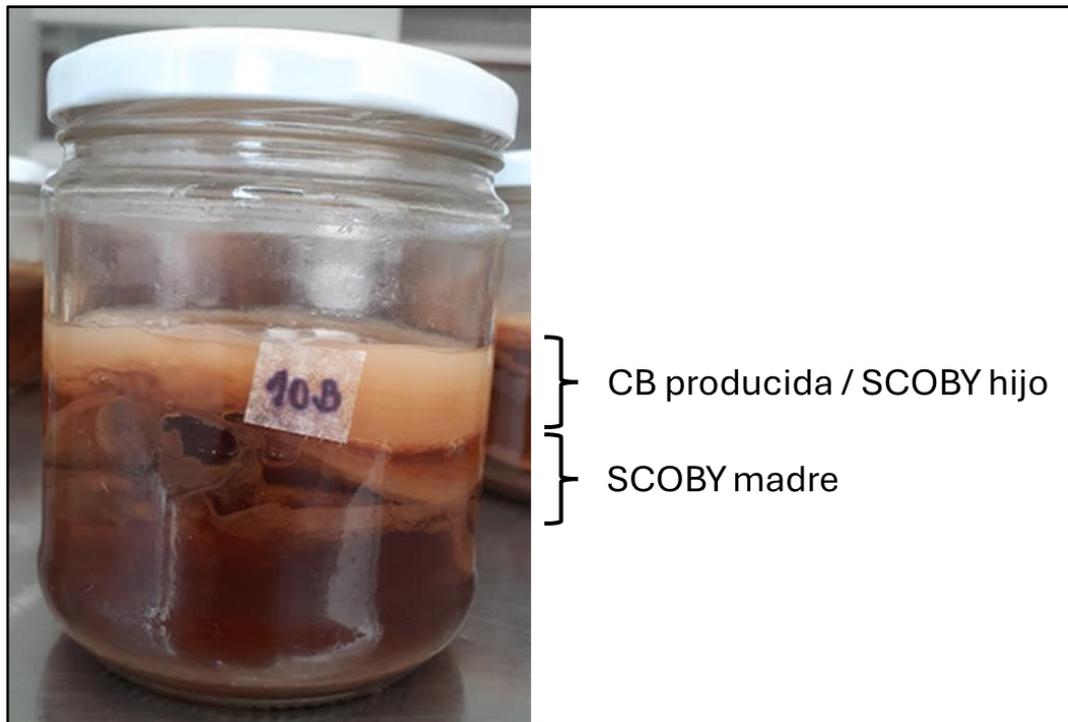
Anexo 2. FOTOS

a. Dátiles de *Phoenix Dactylifera*



b. SCOPY madre



c. Fermentación**d. Producción de CB**

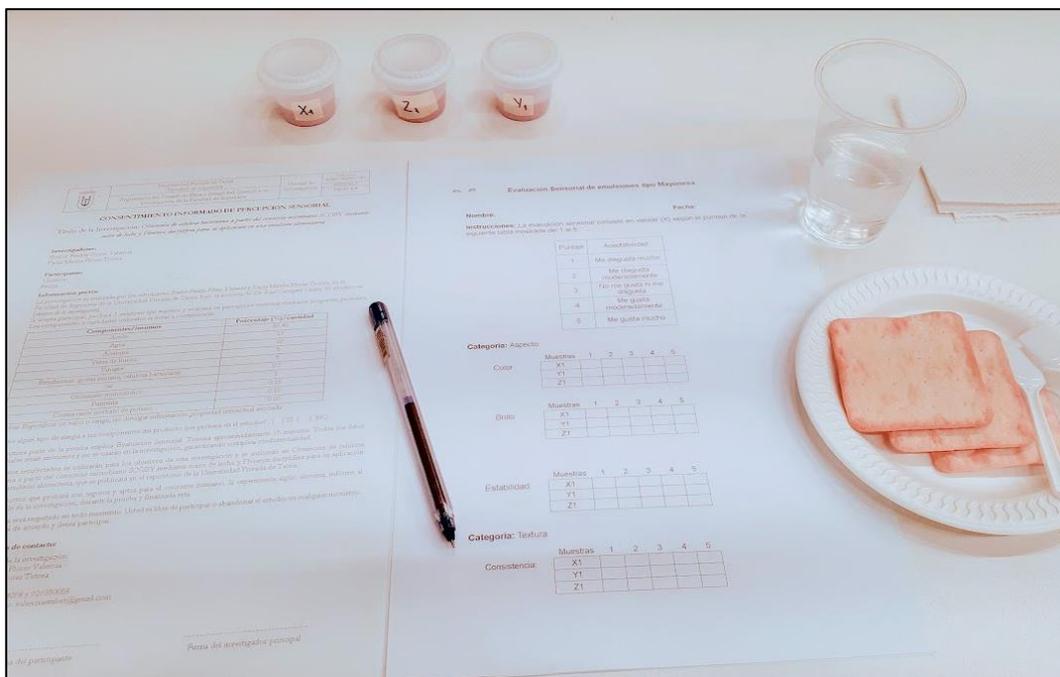
e. Emulsiones

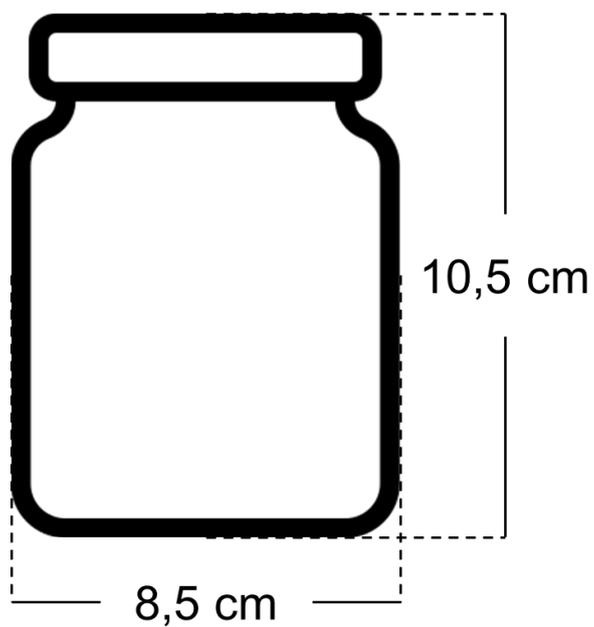
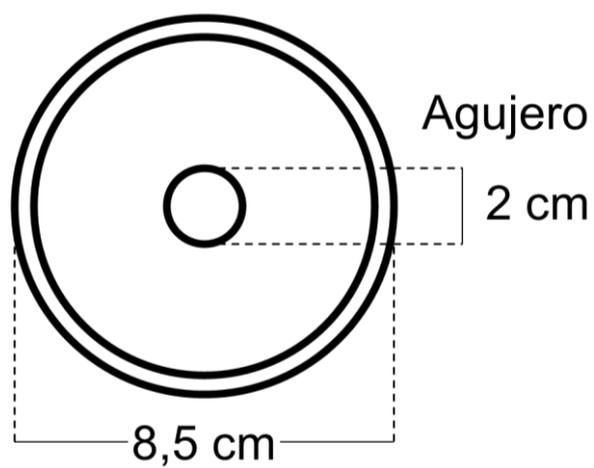


f. Determinación de la viscosidad de las emulsiones



g. Mesa del evaluador



Anexo 3. DIMENSIONES DEL FRASCO DE FERMENTACIÓN**FRASCO****TAPA**

Anexo 4. DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DE LAS EMULSIONES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA PESQUERA



CERTIFICADO DE ANÁLISIS

SOLICITANTE : Ember Freddy Flores Valencia
PROYECTO DE TESIS : “Obtención de Celulosa Bacteriana a partir del Consorcio microbiano SCOPY mediante suero de leche y *Phoenix dactylifera* para su aplicación en una emulsión alimentaria”
MUESTRAS : M1 :Emulsión tipo mayonesa sin agente emulsionante
 M2: Emulsión tipo mayonesa con Goma Xantana (0.2 %)
 M3: Emulsión tipo mayonesa con CB (0.2 %)
FECHA DEL ANÁLISIS: 04 de octubre del 2024
EQUIPO: Viscosímetro Rotacional Digital EXPERT,Fungilab
RESULTADOS :

