



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“EFECTO DE LA ADICIÓN CARBONATO DE SODIO
Y ULTRASONIDO SOBRE GELIFICACIÓN, REOLOGÍA
Y PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE FÉCULA DE
MALANGA (*Colocasia esculenta*) EN LA FABRICACIÓN
DE BIOPELÍCULAS”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

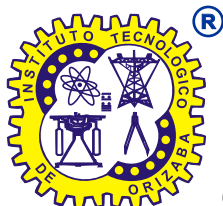
I.Q. Mariela Romero Rosales

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Denis Cantú Lozano

CODIRECTOR DE TESIS:

Dra. Guadalupe Luna Solano



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

SEPTIEMBRE 2022



Orizaba, Veracruz, **14/septiembre/2022**

Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**

Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. MARIELA ROMERO ROSALES

Candidato(a) a Grado de Maestro en:

CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA

P R E S E N T E.-

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

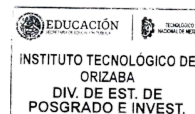
"Efecto de la adición carbonato de sodio y ultrasonido sobre gelificación, reología y propiedades estructurales de fécula de malanga (colocasia esculenta) en la fabricación de biopelículas".

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

Dr. MARIO LEONCIO ARRIOLA RODRÍGUEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OG-13-F06



Orizaba, Veracruz, **19/agosto/2022**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. MARIO LEONCIO ARRIJOA RODRÍGUEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

MARIELA ROMERO ROSALES

La cual lleva el título de:

**EFFECTO DE LA ADICIÓN CARBONATO DE SODIO Y ULTRASONIDO SOBRE
GELIFICACIÓN, REOLOGÍA Y PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE FÉCULA DE
MALANGA (*Colocasia esculenta*) EN LA FABRICACIÓN DE BIOPELÍCULAS.**

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DR. DENIS CANTÚ LOZANO

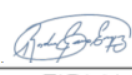
SECRETARIO: DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO

VOCAL: DR. GALO RAFAEL URREA GARCÍA

VOCAL SUP.: DRA. ROSALÍA CERECERO ENRÍQUEZ


FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA

TA-09-18



Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 20 del mes de septiembre del año 2022.

El(la) que suscribe

C. Mariela Romero Rosales

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 112 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada:

“Efecto de la adición carbonato de sodio y ultrasonido sobre gelificación, reología y propiedades estructurales de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) en la fabricación de biopelículas”

del programa: Maestría en Ciencias en Ingeniería Química bajo la asesoría y dirección del Dr. Denis Cantú Lozano y la Dra. Guadalupe Luna Solano y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.



Mariela Romero Rosales

DEDICATORIAS

Agradezco a Dios por guiarme e iluminar mi camino, por estar siempre conmigo y jamás abandonarme, gracias Dios porque me pusiste en este maravilloso camino en mi vida.

A MI MADRE:

OLIVIA ROSALES LARA

Gracias mamá por brindarme tu apoyo, por ser mi guía, por confiar siempre en mí, por tu amor incondicional y por estar conmigo en todo momento. Agradezco por todos tus esfuerzos y dedicación que has puesto en mi para formarme personal y profesionalmente.

A MI ESPOSO:

JOSH MARTINEZ

Gracias por apoyarme en todo momento, por inspirarme día a día, por motivarme a superarme y por formar parte en esta etapa de mi vida en la cual estuviste a cada instante. Te amo amor, este logro es de los dos. ¡Juntos alcanzamos la meta!.

A MIS HIJOS:

JUSTIN, DYLAN Y JOSHUA

Gracias a mis hijos por ser maravillosos y comprensibles para que pudiera culminar este proyecto en mi vida. ¡Gracias por estar orgullosos de mí!.

A MI FAMILIA

Gracias a todos por no dejarme sola en ningún momento motivándome a no rendirme y a continuar.

A MIS AMIGOS:

Ruby, Nohemí, Luis Pablo, Tony y Rafa por ser mis amigos incondicionales y por brindarme su apoyo.

RECONOCIMIENTOS

A MI ASESOR DE TESIS:

DR. DENIS CANTÚ LOZANO

Por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo, además de confiar en mi para la realización de este proyecto.

A MI CO-ASESOR DE TESIS

DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO

Agradezco a usted Dra. por guiarme, por no dejarme sola y apoyarme en todo momento. Sin las asesorías y orientación de usted todo habría sido diferente, es un gran ejemplo a seguir y su sabiduría me ha ayudado a direccionar mis conocimientos.

A LOS PROFESORES:

DRA. ROSALIA CERECERO ENRÍQUEZ

DR. GALO RAFAEL URREA GARCÍA

Agradezco a ustedes por ser parte de este proyecto y por fortalecer distintos factores en mi investigación.

A CONACYT:

Por el apoyo económico otorgado a través de la beca con clave 1078303, con lo cual fue posible llevar a cabo la investigación.

A LA EMPRESA:

PRODUCTORES DE MALANGA CRS DE ACTOPAN, VERACRUZ

Por facilitar la materia prima para el presente estudio.

RESUMEN

Efecto del carbonato de sodio y ultrasonido sobre la gelificación, reología y propiedades estructurales del gel polisacárido de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) en la fabricación de biopelículas

Elaborador por: I.Q. Mariela Romero Rosales

Dirigido por: Dr. Denis Cantú Lozano

Dra. Guadalupe Luna Solano

El presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de evaluar el efecto que presenta el Na_2CO_3 y las ondas de ultrasonido sobre la gelificación, reología y propiedades estructurales del gel polisacárido de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) en la fabricación de biopelículas. El estudio se basó en tres etapas; 1) elaboración y caracterización fisicoquímica de fécula de malanga; 2) obtención y caracterización fisicoquímica-reológica de las suspensiones gelificadas a menor tiempo empleando un diseño factorial 2^3 , utilizando como factores: fécula de malanga, Na_2CO_3 y ondas de sonicación de ultrasonido; 3) obtención y caracterización fisicoquímica de la biopelícula obtenida a partir de un diseño factorial 2^3 empleando como factores: suspensiones gelificadas a menor tiempo, porcentaje de glicerol y temperatura de cocción con el fin de evaluar la elongación como una variable de respuesta. La fécula de malanga presento valores significativos en sus propiedades fisicoquímicas (cenizas, humedad, pH, color, grasas, a_w y proteínas). Se obtuvo un ajuste del 99.54 % en el diseño factorial de suspensiones gelificadas, las condiciones de operación fueron las suspensiones 1 y 2 con las siguientes concentraciones: 2 y 3 % de p/v de fécula, 10 y 20 % de p/p de Na_2CO_3 y un tiempo de sonicación de 15 minutos, dando un tiempo de gelificación de 14.10 ± 0.144 minutos. Por otra parte se obtuvo un ajuste del 99.93 % en el diseño factorial en la elaboración de biopelículas, utilizando la suspensión 2, glicerol al 35 % p/p y una temperatura de cocción de 90 °C, dando un rendimiento de elongación de 71.45 %, alcanzando una elongación máxima de 71.45 %. La biopelícula será empleada en recubrimientos comestibles en alimentos, frutas y verduras para promover una calidad física y nutricional.

ABSTRACT

Effect of sodium carbonate and ultrasound on gelation, rheology and structural properties of malanga (*Colocasia esculenta*) starch polysaccharide gel in the manufacture of biofilms

Elaborated by: I.Q. Mariela Romero Rosales

Advisors: Dr. Denis Cantú Lozano

Dra. Guadalupe Luna Solano

The present work was conducted to evaluate the effect of Na_2CO_3 and ultrasound waves on the gelation, rheology, and structural properties of malanga starch polysaccharide gel (*Colocasia esculenta*) in the manufacture of biofilms. The study was based on three stages: 1) Elaboration and physicochemical characterization of malanga starch; 2) Obtaining and physicochemical-rheological characterization of gelled suspensions in less time using a 2^3 factorial design, using as factors: malanga starch, Na_2CO_3 , and ultrasound sonication waves; 3) Obtaining and physicochemical characterization of the biofilm obtained from a 2^3 factorial design using gelled suspensions at a shorter time, percentage of glycerol, and cooking temperature to evaluate elongation as a response variable. Malanga starch presented significant values in its physicochemical properties (ash, moisture, pH, color, fat, aw, and protein). An adjustment of 99.54 % was obtained in the factorial design of gelled suspensions; the operating conditions were suspensions 1 and 2 with the following concentrations: 2 and 3 % w/v of starch, 10 and 20 % w/p of Na_2CO_3 , and a sonication time of 15 minutes, giving a gelling time of 14.10 ± 0.144 minutes. On the other hand, a 99.93 % adjustment was obtained in the factorial design in the elaboration of biofilms, using suspension 2, glycerol at 35 % w/w, and a baking temperature of 90 °C, giving an elongation yield of 71.45 %, reaching a maximum elongation of 71.45 %. The biofilm will be used in edible coatings on food, fruits, and vegetables to promote physical and nutritional quality.

INDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS.....	xi
NOMENCLATURA	xiii
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
1.1 Fécula.....	11
1.1.1 Gránulos de la fécula	11
1.1.2 Componentes del granulo de la fécula.....	11
1.1.2.1 Amilosa	12
1.1.2.2 Amilopectina	12
1.1.3 Propiedades funcionales de la fécula	13
1.1.3.1 Gelatinización	14
1.1.3.2 Gelificación	14
1.1.3.3 Temperatura de gelificación.....	15
1.1.3.4 Retrogradación	16
1.2 Malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	17
1.2.1 Generalidades.....	17
1.2.2 Clasificación taxonómica.....	17
1.2.3 Descripción de la planta.....	18
1.2.3.1. Hojas.....	18
1.2.3.2 Peciolo	18
1.2.3.1 Tallo (cormo).....	19

1.2.4 Fécula de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	19
1.2.5 Producción de malanga (<i>colocasia esculenta</i>) en México.....	20
1.3 Biopolímeros.....	21
1.3.1 Polisacáridos.....	22
1.3.2 Biopelículas a base de féculas.....	23
1.3.3 Elaboración de biopolímeros utilizando tecnologías innovadoras	23
1.3.3.1 Carbonato de sodio en fécula	23
1.3.3.2 Ultrasonido en fécula	24
1.3.3.3 Plastificantes.....	25
1.3.4 Propiedades de las biopelículas.....	26
1.3.4.1 Propiedades físicas.....	26
1.3.4.2 Propiedades mecánicas	27
1.4 Viscosidad	28
1.4.1 Tipos de viscosidad.....	28
1.4.1.1 Viscosidad dinámica o absoluta.....	28
1.4.1.2 Viscosidad aparente	29
1.4.1.3 Viscosidad cinemática	29
1.4.2 Esfuerzo de corte	30
1.4.3 Velocidad de deformación.....	31
1.5 Reología	31
1.5.1 Reología en alimentos	32
1.6 Antecedentes.....	32
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	37
2.1 Metodología experimental.....	37
2.2 Obtención de la fécula de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	37
2.2.4 Filtración	39
2.2.5 Secado.....	39
2.2.6 Trituración.....	39
2.2.7 Tamizado y almacenamiento	39
2.3 Caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	40