N°	Muestra	Spindle	Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Viscosidad (cP)	Torque (%)	Temperatura (°C)
1	M1	R2	6	15	4790	72.4	20
2	M1	R2	7.5	15	4215	79.7	20
3	M1	R2	8	15	4068	82	20
4	M1	R2	10	15	3493	88	20
5	M1	R2	12	15	3100	93.8	20
6	M2	R6	50	15	5980	30.2	20
7	M2	R6	60	15	5675	34.3	20
8	M2	R6	70	15	5035	35.5	20
9	M2	R6	80	15	4421	35.7	20
10	M2	R6	90	15	4025	36.5	20
11	M2	R6	100	15	3648	36.8	20
12	M2	R6	120	15	3177	38.4	20
13	M3	R3	3	40	18640	56.3	20
14	M3	R3	4	25	15480	62.4	20
15	M3	R3	5	25	13240	66.7	20
16	M3	R3	6	15	12020	72.7	20
17	M3	R3	7.5	15	10210	77.2	20
18	M3	R3	8	15	9955	80.3	20
19	M3	R3	10	15	8505	85.7	20



Leonardo Sheron Ramírez
 Jefe del Laboratorio

Anexo 5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS REOLÓGICOS

El coeficiente de consistencia (k) e índice de fluidez (n) se determinaron según el modelo de Ley de la Potencia, se tomó como referencia lo descrito por Méndez et al. (2001) con la siguiente ecuación:

$$\eta(\dot{\gamma}) = k|\dot{\gamma}|^{(n-1)}$$

Donde:

η = Viscosidad aparente

$\dot{\gamma}$ = Viscosidad de corte / cizallamiento / gradiente de velocidad

k = coeficiente de consistencia

n = índice de fluidez

Luego de aplicar la ley de logaritmos la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\log \eta = (n - 1) \log \dot{\gamma} + \log k$$

De esta forma la ecuación es igual a la ecuación de la recta: $y = mx + b$

Donde:

$y = \log \eta$

$m = (n - 1)$

$x = \log \dot{\gamma}$

$b = \log k$

Para poder determinar el gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) se utilizó la siguiente formula:

$$\dot{\gamma} = \frac{U}{h}$$

Donde:

U = velocidad tangencial (m/s)

h = distancia del spindle a el marco del viscosímetro

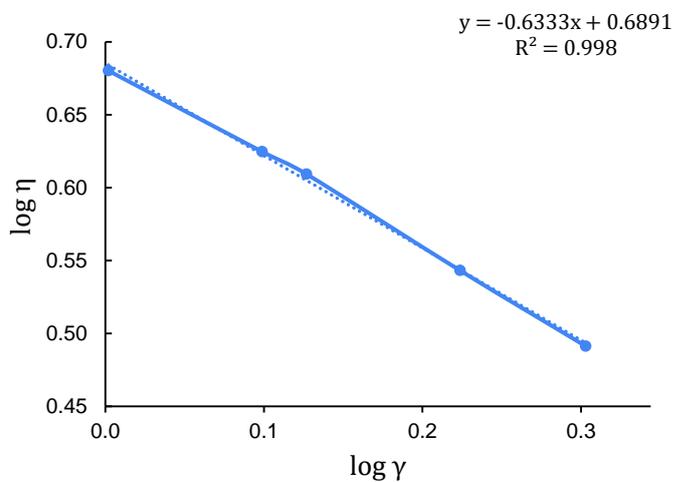
La velocidad tangencial se obtuvo de los RPS y el diámetro (D) de spindle.