2.3.1 Determinación de cenizas.....	40
2.3.2 Determinación de humedad.....	41
2.3.3 Determinación de pH	41
2.3.4 Determinación de Color	41
2.3.5 Determinación de grasas	42
2.3.6 Determinación de actividad de agua (a_w).....	42
2.3.7 Determinación de proteínas.....	43
2.4 Preparación de las suspensiones de fécula de malanga, Carbonato de sodio y ultrasonido (FM- Na_2CO_3 -Sonicación).....	43
2.4.1 Diseño de experimentos 2^3 para suspensiones gelificadas (FM- Na_2CO_3 -Sonicación)	43
2.5 Caracterización fisicoquímica y reológica del gel.....	44
2.5.1 Temperatura de gelificación.....	44
2.5.2 Color del gel.....	45
2.5.3 Densidad.....	45
2.5.4 Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad de agua y Poder de hinchamiento	46
2.5.5 Viscosidad aparente	46
2.5.6 Sinéresis	47
2.6 Elaboración de biopelículas a partir de suspensiones gelificadas (FM- Na_2CO_3 -Sonicación)	47
2.6.1 Diseño de experimentos 2^3 para suspensiones gelificadas de biopelículas (SGB).....	47
2.6.2 Validación experimental de las mejores condiciones de operación	48
2.7 Parámetros fisicoquímicos de la biopelícula	49
2.7.1 Elongación	49
2.7.3 Humedad	50
2.7.6 Actividad de agua (a_w)	50
2.7.5 Prueba colorimétrica	50
2.7.2 Grosor.....	51
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1 Caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	53

3.1.1. Cenizas	53
3.1.2 Determinación de humedad	54
3.1.3. Determinación de pH	54
3.1.4. Determinación de color	54
3.1.5. Determinación de grasas	55
3.1.6. Determinación de actividad de agua (a_w)	55
3.1.7. Determinación de proteínas	55
3.2 Resultados de la gelificación (FM- Na_2CO_3 -Sonicación) y análisis de varianza del diseño de experimentos 2^3	56
3.3 Resultados de la caracterización fisicoquímica del gel	60
3.3.1 Temperatura de gelificación	61
3.3.2 Color del del gel	63
3.3.3 Densidad	64
3.3.4 Índice de absorción de agua (IAA), poder de hinchamiento (PHI) y índice de solubilidad en agua (ISA)	64
3.3.5 Viscosidad	66
3.3.6 Sinéresis	68
3.4 Análisis de varianza del diseño de experimentos 2^3 para la elaboración de biopelículas	70
3.5 Parámetros fisicoquímicos de las biopelículas	75
3.5.1 Humedad de la biopelícula	76
3.5.2 Actividad de agua (a_w) de la biopelícula	76
3.5.3 Color de la biopelícula	76
3.5.4 Grosor de la biopelícula	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
ANEXO A	84
ANEXO B	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1.1	a) Amilosa y b) amilopectina (Amaya, 2019)	13
1.2	Proceso de los cambios de los gránulos de la fécula durante el proceso hidrotérmico (Waniska y Gómez, 1992).	14
1.3	Gelificación de la fécula (Badui, 2006)	15
1.4	Mecanismo de retrogradación de la fécula (Badui, 2006)	17
1.5	Malanga (<i>Colocasia esculenta</i>) (Olguín <i>et al.</i> , 2011)	20
1.6	Producción de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>) en Veracruz (SIEGVER, 2020)	21
1.7	Comportamiento de las burbujas durante la cavitación (Pisco, 2013)	25
1.8	Curva de fluidez con representación de viscosidad dinámica y aparente (Díaz, 2018).	29
1.9	Deformación de un líquido (Ramírez, 2015).	31
1.10	Deformación de un sólido (Ramírez, 2015)	32
2.1	Diagrama de flujo de la metodología	38
2.2	Metodología para la elaboración de la fécula	39
2.3	Parámetros CIELab	43
2.4	Proceso de para determinar la temperatura de gelificación	46
2.5	Proceso de elaboración de biopelículas	50
3.1	a) Diagrama de Pareto de las muestras gelificadas y b) gráfica de probabilidad normal del punto de gelificación	59

3.2	Gráfica de iteraciones para punto de gelificación	60
3.3	Concentraciones y condiciones del punto de gelificación en las muestras 1 a) y muestra 2 b)	61
3.4	Temperatura de gelificación en las muestras 1 y 2	63
3.5	Perfil de viscosidad de las muestras gelificadas	67
3.6	Sinéresis de muestras gelificadas	71
3.7	a) Diagrama de Pareto de efectos estandarizados y b) Gráfica de probabilidad normal del punto de gelificación.	73
3.8	Gráfica de iteraciones para elongación	74
3.9	Condiciones y concentraciones para la determinación de elongación	75
3.10	Color de biopelícula obtenida a) biopelícula de contro y b) biopelícula obtenida	79

LISTA DE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1.1	Clasificación taxonómica de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>) (Dirección de agricultura del MINAG, 2018)	18
1.2	Características de los polisacáridos (Badui, 2016)	23
2.1	Caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	41
2.2	Diseño de experimentos 2 ³ para la formulación de suspensiones gelificadas	45
2.3	Diseño de experimentos 2 ³ para la formulación de biopelículas	49
3.1	Resultados de la caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	54
3.2	Resultado del diseño de experimentos 2 ³ para la formulación de suspensiones gelificadas (FM-Na ₂ CO ₃ - Sonicación)	57
3.3	Análisis de varianza de las suspensiones gelificadas	58
3.4	Resultados de la caracterización fisicoquímica del gel	62
3.5	Resultados de la temperatura de gelificación	64
3.6	Resultados de IAA, PHI e ISA	66
3.7	Resultado de viscosidad máxima, ruptura y retroceso	68
3.8	Resultados de % de sinéresis en 7 días	70
3.9	Resultados del diseño de experimentos 2 ³ para la formulación de biopelículas	70
3.9	Resultados de la caracterización fisicoquímica de las biopelículas	71
3.10	Análisis de varianza de las suspensiones gelificadas	72

3.11	Resultados de la caracterización fisicoquímica de la biopelícula	77
3.12	Resultados de color en las biopelículas de control y obtenida a mayor elongación	79

NOMENCLATURA

Nomenclatura	Descripción	Unidades
ρ	Densidad	g/cm^3
η	Viscosidad dinámica	$Pa \cdot s$
μ	Viscosidad aparente	$Pa \cdot s$
ν	Viscosidad cinemática	$Pa \cdot s$
σ	Esfuerzo de corte	Pa
γ	Velocidad de deformación	s^{-1}
G	Módulo de rigidez	Pa
γ	Deformación	%
B	Baumé	$^{\circ}B$

INTRODUCCIÓN

La fabricación de plásticos o polímeros a partir del petróleo ha ido en aumento paulatino a nivel mundial, estos son utilizados como envases a base de materiales plásticos causando un problema medioambiental grave debido a que no son biodegradables (Goudarzi *et al.*, 2017).

La utilidad de los productos derivados del petróleo así como su elevado costo de producción, son las principales razones a tomar en cuenta para la sustitución de los plásticos convencionales por biopolímeros, de acuerdo a esto se busca una alternativa que garantice su remplazo total. Es por eso que los estudios en la ciencia de los materiales y la demanda de una funcionalidad específica han considerado la investigación de biomateriales a partir de féculas, la cual es un componente importante en la fabricación de biopolímeros, la cual ha sido estudiada mediante la gelificación con el fin de aumentar su calidad (Pachua *et al.*, 2018).

La malanga (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo perteneciente a la familia de las aráceas, tiene una raíz gruesa con alto contenido de fécula, la cual es empleada a nivel industrial para la elaboración de bioplásticos (Martins *et al.*, 2020).

Se ha estudiado la gelificación de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) reológicamente estudiando las características y propiedades funcionales de la suspensión gelificada, utilizando un modelo matemático para el estudio cuantitativo y cualitativo de las propiedades obtenidas (Wang *et al.*, 2019).

Por otra parte se ha descubierto que combinando la adición de agentes alcalinos y la aplicación de ondas de ultrasonido incrementan la estabilidad de los polisacáridos constituidos en la fécula, también se ha encontrado que el Na_2CO_3 mejora la calidad de la gelificación de fécula debido a que disminuye la acidez del polisacárido, se ha determinado que la adición de Na_2CO_3 aumenta el rendimiento de extracción 15 veces más a diferencia del método no alcalino (Lin *et al.*, 2017).

La aplicación de la tecnología del ultrasonido es utilizada en procesos oscilantes para romper partículas de polisacáridos en féculas, a causa de la fuerza hidrodinámica de las ondas generadas. El nivel de cavitación considera la frecuencia y la amplitud de onda como parámetros del campo ultrasónico, este proceso se lleva a cabo cuando la burbuja entra al campo con movimientos oscilatorios estables manejando una relación con la presión oscilante (Quevedo, 2019).

En el presente proyecto se planteó como objetivo general evaluar el efecto del Na_2CO_3 y ultrasonido, sobre la gelificación, reología y propiedades estructurales del gel polisacárido de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) en la fabricación de biopelículas. Para cumplir con el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1) elaboración y caracterización fisicoquímica de fécula de malanga; 2) realizar la gelificación de las suspensiones de fécula de malanga adicionando Na_2CO_3 y ultrasonido; 3) caracterizar fisicoquímicamente y reológicamente las suspensiones gelificadas y finalmente obtener la biopelícula con las mejores condiciones de la gelificación .

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del carbonato de sodio y ultrasonido, sobre la gelificación, reología y propiedades estructurales del gel polisacárido de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) en la fabricación de biopelículas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicoquímicamente la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*).
- Realizar la gelificación de las suspensiones de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) adicionando Na_2CO_3 y ultrasonido.
- Caracterizar fisicoquímicamente y reológicamente el gel de malanga.
- Obtener la biopelícula con el gel de malanga (*Colocasia esculenta*).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Fécula

La fécula es un hidrato de carbono proveniente de raíces y tubérculos abundantes en todo el mundo, con la principal característica de ser renovable y biodegradable, además de ser económico para la producción productos de valor agregado. (Zhen-Yu *et al.*, 2019), se constituye por un alto número de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos (More *et al.*, 2017). La fécula es un polisacárido de reserva alimenticia, proporciona de 70-80 % de las calorías consumidas por los humanos. Las féculas naturales y las modificadas tienen diversas aplicaciones como, por ejemplo: adhesivos, ligantes, formador de películas, estabilizador de espumas, agente, gelificante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante (Hermida, 2011).

1.1.1 Gránulos de la fécula

La fécula está compuesta de pequeñas partículas de estructuras individuales discretas llamadas "gránulos" cuyo tamaño y forma son característicos de cada especie y pueden ser observados microscópicamente. las féculas suelen ser insolubles en agua fría debido a su bajo nivel de hidratación. Todos los gránulos se conforman de una hendidura denominada hilo que constituye el centro de nucleación alrededor del cual se desarrolla el granulo, el tamaño del granulo de la fécula es de 5 a 100 μm (Barrera *et al.*, 2003).

1.1.2 Componentes del granulo de la fécula

Los principales componentes de la fécula son: amilosa y amilopectina. Generalmente, tiene una composición aproximada de 17-27% de amilosa y el resto

de amilopectina, debido a esto la concentración de dichos polisacáridos es determinada por factores genéticos de cada raíz o tubérculo e influyen de diferente manera en sus propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente en la hidratación del granulo de la fécula y su gelificación (Badui, 2006).

1.1.2.1 Amilosa

Es un polímero de estructura lineal (Figura 1.1 a), tiene un contenido de 6000 unidades de glucosa y enlaces α (1-4), con algunas ramificaciones que contienen de 3 a 20 cadenas de glucosa cuya unidad repetitiva es la α -maltosa (Mendoza *et al.*, 2017). EL contenido de amilosa en la fécula está relacionado con el proceso de gelificación de agregados de cristales de fécula, los cuales ocasionan texturas gelificantes aumentando su rigidez. La cantidad de amilosa es un factor importante para determinar la calidad de la elaboración del proceso de alimentos gelificantes. Una cantidad alta de amilosa favorecen una satisfactoria solubilidad, alta viscosidad, buena claridad de la pasta formada y buena formación en el proceso de retrogradación (Solarte *et al.*, 2019).

1.1.2.2 Amilopectina

La amilopectina tiene una estructura en forma de ramificaciones que le dan forma molecular a la de un árbol (Figura 1.1 b), se constituye de ramas unidas al troco central por enlaces α (1-6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa que entrelazan las cadenas para formar una macromolécula tridimensional (Badui, 2006). Los parámetros estructurales de las moléculas de amilopectina están en forma de cadenas exteriores entre el grupo terminal no reductor, la rama más externa y el punto de ramificación externo. Mientras que las cadenas interiores representan una cadena entre los puntos de ramificación en el interior de la molécula (Bernal, 2017).