Splindle	D (m)	h (m)
R2	0.05	0.01
R3	0.03	0.02
R6	0.01	0.03

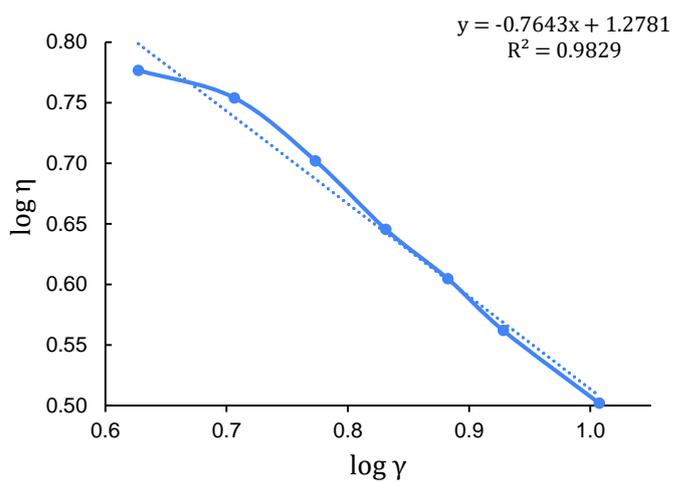
Al graficar el $\log \eta$ y el $\log \dot{\gamma}$ se obtuvieron los siguientes reogramas de los cuales se obtuvo la línea de tendencia y a partir de ahí se calculó n y K . Con los datos calculados se obtuvo el esfuerzo cortante (τ) con la siguiente ecuación:

$$\tau = k\dot{\gamma}^n$$

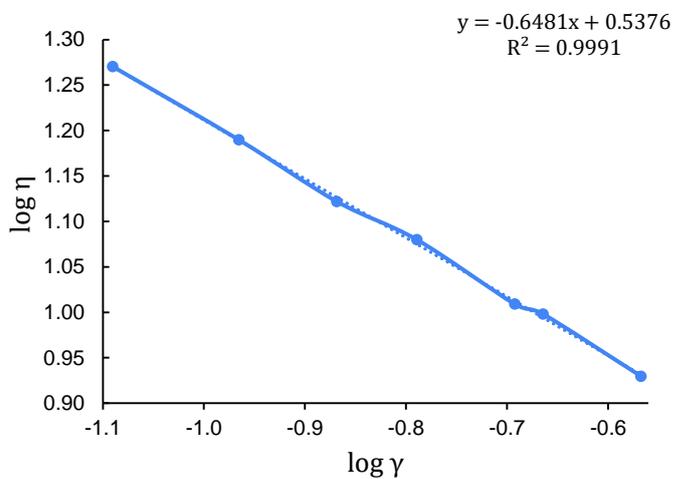
Reograma para la emulsión sin emulsionantes



Reograma para la emulsión con Goma Xantana



Reograma para la emulsión con CB



Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

M	RPM	RPS	(%)	cP	Pa.s	$\log \eta$	$\dot{\gamma}$ (s^{-1})	$\log \dot{\gamma}$	n -1	n	$\ln k$	k	τ
M1	6	0.10	72.4	4790	4.79	0.680	1.02	0.008	-0.63	0.37	0.69	4.89	4.92
	8	0.13	79.7	4215	4.22	0.625	1.27	0.105					5.34
	8	0.13	82.0	4068	4.07	0.609	1.36	0.133					5.47
	10	0.17	88.0	3493	3.49	0.543	1.70	0.230					5.93
	12	0.20	93.8	3100	3.10	0.491	2.04	0.309					6.34
M2	50	0.83	30.2	5980	5.98	0.777	4.24	0.627	-0.76	0.24	1.28	18.97	26.66
	60	1.00	34.3	5675	5.68	0.754	5.09	0.706					27.84
	70	1.17	35.5	5035	5.04	0.702	5.93	0.773					28.87
	80	1.33	35.7	4421	4.42	0.646	6.78	0.831					29.79
	90	1.50	36.5	4025	4.03	0.605	7.63	0.883					30.63
	100	1.67	36.8	3648	3.65	0.562	8.48	0.928					31.40
	120	2.00	38.4	3177	3.18	0.502	10.17	1.007					32.78
M3	3	0.05	56.3	18640	18.64	1.270	0.07	-1.130	-0.65	0.35	0.54	3.45	1.38
	4	0.07	62.4	15480	15.48	1.190	0.10	-1.005					1.53
	5	0.08	66.7	13240	13.24	1.122	0.12	-0.909					1.65
	6	0.10	72.7	12020	12.02	1.080	0.15	-0.829					1.76
	8	0.13	77.2	10210	10.21	1.009	0.19	-0.732					1.90
	8	0.13	80.3	9955	9.96	0.998	0.20	-0.704					1.95
	10	0.17	85.7	8505	8.51	0.930	0.25	-0.607					2.11

Anexo 6. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS EMULSIONES

	Módulo de Servicios Tacna- MS Tacna Innova Laboratorio MSLAB Teléfono: 979020363 Email: administracion@mstacnainnova.com	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO N° 065-2024

Emitido en Tacna, el 11 de Octubre de 2024

1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE : Ember Freddy Flores Valencia.
DIRECCIÓN : N.A.

2. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

NOMBRE DEL PRODUCTO : Mayonesa
ASUNTO : Análisis Microbiológico
REFERENCIA DEL LABORATORIO : 065-2024
IDENTIFICACIÓN : M2 Goma xantana

3. DATOS DEL MUESTREO Y/O RECEPCIÓN DE MUESTRA

MUESTREO REALIZADO POR : Muestra proporcionada por el cliente
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA : -
IDENTIFICADO : Mayonesa
MÉTODO DE TOMA DE MUESTRA : N.A.
PLAN DE MUESTREO : N.A.
CANTIDAD Y DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: frasco de vidrio
FECHA DE RECEPCIÓN : 03 de Octubre de 2024
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS : 07 de Octubre de 2024
FECHA DE FINALIZACIÓN DE ANÁLISIS: 11 de Octubre de 2024

CLAB-02-F01/ V00

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio MSLAB del Módulo de Servicios Tacna – MS Tacna Innova
Panamericana Sur s/n km 1308, MZ I LOTE 02 - 04 ZOFRATACNA TACNA - TACNA - TACNA

 <p>Módulo de Servicios Tacna</p>	<p>Módulo de Servicios Tacna- MS Tacna Innova Laboratorio MSLAB</p> <p>Teléfono: 979020363 Email: administracion@mstacnainnova.com</p>	
---	--	---

4. RESULTADOS

4.1. ENSAYOS FISICOQUÍMICOS

Nº	ENSAYOS	UNIDADES	RESULTADOS
1	Recuento de aerobios mesófilos	UFC/g	2,773 x 10 ²
2	Numeración de Mohos y Levaduras	UFC/gr	2,455 x 10 ¹
3	Recuento de Estafilococos coagulasa positivos	UFC/gr	0
4	Detección de Salmonella spp	Ausencia - Presencia /25g	Ausencia

4.2. MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	REFERENCIA O NORMA
Recuento de aerobios mesófilos	ISO 4833-1:2013. /Amd 1:2022 Recuento de colonias a 30°C mediante la técnica de siembra en profundidad.
Numeración de Mohos y Levaduras	ICMSF Microorganismos de los Alimentos 1. Su significado y métodos de enumeración. Método de recuento de levaduras y mohos por siembra en placa en todo el medio. Pág.166-167 Vol 1, 2º Ed, 1983 (Reimpresión 2000).
Recuento de Estafilococos coagulasa positivos	ICMSF Microorganismos de los Alimentos 1. Parte II: Métodos 2 Recomendados para el Análisis Microbiológico de los Alimentos, Método 5, págs. 235-238. 1983. 2da Ed. Reimpresión 2000. Staphylococcus aureus. Método 5 (Técnica del NMP con caldo telurito manitol glicina)
Detección de Salmonella spp	ISO 6579-1:2017, excepto ítem 9.3.3, 9.4.3 y 9.5.6 / AMD 1:2020. Método horizontal para la detección, enumeración y serotipado de Salmonella spp.

5. OBSERVACIONES

- ⁽¹⁾ Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.
- Los resultados del presente informe de ensayo se relacionan únicamente a las muestras analizadas. No es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad de quien produce la muestra.

CLAB-02-F01/ V00

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio MSLAB del Módulo de Servicios Tacna – MS Tacna Innova Panamericana Sur s/n km 1308, MZ I LOTE 02 - 04 ZOFRATACNA TACNA - TACNA - TACNA



INFORME DE ENSAYO N° 066-2024
Emitido en Tacna, el 11 de Octubre de 2024

1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE : Ember Freddy Flores Valencia.
 DIRECCIÓN : N.A.

2. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

NOMBRE DEL PRODUCTO : Mayonesa
 ASUNTO : Análisis Microbiológico
 REFERENCIA DEL LABORATORIO : 066-2024
 IDENTIFICACIÓN : M3 Celulosa

3. DATOS DEL MUESTREO Y/O RECEPCIÓN DE MUESTRA

MUESTREO REALIZADO POR : Muestra proporcionada por el cliente
 LUGAR DE TOMA DE MUESTRA : -
 IDENTIFICADO : Mayonesa
 MÉTODO DE TOMA DE MUESTRA : N.A.
 PLAN DE MUESTREO : N.A.
 CANTIDAD Y DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: frasco de vidrio
 FECHA DE RECEPCIÓN : 03 de Octubre de 2024
 FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS : 07 de Octubre de 2024
 FECHA DE FINALIZACIÓN DE ANÁLISIS: 11 de Octubre de 2024

CLAB-02-F01/V00

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio MSLAB del Módulo de Servicios Tacna – MS Tacna Innova
 Panamericana Sur s/n km 1308, MZ I LOTE 02 - 04 ZOFRATACNA TACNA - TACNA - TACNA

 <p>Módulo de Servicios Tacna</p>	<p>Módulo de Servicios Tacna- MS Tacna Innova Laboratorio MSLAB</p> <p>Teléfono: 979020363 Email: administracion@mstacnainnova.com</p>	
---	--	---

4. RESULTADOS

4.1. ENSAYOS FISICOQUÍMICOS

N°	ENSAYOS	UNIDADES	RESULTADOS
1	Recuento de aerobios mesófilos	UFC/g	2,318 x 10 ²
2	Numeración de Mohos y Levaduras	UFC/gr	2,363 x 10 ¹
3	Recuento de Estafilococos coagulasa positivos	UFC/gr	0
4	Detección de Salmonella spp	Ausencia - Presencia /25g	Ausencia

4.2. MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	REFERENCIA O NORMA
Recuento de aerobios mesófilos	ISO 4833-1:2013. /Amd 1:2022 Recuento de colonias a 30°C mediante la técnica de siembra en profundidad.
Numeración de Mohos y Levaduras	ICMSF Microorganismos de los Alimentos 1. Su significado y métodos de enumeración. Método de recuento de levaduras y mohos por siembra en placa en todo el medio. Pág.166-167 Vol 1, 2º Ed, 1983 (Reimpresión 2000).
Recuento de Estafilococos coagulasa positivos	ICMSF Microorganismos de los Alimentos 1. Parte II: Métodos 2 Recomendados para el Análisis Microbiológico de los Alimentos, Método 5, pág. 235-238. 1983. 2da Ed. Reimpresión 2000. Staphylococcus aureus. Método 5 (Técnica del NMP con caldo telurito manitol glicina)
Detección de Salmonella spp	ISO 6579-1:2017, excepto ítem 9.3.3, 9.4.3 y 9.5.6 / AMD 1:2020. Método horizontal para la detección, enumeración y serotipado de Salmonella spp.

5. OBSERVACIONES

- ⁽¹⁾ Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.
- Los resultados del presente informe de ensayo se relacionan únicamente a las muestras analizadas. No es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad de quien produce la muestra.

CLAB-02-F01/ V00

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio MSLAB del Módulo de Servicios Tacna – MS Tacna Innova Panamericana Sur s/n km 1308, MZ I LOTE 02 - 04 ZOFRATACNA TACNA - TACNA - TACNA

Anexo 7. EVALUACIÓN SENSORIAL

Evaluación Sensorial de emulsiones tipo Mayonesa

Nombre:

Fecha:

Instrucciones: La evaluación sensorial consiste en valorar (X) los atributos para cada categoría bajo su criterio, debe tomar en cuenta la siguiente escala hedónica estructurada para cada muestra.