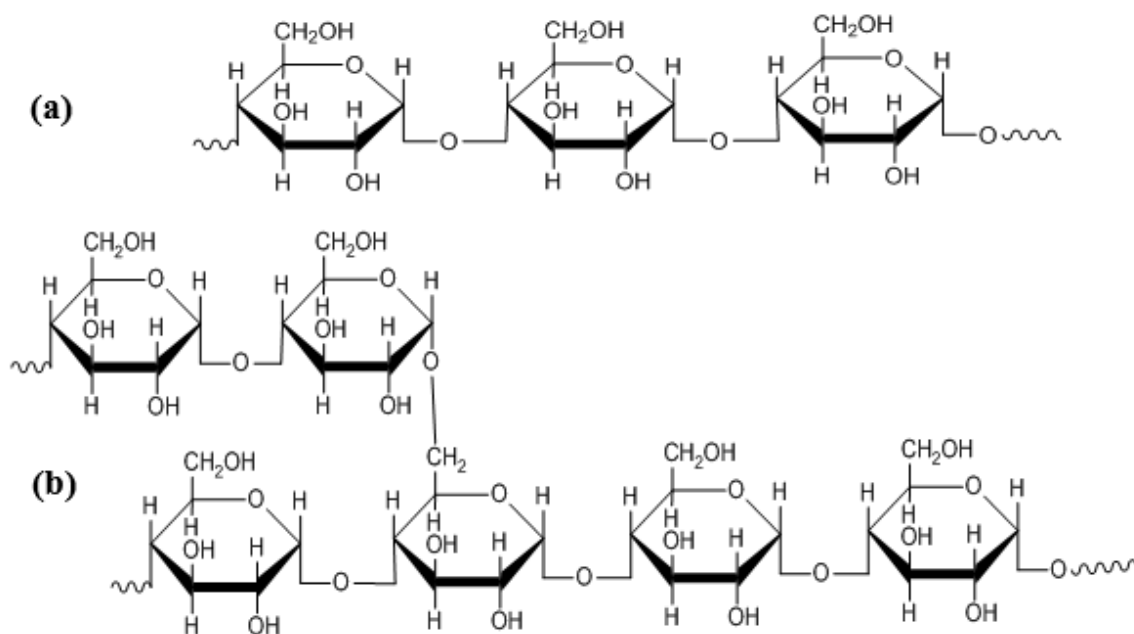


Figura 1.1 a) Amilosa y b) amilopectina (Amaya, 2019)

1.1.3 Propiedades funcionales de la fécula

Las propiedades funcionales de las féculas dependen de la relación de la amilosa y la amilopectina. En los diferentes cultivos el enlace de los polisacáridos tiene una relación constante variando la composición una de otra dependiendo de la especie y la diversidad de las plantas. Las propiedades funcionales de la fécula son: solubilidad, actividad de agua, poder de hinchamiento, retrogradación, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia de corte), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación. En el proceso del tratamiento hidrotérmico la fécula adopta cambios en su estructura en tres fases fundamentales: gelatinización, gelificación y retrogradación mostrado en la Figura 1.2. Este proceso causa hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos de la fécula (Aristizábal *et al.*, 2007).

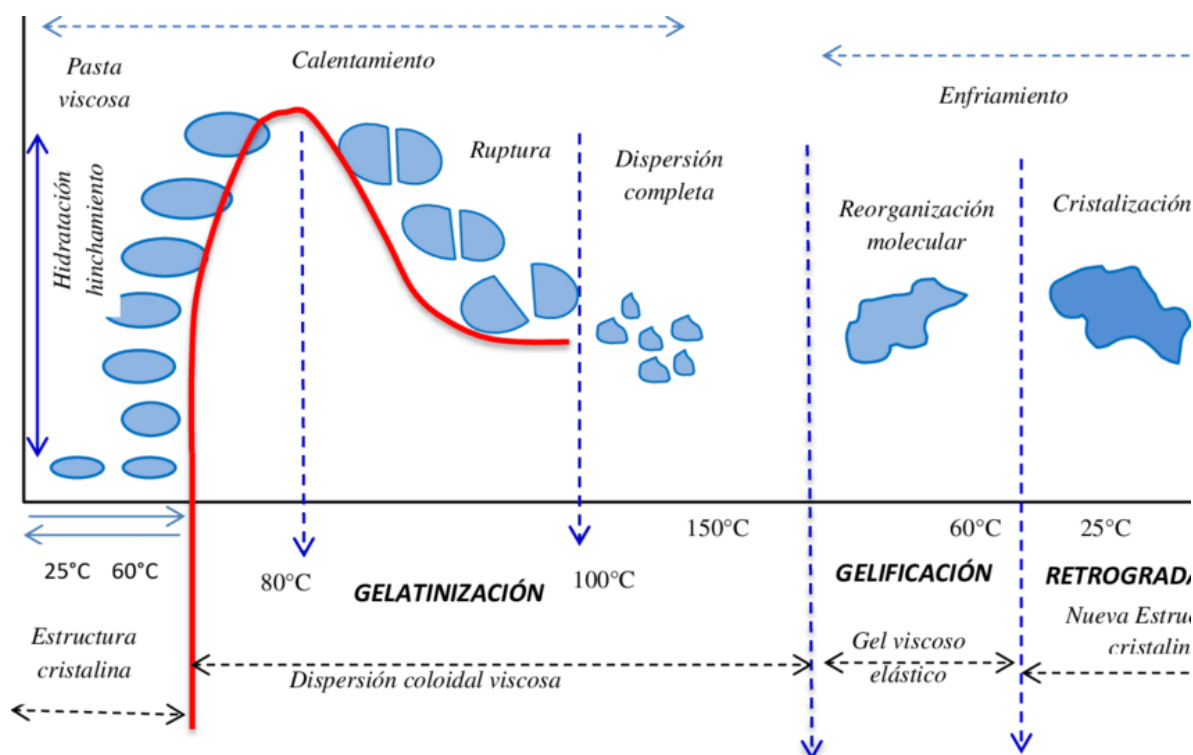


Figura 1.2. Proceso de los cambios de los gránulos de la fécula durante el proceso hidrotérmico (Waniska y Gómez, 1992).

1.1.3.1 Gelatinización

Al inicio del proceso el agua se propaga por las zonas amorfas del granulo de la fécula, ejerciendo la primera fase de hinchamiento reversible. En este periodo de cocimiento, la amilosa se solubiliza y la fécula padece una dispersión coloidal creada por una fase continua o de disolvente enriquecido de amilosa y una fase discontinua de gránulos de fécula hinchados con un alto contenido de amilopectina. En este proceso los gránulos guardan sus propiedades ópticas incorporando la capacidad de refractar la luz polarizada (birrefringencia), que está relacionada a la alineación de las moléculas dentro del gránulo de fécula (Durán, 2006).

1.1.3.2 Gelificación

Los gránulos de la fécula son insolubles en agua fría, estos pueden absorber agua reversiblemente (se hinchan levemente con el agua y al secarse regresa a su tamaño original). Cuando se tiene una solución acuosa de fécula y se somete a un proceso de calentamiento, se alcanza un punto en que los gránulos se fragmentan disminuyendo la viscosidad inmediatamente al perturbar la mezcla se produce una fracturación en los gránulos. De esta forma se produce la gelificación debido a la formación de una red tridimensional de moléculas de amilosa y amilopectina unidas mediante puentes de hidrogeno (Hermida, 2011).

Este fenómeno se representa en la Figura 1.3 mostrando esquemáticamente el aumento de volumen de los gránulos contra el aumento de viscosidad de la dispersión acuosa, cuando los gránulos se rompen la viscosidad se reduce hasta que alcanza un valor estable en el que se produce un gel, que presenta diferentes características físicas y químicas. (Badui, 2006).

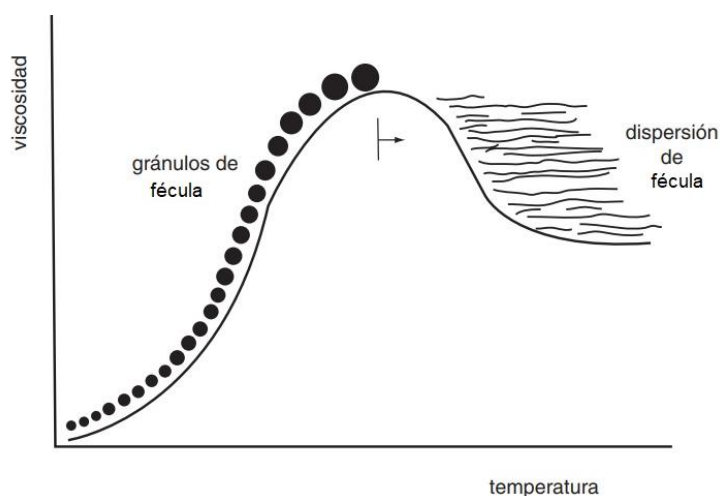


Figura 1.3. Gelificación de la fécula (Badui, 2006)

1.1.3.3 Temperatura de gelificación

La temperatura de gelificación indica el momento en el cual los enlaces se rompen mediante un calentamiento hidrotérmico. La fécula alcanza el máximo de

viscosidad perdiendo la birrefringencia y el patrón de difracción de rayos X; la temperatura puede ser afectada por la presencia de compuestos químicos que favorecen o inhiben los puentes de hidrógeno (Badui, 2006).

1.1.3.4 Retrogradación

La retrogradación es el proceso mediante el cual la fécula comienza a exudar agua (sinéresis), de acuerdo al nivel microestructural cuando la fécula gelificada está en reposo tiende a buscar un mínimo de energía libre que se alcanza cuando las líneas de amilosa se encuentran paralelas entre sí. Esta estructura favorece la formación de puentes de hidrógeno entre los múltiples hidroxilos de las cadenas, generando una estructura cristalina de amilosa precipitada en agua (Hermida, 2011).

El proceso de retrogradación es complejo y se divide en lento y largo plazo (Figura 1.4). La retrogradación a corto plazo se produce en el almacenamiento temprano de la pasta de la fécula, mientras que la retrogradación a largo plazo tiene un proceso de almacenamiento más largo debido a su tasa lenta de recristalización de las moléculas de amilopectina (Jiang *et al.*, 2021).

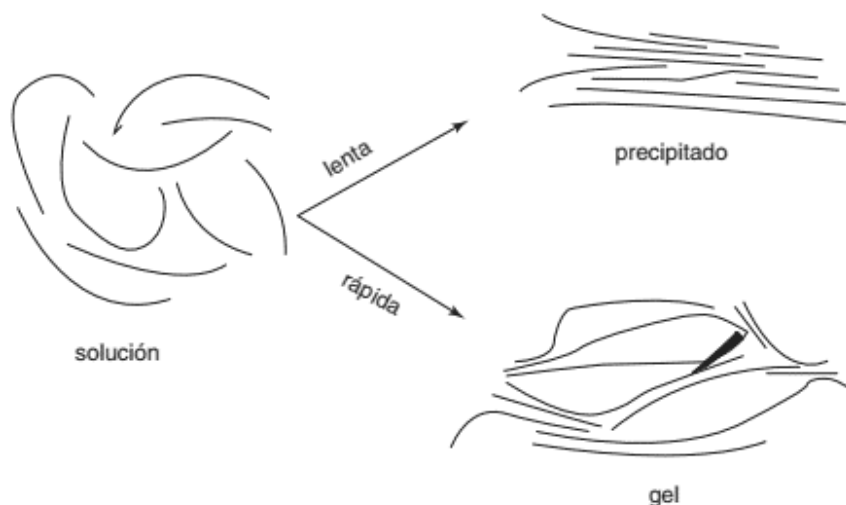


Figura 1.4. Mecanismo de retrogradación de la fécula (Badui, 2006)

1.2 Malanga (*Colocasia esculenta*)

1.2.1 Generalidades

La malanga *Colocasia esculenta*) pertenece a la familia de las aráceas comestibles, la cual clasifica a los géneros: *Colocasia*, *Xanthosoma*, *Alocasia*, *Cyrtosperma* y *Amorpho hallus*.

Es una planta herbácea y suculenta la cual llega a medir de 1 a 3 metros de alto sin tallo aéreo, sus hojas son peltadas con peciolo largos, su tallo central es elipsoidal o cónico. Se considera una planta monocotiledónea además es una planta rizomatosa con cormos ricos en oxalato de calcio, es una planta perene tropical, comestible con un ciclo de vida corto originaria de Asia, África y Oceanía, fue introducida en América por los esclavos negros en el cultivo de la malanga demanda altas cantidades de agua para una buena producción (Mazariegos *et al.*, 2017).

1.2.2 Clasificación taxonómica

Las características taxonómicas de la malanga (*Colocasia esculenta*) se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica de malanga (*Colocasia esculenta*) (Dirección de agricultura del MINAG, 2018)

Tipo	Angiosperma
Nombre científico	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott
Nombre común preferido	Taro
Nombres comunes	Papa china Malanga Pituca Oreja de elefante viejo

	Taro pequeño
	Etc.
Clase	Monocotiledoneae
Orden	Spadiciflorae
Familia	Araceae
Género	Colocasia
Especie	<i>Colocasia esculenta</i>
Subfilo	Angiospermas
Phylum	Spermatophyta
Reino	Plantae
Dominio	Eukaryota

1.2.3 Descripción de la planta

La organización de la planta de malanga (*Colocasia esculenta*) está dada por hojas, peciolo tallo o cormo (Figura 1.5).

1.2.3.1. Hojas

La estructura de las hojas hace la formación de un pseudotallo con hojas peltadas de tamaño de 32-36 cm de largo por 22-70 cm de ancho. Se crean en un meristemo apical del cormo enrolladas por la base, la formación de la hoja de malanga se determina por cuatro partes fraccionando desde la base, vaina, peciolo, nervio central y lamina (Mandrigal *et al.*, 2018).

1.2.3.2 Peciolo

La estructura del peciolo contrae el extremo superior de la vaina para sostener al limbo, el tamaño del peciolo cambia de acuerdo a la edad de la planta. Su comienzo se da en el extremo superior de la vaina siendo de mayor tamaño y se hace más

pequeño al llegar al limbo, su estructura es cilíndrica y lisa de coloración es verde y morado (Dirección de agricultura del MINAG, 2018).

1.2.3.1 Tallo (cormo)

La malanga se caracteriza por tener tallos subterráneos llamados cormos o rizomas, los cuales integran tallos secundarios denominados cormelos del cual se desarrollan cormelos laterales recubiertos de escamas fibrosas. El cormo es el tubérculo de la planta y es el elemento más valioso, ya que guarda nutrientes y agua. El cormo principal es de gran tamaño, esférico, cónico o elipsoidal y del se crean comerlos laterales divididos en primarios, secundarios y terciarios. La coloración de la pulpa puede ser blanco, amarillo o morado; los cormos de la malanga son ricos en fécula con un contenido de 35 a 85 % de materia seca (Singla *et al.*, 2020).



Figura 1.5. Malanga (*Colocasia esculenta*) (Olguín *et al.*, 2011)

1.2.4 Fécula de malanga (*Colocasia esculenta*)

Considerando la diversidad de raíces y tubérculos, la malanga es una rica fuente de carbohidratos y la fécula es su principal componente, los gránulos de la fécula son

redondos y aglomerados con un tamaño de 1 a 5 μm siendo más pequeños en comparación a la de otros tubérculos (Alam, 2021). Los cormos de la malanga son ricos en fécula y sus características de calidad de están relacionados con la amilosa, amilopectina y composición de la materia seca (Singla *et al.*, 2020).

Estudios previos realizados en el laboratorio de procesos de posgrado en el Instituto Tecnológico de Orizaba, demostraron que la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) tiene mayor resistencia que el almidón de arroz y maíz con el estudio llamado “Comportamiento del punto sedente de diferentes almidones”.

1.2.5 Producción de malanga (*colocasia esculenta*) en México

La malanga es de fácil y rápido crecimiento en climas tropicales y subtropicales, en México el cultivo de malanga se da en los estados de Oaxaca, Veracruz y Puebla. La malanga se produce en el Estado de Veracruz en el municipio de Actopan, lugar localizado en la Figura 1.6. En el año 2016 obtuvieron una producción de 19,500 toneladas, esta cantidad se duplico en 2 años debido al clima cálido del lugar con 25-30 °C, tierras fértiles, altitud (1500 msnm) y abastecimiento de agua (Mandrigal *et al.*, 2018).



Figura 1.6. Producción de malanga (*Colocasia esculenta*) en Veracruz (SIEGVER, 2020)

1.3 Biopolímeros

Son estructuras de macromoléculas formadas por unidades funcionales organizados por varios organismos de procesamiento directo o indirecto, de igual manera son descritos como materiales de base biológica. Su elaboración puede ser de carbohidratos: (féculas, celulosa,); proteínas (gelatina, caseína); lípidos (aceites vegetales) (Reyes, 2020). Los biopolímeros tienen una composición sintetizada por los seres humanos para tener una función biológica (proteínas, ácidos nucleicos), estructurales (polisacáridos) y de defensa o mantenimiento de actividad acuosa (biopelículas). Los biopolímeros cuentan con una alta variedad de moléculas con propiedades fisicoquímicas específicas aprovechadas por diversos sectores industriales, su elaboración es importante sobre la ventaja de los materiales sintéticos dada su biodegradabilidad, baja antigenicidad y su función renovable; su clasificación se determina por su origen y funcionabilidad así como también tienen una subclasificación de acuerdo a las cargas de sus superficies biopoliméricas (Rodríguez *et al.*, 2020).

Son elaborados de origen natural creado por un organismo vivo y sintetizado a partir de fuentes de energía renovables y con carácter biodegradable. La International Standard Organization (ISO) nombra a la biodegradación en moléculas pequeñas que formen parte del ciclo de vida (O , CO_2 , H_2O) por acción de microorganismos (Hermida, 2011). La celulosa, la fécula, la quitina, proteínas y péptidos son ejemplos de biopolímeros en los que las unidades de monoméricas son azúcares, aminoácidos y nucleótidos (Elnashar, 2010).

1.3.1 Polisacáridos

Los polisacáridos están formados por varios polímeros, constituidos por la unión de más de 10 monosacáridos por diversos enlaces glucosídicos, la mayoría de los polisacáridos naturales contienen cientos o miles de monómeros. Ocasionalmente soluciones de tipo coloidal, son incoloros, no tienen aroma ni sabor. Se ha encontrado que su peso molecular puede ser de millones debido a su compleja estructura de molecular. La forma de los polisacáridos se halla de forma lineal o ramificada constituidas por un solo tipo de monosacárido llamado homopolisacárido como lo es la fécula y la celulosa o bien constituido por varios monosacáridos llamados heteropolisacáridos encontradas en las gomas.

Los componentes de los polisacáridos están unidos en secuencia con estructura repetitiva con un alto grado de ordenación entre C_1 o C_2 y el C_2 , C_3 , C_4 , C_5 o C_6 del segundo residuo, un polisacárido ramificado muestra más de dos tipos de enlaces en la misma molécula. Los polisacáridos se seccionan en dos grupos: los que tienen la constitución de estructura celular y les da firmeza a los tejidos (celulosa, pectinas, gomas, etc.), las que muestran reserva energética de los animales (glucógeno) y vegetales (inulina y fécula) ambos grupos tienen características físicas y químicas diferentes como se observa en la Tabla 1.2 (Badui, 2006).

Tabla 1.2. Características de los polisacáridos (Badui, 2016)

Estructurales	De reserva alimenticia
• Forman puentes de hidrógeno intermoleculares muy fuertes • Producen fibras muy rígidas • Insolubles en agua • Enlaces glucosídicos β • Resistentes a enzimas, macroorganismos y agentes químicos • Son dispersos con alta viscosidad	• Pocos puentes de hidrógeno intermoleculares y débiles • No producen fibras • Solubles en agua • Enlaces glucosídicos α • Débiles a enzimas, macroorganismos y agentes químicos • Son dispersos con poca viscosidad

1.3.2 Biopelículas a base de féculas

En la constitución de las propiedades formadoras de películas en el almidón, se encuentra la amilosa. Las películas de almidón tienen excelentes propiedades como barreras al oxígeno ante la presencia de microorganismos, debido a su alta estructura de red unida por puentes de hidrógeno en la que la amilosa y la amilopectina crean regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternas (Cazón *et al.*, 2017).

1.3.3 Elaboración de biopolímeros utilizando tecnologías innovadoras

En la elaboración de las biopelículas a base de féculas se han implementado nuevas tecnologías utilizando métodos químicos con adición de agentes alcalinizantes como lo es el carbonato de sodio, métodos físicos con aplicación de sonicación de ultrasonido y diversos plastificantes.

1.3.3.1 Carbonato de sodio en fécula

El carbonato de sodio (Na_2CO_3) es un agente alcalinizante que ayuda a incrementar la estabilidad del granulo de la fécula, debido a las interacciones electrostáticas entre los iones Na^+ y los grupos hidroxilos, cuando la fécula es tratada con un agente alcalinizante el granulo absorbe el Na_2CO_3 en las regiones amorfas de la suspensión rompiendo las cadenas moleculares lo que reduce la inhibición de la amilosa accediendo a que los gránulos se hinchen libremente. La gelificación de la fécula con el Na_2CO_3 aumenta la viscosidad de las suspensiones de la fécula durante el calentamiento (Tao *et al.*, 2019).

1.3.3.2 Ultrasonido en fécula

Esta tecnología es una transformación física que se debe de usar por encima del umbral del oído humano su desarrollo es amigable y respetuoso con el medio ambiente fécula (Martins *et al.*, 2020). Las ondas de ultrasonido se pueden difundir a través de cualquier medio como una onda mecánica dentro de un intervalo de frecuencia de 20 kHz a 100 MHz, causando fases de expansiones y compresiones. Puede inducir la formación, desarrollo e implosión de burbujas de cavitación en un medio líquido, cuando se aplica una fuerza acústica alta, que se utiliza comúnmente para mejorar varios métodos de procesamiento de alimentos (Zhu *et al.*, 2018). El beneficio de emplear tecnologías no térmicas en el área de investigación y aplicación comercial con el uso de la tecnología emergente del ultrasonido de alta intensidad (Tabla 1.3), ha sido estudiada para propósitos de inactivación microbiana y enzimática, se puede utilizar para la evaluación de textura, composición y viscosidad de alimentos entre otras aplicaciones (Brown *et al.*, 2005).

Los cambios de la estructura de la fécula mediante ondas de ultrasonido originan cambios morfológicos en los gránulos suspendidos en agua, produciendo grietas y poros; esta modificación ocurre gracias a los efectos de la cavitación implicando dos mecanismos: el colapso de las burbujas de cavitación (Figura 1.7) y la degradación de los biopolímeros gracias a la reacción de los gránulos de la fécula y la energía ocasionada por la cavitación. Debido a esta situación la amilosa se libera al medio

acuoso aumentando el tamaño del polisacárido fuera del gránulo. La transformación física por ultrasonido depende de factores como temperatura, la estructura, la longitud de onda del ultrasonido, tiempo de sonificación, concentración de la fécula y origen botánico (Martins *et al.*, 2020).