Puntaje	Aceptabilidad
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta moderadamente
3	No me gusta ni me disgusta
4	Me gusta moderadamente
5	Me gusta mucho

Categoría: Aspecto

	Muestras	1	2	3	4	5
Color:	X1					
	Y1					
	Z1					

	Muestras	1	2	3	4	5
Brillo:	X1					
	Y1					
	Z1					

	Muestras	1	2	3	4	5
Estabilidad:	X1					
	Y1					
	Z1					

Categoría: Textura

	Muestras	1	2	3	4	5
Consistencia:	X1					
	Y1					
	Z1					

	Muestras	1	2	3	4	5
Untuosidad:	X1					
	Y1					
	Z1					

	Muestras	1	2	3	4	5
Homogeneidad:	X1					
	Y1					
	Z1					

Categoría: Olor

	Muestras	1	2	3	4	5
Olor:	X1					
	Y1					
	Z1					

Categoría: Sabor

	Muestras	1	2	3	4	5
Salado:	X1					
	Y1					
	Z1					

	Muestras	1	2	3	4	5
Ácido:	X1					
	Y1					
	Z1					

	Muestras	1	2	3	4	5
Amargo:	X1					
	Y1					
	Z1					

	Muestras	1	2	3	4	5
Aceituna:	X1					
	Y1					
	Z1					

Anexo 8. CONSENTIMIENTO INFORMADO

	Universidad Privada de Tacna Facultad de Ingeniería	Unidad de Investigación	CODIGO: RCEIC/FAING/UPT
	Reglamento del Comité de Ética e Integridad Científica en Investigación de la Facultad de Ingeniería		VERSIÓN: 1 Página 1 de 1

CONSENTIMIENTO INFORMADO DE PERCEPCIÓN SENSORIAL

Título de la Investigación: *Obtención de celulosa bacteriana a partir del consorcio microbiano SCOBY mediante suero de leche y Phoenix dactylifera para su aplicación en una emulsión alimentaria*

Investigadores:

Ember Freddy Flores Valencia

Paola Mirella Flores Totorá

Participante:

Nombre:

Fecha:

Información previa:

La investigación es realizada por los estudiantes *Ember Freddy Flores Valencia* y *Paola Mirella Flores Totorá*, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, bajo la asesoría de *Dr. Raul Cartagena Cutipa*. El objetivo es *Obtener celulosa bacteriana a partir de suero de leche y zumo de dátil de Phoenix dactylifera mediante el consorcio microbiano SCOBY, y evaluar su efectividad como emulsionante alimentario.*

Si acepta participar, probará 3 *emulsiones tipo mayonesa* y evaluará su percepción sensorial mediante preguntas generales. Los componentes y cantidades utilizados se listan a continuación:

Componentes/insumos	Porcentaje (%)/cantidad
Aceite	59.45
Agua	19
Aceituna	10
Yema de huevo	5
Vinagre	5
Emulsionan (goma xantana, celulosa bacteriana)	0.2
Sal	1
Glutamato monosódico	0.15
Pimienta	0.10
Conservante (sorbato de potasio)	0.10

Nota: Especificar un valor o rango, no divulgar información propiedad intelectual asociada

¿Tiene algún tipo de alergia a los componentes del producto que probará en el estudio? () SI () NO

La primera parte de la prueba implica Evaluación Sensorial. Tomará aproximadamente 15 minutos. Todos los datos personales serán anónimos y no se usarán en la investigación, garantizando completa confidencialidad.

Los datos recolectados se utilizarán para los objetivos de esta investigación y se incluirán en Obtención de celulosa bacteriana a partir del consorcio microbiano SCOBY mediante suero de leche y *Phoenix dactylifera* para su aplicación en una emulsión alimentaria, que se publicará en el repositorio de la Universidad Privada de Tacna. Los productos que probará son seguros y aptos para el consumo humano. Si experimenta algún síntoma, informe al responsable de la investigación, durante la prueba y finalizada esta.

Su bienestar será respetado en todo momento. Usted es libre de participar o abandonar el estudio en cualquier momento. Firme si está de acuerdo y desea participar.

Información de contacto:

Responsable de la investigación:

Ember Freddy Flores Valencia

Paola Mirella Flores Totorá

Teléfono: 950284208 y 926350058

Correo electrónico: valenciaember@gmail.com

Firma del participante

Firma del investigador principal