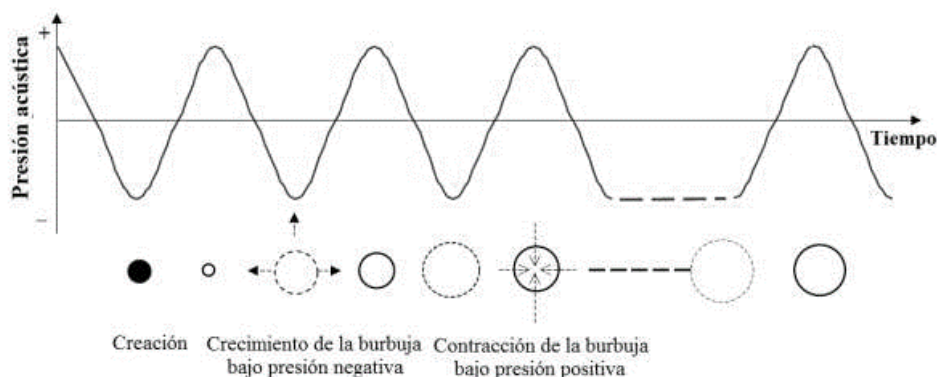


Figura 1.7. Comportamiento de las burbujas durante la cavitación (Pisco, 2013)

En el tratamiento del gel de fécula con ultrasonido se encuentra una disminución en la viscosidad, se le da la atribución a este efecto a la reducción de la cantidad de amilosa en el gel de fécula con una potencia y duración crecientes de la exposición ultrasónica (Singla *et al.*, 2021).

1.3.3.3 Plastificantes

Los plastificantes son moléculas con bajo contenido de peso molecular, tienen como objetivo reducir la temperatura de transición, hacer mejor las propiedades y características de conformabilidad de un polímero (Hermida, 2011).

Los plastificantes tienen la característica de disminuir la intensidad de la fuerza de enlace dadas por moléculas de polímeros, dichos enlaces como lo son las atracciones entre moléculas denominadas fuerzas de van der Waals, producen una rigidez al polímero. De acuerdo a los términos estructurales los plastificantes se insertan entre las cadenas conformados por una matriz polimérica en consecuencia

aumenta un espacio libre entre ellas provocando una reducción de fuerzas intermoleculares en el trayecto de la matriz. En la producción de biopelículas los plastificantes que comúnmente se usan son glicerol, sorbitol, propilenglicol y polietilenglicol (Rivero *et al.*, 2010).

El glicerol es el plastificante que se maneja a menudo en la elaboración de biopolímeros gracias a sus humectantes, cuando se mezcla crea una alta efectividad en el plastificante, una competente estabilidad y una baja volatilidad con la habilidad de relacionarse con enlaces de hidrogeno, accediendo a una formación estable. El resultado principal del glicerol es la interacción directa que hay entre el plastificante y el polímero de la fécula permitiendo la higroscopicidad dando una consecuencia en la absorción de humedad. Se entiende que a medida que incrementa la cantidad del glicerol como plastificante la flexibilidad de las biopelículas es más elevada, esto se debe a que el glicerol es un poliol que su funcionalidad es unir cadenas y por su estructura favorece la obtención de películas más uniformes (Arrieta *et al.*, 2017).

1.3.4 Propiedades de las biopelículas

1.3.4.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de las biopelículas engloban: color, espesor y solubilidad:

- El color de la biopelícula está relacionado con la transparencia y la opacidad del biopolímero debido a la morfología o estructura química, relacionada con el peso molecular del material. El color se estima en los términos L* (luminosidad), a* (tonalidad) y b* (pureza), los valores individuales representan las características del color. L* está relacionada a la luz reflejada y absorbida, los valores iguales a 0 y 100 dan blanco y negro, los valores de a* positivo corresponde al tono rojo y negativo al tono verde, b* positivo corresponde a amarillo y negativos a azul (Escobar, 2020).

- El espesor de la biopelícula varía de acuerdo a sus características morfológicas, ya que con esta se calcula la longitud disfuncional, resistencia por fricción y la transmisión de color. La variación del espesor está en relación con la edad de la biopelícula (Eguia, 1991).
- La solubilidad de las biopelículas es utilizada para saber si la biopelícula se deshace con facilidad. Si se tiene una mayor solubilidad la biopelícula resiste menos al agua siendo más propensa a la degradación, esta propiedad nos muestra su funcionabilidad al tener una alta o baja humedad (Ocaña, 2020).

1.3.4.2 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se basan en medición y evaluación de un determinado material, lo cual es esencial para determinar la factibilidad de un material para cumplir con una función específica. Los materiales presentan diferentes comportamientos como lo son: frágiles-elásticos a bajas temperaturas, viscosos, gomosos, visco-elásticos a altas temperaturas en el proceso de fabricación. De acuerdo a la aplicación que sean empleados los biopolímeros son sometidos a diferentes tipos de carga, los cuales son importantes para saber cuál es la aplicación adecuada en su análisis. Las propiedades mecánicas de los biopolímeros dependen de su estructura, composición química y proceso conformado, debido a esto influyen factores como temperatura y velocidad de aplicación de los esfuerzos sometidos (Ortiz, 2018).

Las principales propiedades mecánicas son la resistencia a la tensión y la elongación al quiebre, estas propiedades son estimadas en materiales tendientes al ser empleadas para determinar la resistencia y la flexibilidad del material, esto ayuda a seleccionar al mejor componente para su fabricación (González *et al.*, 2017).

1.4 Viscosidad

La relación del contacto de movimiento de dos cuerpos solidos crea una fuerza de fricción en la superficie del contacto en dirección opuesta al movimiento. La resistencia interna de un fluido al movimiento o fluidez se le conoce como viscosidad. Es la propiedad de transporte que mide la conductividad de la cantidad de movimiento que pasa de un fluido, presenta resistencia interna de los fluidos a la deformación y al movimiento debido a las fuerzas de fricción generadas en las capas del fluido a medida que se obligan a moverse con relación a otras (Cengel, 2004).

1.4.1 Tipos de viscosidad

El contacto de dos cuerpos solidos se mueve uno con relación al otro, se genera una fuerza de fricción.

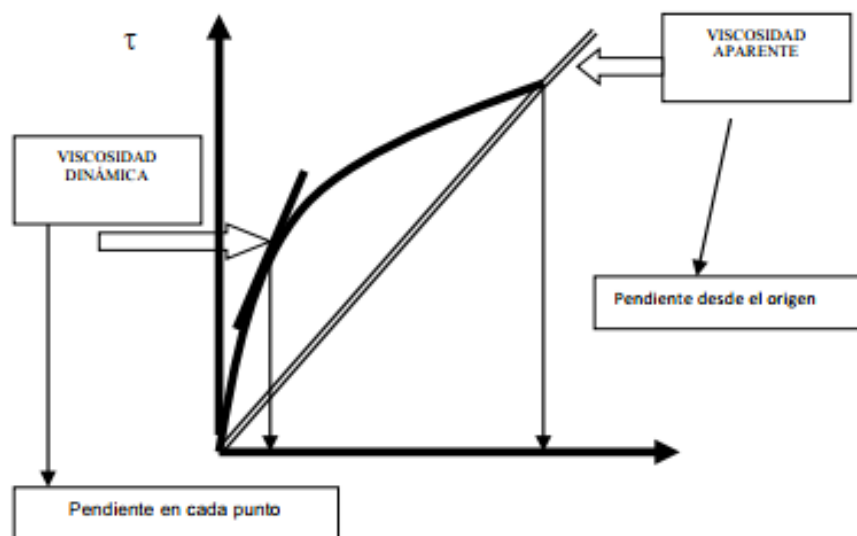


Figura 1.8. Curva de fluidez con representación de viscosidad dinámica y aparente (Díaz, 2018).

1.4.1.1 Viscosidad dinámica o absoluta

Es denominada por “ μ ”, esta viscosidad representa la curva de fluidez determinado por esfuerzo cortante contra la velocidad de deformación, llamado como pendiente en cada punto de la curva mostrado en la Figura 1.8 (Ramírez, 2015).

1.4.1.2 Viscosidad aparente

La viscosidad aparente está determinada por el coeficiente η , determinada por el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación $\frac{\sigma}{\gamma}$ para cada γ , por lo que es la pendiente que une al origen en ese punto como lo muestra la Figura 1.9. Este tipo de viscosidad es utilizado para estudiar los fluidos no newtonianos que tienen un comportamiento no lineal y es representado por la letra griega η . En los fluidos no newtonianos la relación entre la viscosidad dinámica es igual a la viscosidad aparente (Díaz, 2018).

1.4.1.3 Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática está dada por el término “ ν ”, está relacionada con la viscosidad dinámica y la densidad del fluido utilizado. Las unidades que utiliza para el termino de este tipo de viscosidad son los centistokes (cst). La viscosidad se determina como la resistencia de un fluido bajo la aplicación de una fuerza o esfuerzo de cizalla.

(Ramírez, 2015).

$$1 \text{ stoke} = 100 \text{ centistokes} = \text{cm}^2/\text{s}$$

La ecuación que la determina es la ecuación 1.1 :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \left[\frac{\text{Poise}}{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = \text{Stoke (St)} \right] \quad (1.1)$$

Dónde es ν es la viscosidad cinemática (Pa·s), μ es la viscosidad aparente (Pa·s) y ρ es la densidad (g/m³).

1.4.2 Esfuerzo de corte

El estudio de la fuerza por unidad de área que se necesita para el movimiento de un fluido se establece como F/A y se determina como σ llamada tensión o esfuerzo de cizalla. Para Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante es directamente proporcional al gradiente de velocidad (dv/dy) mostrado en la ecuación 1.2, conocido como γ , la formula mencionada se le llama Ley de Newton aplicada a fluidos newtonianos (Figura 1.9.) (Cengel, 2004).

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \mu \cdot \gamma \quad (1.2)$$

Dónde σ es la tensión o esfuerzo de corte (Pa), μ viscosidad aparente (Pa·s), $\frac{dv}{dy}$ es gradiente de velocidad y γ es la deformación (%).

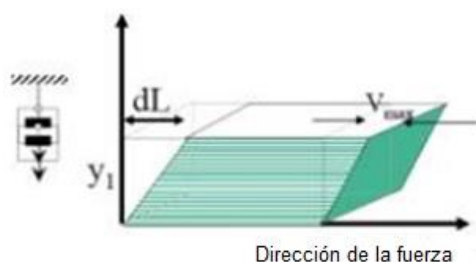


Figura 1.9. Deformación de un líquido (Ramírez, 2015).

La ley de Hooke es aplicable para el estudio de la reología de sustancias solidas (Figura 1.10), La ecuación 1.3 nos muestra que si se le adiciona una carga σ sobre un solido va a sufrir una deformación γ (Ramírez, 2015).

$$\sigma = G \frac{dL}{dy} = G \cdot \gamma \quad (1.3)$$

Dónde σ es la tensión o esfuerzo de corte (Pa), G el módulo de rigidez (Pa) y γ es la deformación (%).

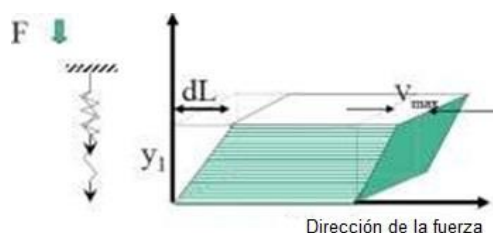


Figura 1.10. Deformación de un sólido (Ramírez, 2015)

1.4.3 Velocidad de deformación

El esfuerzo de cizalla obliga a al fluido a fluir en la ranura, generando una caída de velocidades entre ambas placas, que es diferente según el líquido. La velocidad de deformación también llamada cizalla nos da a conocer la velocidad de variación de la deformación, el cambio de velocidad a través de la distancia entre dos placas como determinada matemáticamente en la ecuación 1.4.

$$\dot{\gamma} = \frac{dy}{dt} = \frac{d(dx/dy)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dx}{dt}\right)}{dy} \frac{du_x}{dy} \quad (1.4)$$

Donde la velocidad de deformación o de cizalla ($\dot{\gamma}$) de unidad de medida s^{-1} es constante a través del material siempre y cuando este producida entre placas paralelas. El gradiente de velocidad es igual a la velocidad de deformación, entre las capas laminares se crea un flujo de fuerza mecánica (esfuerzo de cizalla) (Díaz, 2018).

1.5 Reología

La reología es la ciencia del flujo y la deformación, inventada por E. C. Bingham en 1928. Estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos plásticos, sustancias asfálticas y materiales cristalinos. Su estudio comprende la elasticidad, plasticidad y viscosidad; los fluidos reológicos entran en la clasificación de los fluidos no-Newtonianos, comprenden a la deformación y flujo de todos los materiales pastosos y de suspensiones (Bird *et al.*, 1982).

1.5.1 Reología en alimentos

Muchos productos en el mercado tienen una presentación en forma de geles como lo es el yogur, mayonesa, natillas, salsa entre otros. Se han realizado sistemas alimentarios que analizan estudios de investigación que corresponden a emulsiones, geles, hidrogeles, geles fluidos y geles rellenos de emulsión. El estudio de la gelificación de los biopolímeros es un modelo que vincula las propiedades reológicas con la estructura y textura de los alimentos (Upadhyay *et al.*, 2020).

La reometría realiza la medición de fluidez, fracturación y deformación de los materiales, brindando información cuantitativa de las propiedades mecánicas de los alimentos indicando texturas y selección de muestras para alguna evaluación (Joyner, 2018).

1.6 Antecedentes

Cabo *et al.* (2019), prepararon suspensiones para la elaboración de biopelículas a base de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) y yuca (*Manihot esculenta*) con diferentes concentraciones, manejaron glicerol como plastificante y se caracterizaron reológicamente en régimen rotacional. Las soluciones, mostraron un comportamiento no newtoniano con características dilatantes y un comportamiento de flujo mayor a 1 ajustándose al modelo de Herschel-Bulkley, mostrando la presencia de partículas en suspensión que fueron capaces de formar un biopolímero

a medida que se aumentó la viscosidad en función a la velocidad de corte (agitación).

Martinis *et al.* (2019), realizaron extracción de fécula de *colocasia esculenta* mediante la metodología acuosa, caracterizaron la fécula y la sometieron a una modificación física mediante la técnica de ultrasonidos utilizando diferentes amplitudes US 40, 50 y 60%. Donde se determinó que el tratamiento con ultrasonidos promovió una disminución de la ruptura de la tendencia a la retrogradación, especialmente para la menor amplitud de vibración (US 40%), esta amplitud sugiere una mayor resistencia al alcanzamiento durante el calentamiento y el enfriamiento de la pasta gelificada.

Tao *et al.* (2019), señalan que adquirieron las propiedades fisicoquímicas y de cocción de la fécula de trigo aislado de la masa amarilla alcalina utilizando carbonato de sodio (Na_2CO_3 ; $0 - 3.2 \frac{\text{g}}{100} \text{ g}$). en la incrementación de (Na_2CO_3). Como resultado se obtuvo que el hinchamiento incremento de 7.28 a 10.70 g/g, la difracción de rayos X no mostro cambios en los patrones cristalinos, sin embargo la cristalinidad relativa disminuyo del 30.11% al 23.13%. Los valores de la viscosidad y la temperatura de pegado en la fécula tratado con álcali aumentaron y disminuyeron con respectivamente. Los resultados de estos estudios proponen que el Na_2CO_3 afecta favorablemente en la estructura cristalina del granulo de la fécula, poder de hinchamiento, gelificación, propiedades de pegado, a las interacciones de fécula-gluten.

Barraza *et al.* (2020) trabajaron con cinco especies de papas nativas (*Solanum tuberosum*) var. Andígena: Águila, Breña, Manzana, Perla y Shuita. Su fécula de extraída con agua y continuas decantaciones, se caracterizaron mediante determinación de color, contenido de amilosa aparente, claridad, poder de hinchamiento y solubilidad, forma y tamaño de granulo, cristalinidad, espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier, propiedades térmicas, propiedades reológicas y texturales. De acuerdo a estos parámetros obtuvieron que la fécula de

Águila presentó el menor contenido de amilosa, el menor poder de hinchamiento y solubilidad; la fécula de manzana presentó temperaturas de gelificación altas. El estudio reológico de los geles de féculas se ajustó al modelo Herschel-Bulkley con un umbral de fluencia promedio de 57.2 Pa y un índice de consistencia promedio de 54.4 Pa.s"; por lo tanto el gel de la fécula de Perla presentó los mayores valores de firmeza, gomosidad, masticabilidad y cohesividad.

Martins *et al.* (2020), examinaron el efecto de la modificación física por ultrasonidos sobre las propiedades térmicas, pegado y características estructurales de fécula. Emplearon suspensiones de fécula (10% p/v) en agua destilada variando mediante una onda de ultrasonidos (Vibra-Cell 500 W, Sonics and Material Inc, USA, 20 kHz. Manejaron amplitudes diferentes 40% (US 40%), 50% (US 50%) y 60% (US 60%) con vibraciones de 30 minutos cada uno, utilizaron baño de hielo para evitar la gelificación de los gránulos. Gracias al análisis térmico observaron tres eventos principales la cual fue pérdida de masa en todas las muestras producido por la modificación adquiriendo un aumento en la estabilidad térmica así como también se adquirió una disminución de temperaturas de transición en el transcurso de la gelificación después de cada sonificación en las muestras, a sonificación aumento la viscosidad máxima y final en las muestras con modificación.

Murillo *et al.* (2020), estudiaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas extraída de dos especies de batata amarilla y morada. Las variables de la composición fisicoquímica fueron: (%) humedad, (%) cenizas, (%) proteínas y (%) Grasas. La composición funcional de la fécula de batata fue: viscosidad, temperatura de gelificación, Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad de agua y Poder de hinchamiento. La fécula obtenida de batata amarilla mostro mejor calidad con mayor contenido de fécula a diferencia de la batata morada la cual presentó una caracterización funcional de baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento, de acuerdo a la temperatura de gelificación ambas féculas de tubérculos pueden ser utilizadas en productos que requieran altas temperaturas. Estos valores son significativos para la industria alimentaria para ser

utilizados como espesantes, estabilizantes y gelificantes en alimentos refrigerados y congelados.

Feroz *et al.* (2021), valoraron la influencia de polisacáridos no amiláceos (Guar, Xantano, CMC, goma arábica) con diferentes concentraciones (0.2, 0.4, 0.6%) en el estudio de las propiedades fisicoquímicas de pegado y de gelificación de fécula de *colocasia esculenta*. La adición de goma Guar y Xantana redujo el poder de hinchamiento a temperaturas más altas, sin embargo la CMC mejoró en el poder de hinchamiento de la fécula de malanga, los estudios de gelificación mínima presentan a las gomas de Xantana y Guar siendo eficiente para la producción de un gel firme de 6-8% de concentración de la fécula. Las propiedades del pegado de la fécula fueron afectadas por todos los hidrocoloides y observaron que las gomas Guar y Xantana mejoraron al pico de viscosidad de la fécula aun tratando a las concentraciones más bajas.

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología experimental

La metodología para realizar esta investigación se presenta en la Figura 2.1, en la cual se puede observar el diagrama de bloques que describe por etapas los procedimientos que se llevaron a cabo durante la experimentación.

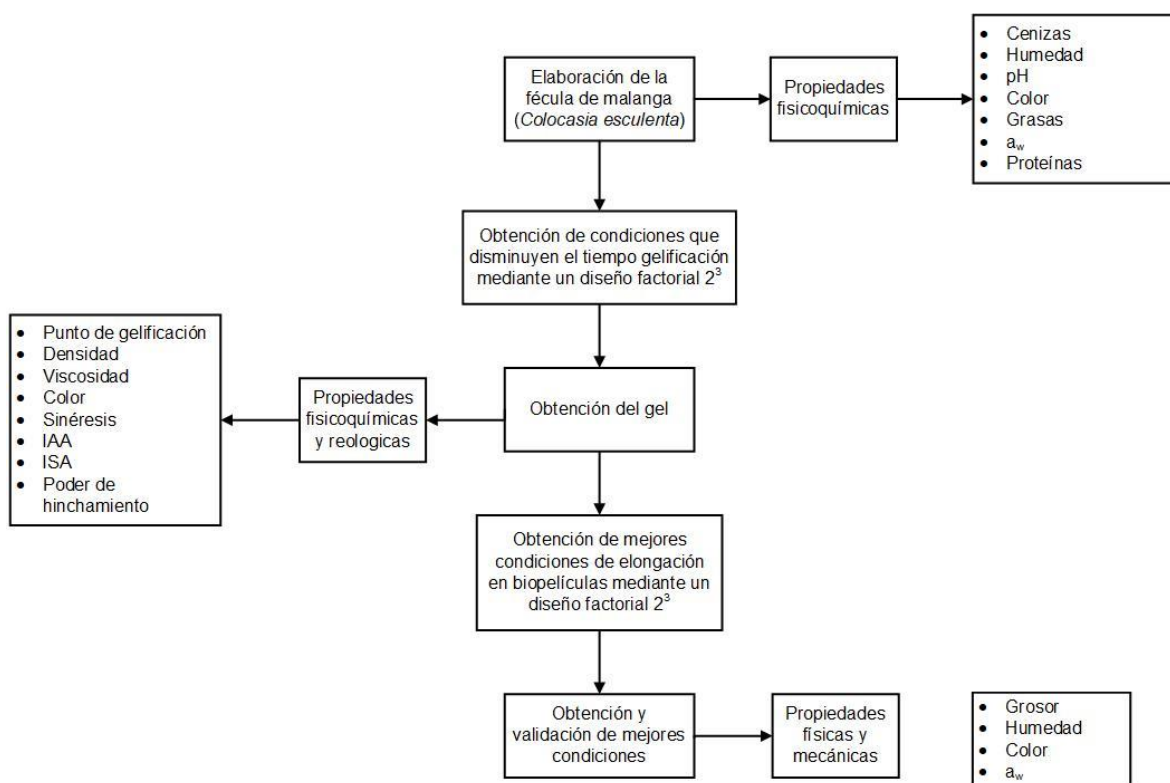


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología

2.2 Obtención de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*)

La metodología para la obtención de la fécula se llevó a cabo utilizando un procedimiento que inicia con la recolección de la malanga en zona de cultivo hasta la obtención de la muestra de fécula como se observa en la Figura 2.2.



Figura 2.2. Metodología para la elaboración de la fécula

2.2.1 Lugar de obtención

La materia prima para este estudio fue tubérculo de malanga (*Colocasia esculenta*) otorgada por el grupo “Productores de malanga CRS” ubicado en el municipio de Actopan, Veracruz, México, para llevar a cabo la presente investigación.

2.2.2 Muestra

Los tubérculos de malanga fueron utilizados para la obtención de fécula, los cuales estuvieron libres de daños físicos como pudriciones secas, crecimiento de colonias bacterias que provoquen decoloración en la materia prima y plagas.

2.2.3 Acondicionamiento de la muestra

Los tubérculos se lavaron a presión con agua fría y jabón neutro, con ayuda de un cepillo se eliminaron todas las impurezas para poder ser pelados, posteriormente se cortaron en trozos pequeños de 2-3 cm y se remojaron en una solución de ácido

cítrico al 0.03 % durante 2 horas de esta manera se evitó el obscurecimiento enzimático. Una vez transcurrido el tiempo establecido se llevó a cabo el proceso de reducción de tamaño de partículas del tubérculo empleado agua y se utilizó un extractor de zumo centrífugo (modelo Oster), el tiempo de mezclado de la molienda fue de 3 minutos con velocidades bajas (Alam, 2020).

2.2.4 Filtración

La mezcla se pasó por un colador convencional y se separó en 3 mallas de No. 100, 200 y 400 (0.150, 0.075 y 0.038 mm), en cada malla la mezcla se lavó con agua destilada hasta que el líquido no presentara turbidez, posteriormente la mezcla se dejó sedimentar durante 24 horas (Martínez, 2015). El sedimento de la mezcla del estudio contenía una gran cantidad de agua, por lo que se procedió a la eliminación de ese residuo utilizando una filtración a vacío utilizando una bomba de vacío de marca SIEMENS con motor monofásico C.A abierto prueba de goteo ARM. 56 (Portuguez *et al.*, 2020).

2.2.5 Secado

La fécula con menor cantidad de agua se sometió a un secado en un secador de charolas nivel planta piloto marca Polinox, modelo SEM-2, México a 45 °C durante 8 horas (Alam, 2020).

2.2.6 Trituración

La fécula seca sin presencia de agua se trituró en mortero con pistilo hasta obtener un polvo fino con pequeñas partículas de fécula.

2.2.7 Tamizado y almacenamiento

Se redujo el tamaño de partícula pasando la fécula por un tamiz con malla de No. 100 (0.150 mm), posteriormente se almaceno en bolsas de plástico con sello hermético.

2.3 Caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*)

Se realizó la caracterización fisicoquímica de la fécula para determinar sus propiedades y composición fisicoquímica. En la Tabla 2.1 se presentan los parámetros evaluados junto con su respectivo método de análisis.

Tabla 2.1. Caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*)

Parámetros	Unidad	Método
Cenizas	%	NMX-F-066-S-1978
Humedad	%	NMX-F-83-1986
pH	-	NOM-F-317-S-1978
Color	-	CIEL *a*b*
Grasas	%	NOM-086-SSA1-1994
a _w	-	AquaL *a*b*
Proteínas	-	NOM-F-68-S-1980

2.3.1 Determinación de cenizas

El parámetro de cenizas se determinó mediante la NMX-F-066-S-1978, donde se utilizó una capsula de porcelana a peso constante con 3 g de muestra. La capsula junto con la muestra se colocaron en una parrilla para quemarse lentamente hasta que ya no desprendiera humo. Posteriormente la capsula de porcelana se llevó a una mufla de marca Felisa modelo FE34 a 550 °C durante cinco horas, cuando la calcinación estuvo completa se pasó a un desecador para obtener un completo enfriamiento y determinar la masa de la capsula con cenizas .

El cálculo se determinó por la ecuación 2.1

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P-p)*100}{M} \quad (2.1)$$

Dónde P es la masa de la capsula con las cenizas (g), p es la masa de la capsula vacía (g) y M es la masa de la muestra (g).

2.3.2 Determinación de humedad

Para la determinación de humedad se pesó 2 g de muestra de fécula de malanga en una charola de aluminio y se colocó en una Termobalanza de halógeno marca Sartorius, modelo MA35, Alemania de esta forma al realizar su ciclo se obtuvo el contenido de humedad en términos de porcentaje de peso por desecación (% LOD).

2.3.3 Determinación de pH

En la determinación del pH se basó en la medición electromagnética de la actividad de los iones de hidrogeno presentes en una muestra, mediante un aparato medidor de pH (potenciómetro) (NOM-F-317-S-1978).

2.3.4 Determinación de Color

El color de la fécula se analizó con equipo colorímetro MiniScan XE plus, marca HunterLab, EUA. El equipo se o calibró mediante parámetros de $L^*=96.9$, $a^*0.04$ y $b^*1.84$. El color fue obtenido con base al espacio de color uniforme CIE- $L^*a^*b^*$ (CIE-Lab), hallando los parámetros de luminosidad (L^*), tonalidad (a^*) que son las coordenadas rojo a verde (+a rojo, -a verde), pureza (b^*) que son las coordenadas en un intervalo de color amarillo a azul (+b amarillo, -b azul) (Robayo, 2018), esto se puede observar en la Figura 2.3.

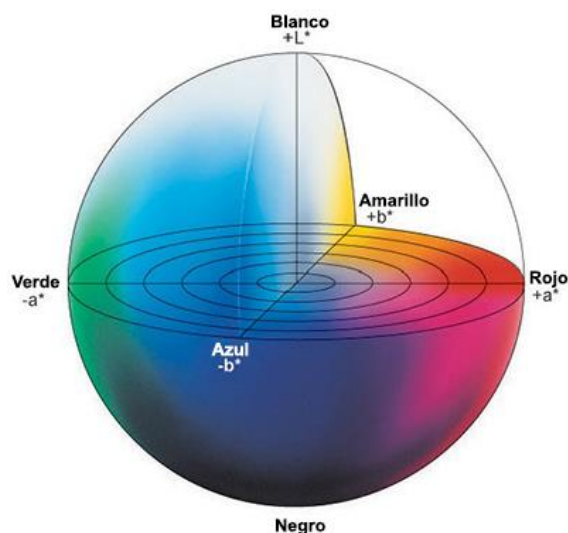


Figura 2.3 Parámetros CIE L*a*b*

2.3.5 Determinación de grasas

Para la determinación de grasas se pesó 2 g de muestra dentro de un cartucho de extracción. Se agregó suficiente éter hasta obtener de 2-3 descargas del extractor, posteriormente se conectó el refrigerante al extractor para hacer circular el agua y se calentó el matraz hasta adquirir un mínimo de condensación de 3-6 gotas por segundo. El proceso se realizó durante 6 horas, se quitó el extractor del matraz y se dejó caer gota a gota de éter, cuando se terminó la extracción se evaporó a baja temperatura el disolvente del matraz y se secó en una estufa a 100 °C hasta que se obtuvo peso constante, se dejó enfriar en un desecador y se pesó. Por último, el % de grasas se determinó mediante la ecuación 2.2 (NOM-086-SSA1-1994).

$$\% \text{ Grasas} = \frac{\text{Peso de muestra despues del secado en estufa}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad (2.2)$$

2.3.6 Determinación de actividad de agua (a_w)

Se determinó la actividad de agua de la fécula de malanga usando un equipo marca Aqualab serie 3 modelo te, usa, sometiendo 2 g de muestra a un tiempo de 10 minutos manteniendo una temperatura constante de 25°C

2.3.7 Determinación de proteínas

Las proteínas fueron determinadas mediante el método Kjeldahl, en el cual se obtuvo el porcentaje de nitrógeno en la muestra y posteriormente se adquiriere el porcentaje de proteínas utilizando la ecuación 2.3.

$$\%P = \%N * F \quad 2.3$$

Dónde %P es el porcentaje de proteínas, %N es el porcentaje de nitrógeno y F es el factor de conversión (6.25).

2.4 Preparación de las suspensiones de fécula de malanga, Carbonato de sodio y ultrasonido (FM-Na₂CO₃-Sonicación)

Se evaluaron las condiciones adecuadas para la obtención de la gelificación tomando en cuenta concentraciones de fécula de malanga y carbonato de sodio, además de las condiciones adecuadas para implementar ondas de ultrasonido.

2.4.1 Diseño de experimentos 2³ para suspensiones gelificadas (FM-Na₂CO₃-Sonicación)

Se utilizo un diseño factorial 2³ con dos replicas, con la finalidad de seleccionar las condiciones adecuadas para el proceso de gelificación como se muestra en la Tabla 2.2. La formulación de las suspensiones gelificadas se hizo a un volumen de 200 mL de agua, donde los factores fueron: (x₁) fécula de la malanga al 20-30 % de p/v, (x₂) concentración de Na₂CO₃ (10 y 20 % p/p) y (x₃) tiempo de sonicación (10-15 minutos) a una longitud de onda constante de 35% US. El diseño fue creado

y analizado en el software Minitab 2019, con la finalidad de conocer que factores afectan significativamente el punto de gelificación como variable de respuesta.

Tabla 2.2. Diseño de experimentos 2^3 para la formulación de suspensiones gelificadas

No.	Variables			Variables naturales		
	codificadas					
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
				Fécula (% de p/v)	Na_2CO_3 (% de p/p)	Sonicación (min)
1	-	-	-	2.0	10	10
2	+	-	-	3.0	10	10
3	-	+	-	2.0	20	10
4	+	+	-	3.0	20	10
5	-	-	+	2.0	10	15
6	+	-	+	3.0	10	15
7	-	+	+	2.0	20	15
8	+	+	+	3.0	20	15

2.5 Caracterización fisicoquímica y reológica del gel

Para determinar la composición de la gelificación se realiza un análisis fisicoquímico y reológico, los parámetros a analizar son: temperatura de gelificación, color, densidad índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento, viscosidad aparente y sinéresis.

2.5.1 Temperatura de gelificación

La temperatura de gelificación fue determinada mediante las concentraciones de las suspensiones de (FM- Na_2CO_3 -US) en un volumen de 200 mL de agua destilada, Las suspensiones se calentaron durante 30 minutos en un baño termostático con agitación magnética, la temperatura de gelificación se alcanzó cuando los gránulos

de la fécula suspendida comenzaron a fracturarse (Pachau et al., 2018), el proceso se muestra en la Figura 2.4.

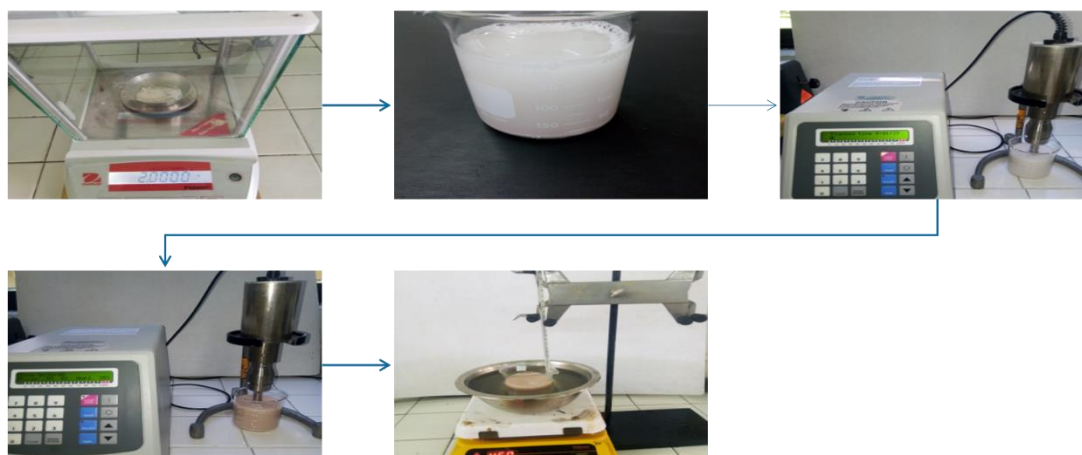


Figura 2.4 Proceso de para determinar la temperatura de gelificación

2.5.2 Color del gel

Para la determinación de color de gelificación de las suspensiones de FM- Na_2CO_3 -US, se utilizaron los parámetros L^* , a^* , b^* utilizando un equipo colorimétrico HunterLab ColorQuetsX Diffuse/8 Sphere Spectrometer. Cada muestra se midió dos veces en paralelo en cajas Petri cubiertas con una placa de vidrio transparente, de acuerdo a los valores de L^* , a^* y b^* se midió la blancura de la gelificación utilizando como referencia blanco y negro.

2.5.3 Densidad

La densidad se determinó con la ayuda de un densímetro de marca Robsan. Se tomó 150 mL de las muestras gelificadas y se colocó en una probeta de 250 mL, posteriormente se sumergió el densímetro de forma vertical sin tocar la pared dejándolo estable para tomar el valor de la escala Baumé ($^{\circ}\text{Bé}$) marcado por la muestra. Para determinar el parámetro de densidad de toma en cuenta la ecuación 2.4 (NMX-V-024-1972).

$$\rho = \frac{145}{(145-B)} \quad (2.4)$$

Dónde ρ es la densidad (g/cm³) y B es el valor de la escala Baumé.

2.5.4 Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad de agua y Poder de hinchamiento

Se tomo muestra de las suspensiones gelificadas, el gel se enfrió a 25 °C y se colocaron en tubos cerrados, posteriormente se llevaron a centrifugación a 4900 rpm durante 30 minutos utilizando una centrifuga VE-4000. El sobrenadante se decantó y se midió su volumen, el sobrenadante se secó en una estufa durante 12 horas a 70 °C. (Hurtado *et al.*, 2019).

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) bs}} \quad (2.4)$$

$$\text{Índice de solubilidad de agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} * V * 10}{\text{Peso muestra (g) bs}} \quad (2.5)$$

$$\text{Poder de hinchamiento} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) bs} - \text{Peso solubles (g)}} \quad (2.6)$$

2.5.5 Viscosidad aparente

La viscosidad de las suspensiones gelificadas, se determinó en un Rapid Visco Analyzer, siendo sometidas a ciclos de calentamiento y enfriamiento consistentes en 50 °C durante un minuto, calentamiento de 50 a 90 °C en 3 min, mantenimiento a 95 °C durante 2 min, luego enfriamiento a 50 °C en 3 min y mantenimiento a 50 °C durante 2 min (Tin, 2008). La velocidad de las paletas se fijó en 960 rpm durante los primero 10 minutos y 160 durante el resto del análisis y se determinó mediante la ecuación 2.7.

$$\text{Viscosidad aparente} = \left(\frac{BD}{PV} \right) * 100 \quad (2.7)$$

Dónde PV es la viscosidad pico (cP) y BD es la viscosidad de ruptura (cP).

2.5.6 Sinéresis

Se determino la sinéresis de las muestras gelificadas, siendo llevadas a un almacenamiento de 4 °C durante 7 días (168 h),. Las mediciones se realizaron en los días 1, 2, 3, 4 y 7, los geles se mantuvieron a 25 °C durante 2 h, posteriormente se centrifugaron a 5175 g durante 10 minutos a 25 °C. Se peso el contenido de la muestra y se calculó el porcentaje de agua liberada (Calle *et al.*, 2019).

2.6 Elaboración de biopelículas a partir de suspensiones gelificadas (FM-Na₂CO₃-Sonicación)

Se evaluaron las condiciones adecuadas para la obtención de las biopelículas tomando en cuenta las muestras a menor punto de gelificación, concentración del plastificante y las condiciones de calentamiento para tener un adecuado proceso de cocción.

2.6.1 Diseño de experimentos 2³ para suspensiones gelificadas de biopelículas (SGB)

Las suspensiones obtenidas con menor punto de gelificación fueron utilizadas para realizar un diseño factorial 2³, el cual se llevó a cabo en un volumen 50 mL de agua destilada. Los factores que se utilizaron fueron (x₁) suspensión 1 y 2, (x₂) glicerol a un 25-35 % p/p con respecto a la fécula y (x₃) temperatura de calentamiento de 80-90 °C por 15 min.

Tabla 2.3. Diseño de experimentos 2^3 para la formulación de biopelículas

No.	Variables codificadas			Variables naturales		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
				Suspensión	Glicerol (% de p/p)	Temperatura °C
1	-	-	-	1	25	80
2	+	-	-	2	25	80
3	-	+	-	1	35	80
4	+	+	-	2	35	80
5	-	-	+	1	25	90
6	+	-	+	2	25	90
7	-	+	+	1	35	90
8	+	+	+	2	35	90

2.6.2 Validación experimental de las mejores condiciones de operación

Teniendo la formulación del diseño factorial 2^3 se llevó a cabo la homogenización de la mezcla de los factores (x_1 , x_2 y x_3). Se utilizó una agitación continua a un calentamiento de 78 °C, durante 10 minutos obteniendo una pasta viscosa. Se utilizó 25 mL de la mezcla, llevándola a cocción en un secador de charolas marca Polinox, modelo SEM-2, México, a 30 °C durante 24 horas. Finalmente se dejaron enfriar en un desecador durante 4 h para hacer pruebas mecánicas de elongación, el proceso se muestra en la Figura 2.5.

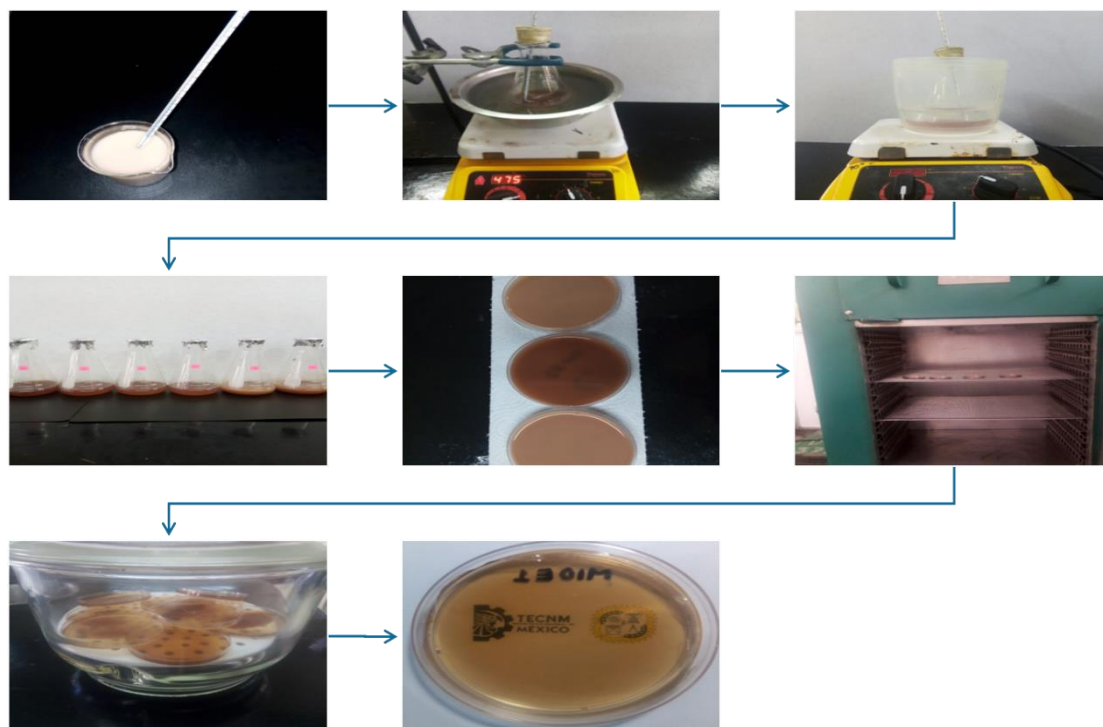


Figura 2.5 Proceso de elaboración de biopelículas

2.7 Parámetros fisicoquímicos de la biopelícula

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos de la biopelícula a partir de las suspensiones gelificadas de biopolímeros (SGP) mostrados en la Tabla 2.1.

2.7.1 Elongación

Para esta prueba se utilizó un texturómetro (Testometric 220D) y las ecuaciones 2.5-2.6, para esta determinación se utilizaron probetas a base de biopelículas de 2 cm de ancho por 6 cm de largo determinados mediante la norma ASTM D790-03 (largo, ancho y espesor).

Las ecuaciones a utilizar para la determinación de elongación son las siguientes:

$$\varepsilon_{(elongación)} = \frac{l_o - l_f}{l_f} \quad (2.5)$$

$$\% n = \frac{l_o - l_f}{l_f} * 100\% \quad (2.6)$$

Dónde, ε es la elongación de la probeta (mm/mm), n es el porcentaje de elongación o deformación de la probeta (%), l_o la longitud inicial (mm) y l_f la longitud final (mm).

2.7.3 Humedad

Para la determinación de la humedad de la biopelícula se pesó 2 g de muestra en una charola de aluminio colocándola en una Termobalanza de halógeno marca Sartorius, modelo MA35, Alemania obteniendo el valor de porcentaje en peso por desecación (% LOD).

2.7.6 Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua (a_w) de la biopelícula se midió en un analizador Aqualab serie 3 modelo TE, USA a 25 °C. Se utilizó una fracción de la biopelícula con un tamaño de 3 cm x 3 cm durante un tiempo de 10 minutos. Donde el equipo determina los sensores de punto de rocío y la muestra genera un equilibrio en la cámara de cerrada la cual contiene un espejo que detecta la condensación dentro del equipo (Ahumada, 2019).

2.7.5 Prueba colorimétrica

El color de la biopelícula se determinó con un colorímetro MiniScan XE plus, marca HunterLab, EUA. Se colocó un fragmento de la biopelícula de tamaño 2 cm x 2 cm y se colocó en una base color blanca para su calibración ($L^*=96.9$, $a^*0.04$ y $b^*1.84$) utilizando la escala CIE- $L^*a^*b^*$ (Escobar, 2020). La deferencia de color entre las biopelículas se determinó mediante una comparación numérica de las muestras mediante un estándar conocido como ΔE , el cual es encargado de indicar la magnitud de diferencia de color. El estándar del color (ΔE) se calcula mediante la ecuación (2.7).

$$\Delta E = ((L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2)^{1/2} \quad (2.7)$$

2.7.2 Grosor

El grosor de la biopelícula fue determinado por un micrómetro marca Mitutoyo modelo iP65 Coolant Proof, utilizando un rango de 0-1 in.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*)

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*)

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	%	0.88 ± 0.21
Humedad	%	12.26 ± 0.19
pH	-	5.17 ± 0
Color		
L*	-	68.41 ± 1.15
a*	-	0.68 ± 0.30
b*	-	6.19 ± 0.67
Grasas	%	0.04 ± 0.0025
a _w	-	0.52 ± 0.09
Proteínas	%	3.08 ± 0.46

3.1.1. Cenizas

El valor del porcentaje de cenizas fue 0.88 ± 0.21 , indicando los materiales residuales que quedan después de la ignición. Los estudios reportados por Espín *et al.* (2020) nos dicen que el porcentaje de cenizas de jícama fue de 0.89% siendo un valor cercano al porcentaje de cenizas de malanga; sin embargo otras investigaciones han obtenido valores bajos, tal es el caso de Murillo *et al.* (2020), quienes obtuvieron valores bajos de cenizas en batata morada con 0.32 % y batata amarilla con 0.38 %; por otro lado Cabo *et al.* (2019) obtuvo un 0.29 % de cenizas

en yuca (*Manihot esculenta*), este valor es inferior al de malanga al igual que la batata morada y amarilla.

3.1.2 Determinación de humedad

El contenido de humedad en la fécula de malanga fue de 12.26 ± 0.19 , considerado bajo de acuerdo al estándar de los valores reportados por Vera y Chavarría (2020) quienes estudiaron la humedad de la papa leona blanca con un valor de 12.66 %, mientras que Pimentel *et al.* (2018) obtuvo el 77.56% de humedad de rizomas de *Curcuma longa* L.

3.1.3. Determinación de pH

Se obtuvo un pH de 5.17 ± 0 , debido a que la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) es de carácter ácido y es cercano a los ya reportados por Manunga *et al.* (2020), los cuales estudiaron la fécula de yuca cultivada en regiones diferentes en el municipio de Malanje Angola obteniendo un de pH 6.19 en la región de Chawande, en la región de Shoprite un pH de 6.13 y en el mercado municipal un pH de 5.22, los valores fueron diferentes debido a las propiedades del suelo en los cuales se llevó a cabo el cultivo de los tubérculos de yuca.

3.1.4. Determinación de color

Los parámetros de color de la fécula de malanga fueron de L^* (luminosidad) 68.41 ± 1.15 comparando los valores de blancura, a^* (tonalidad) 0.68 ± 0.30 y b^* (pureza) 6.19 ± 0.67 estos dos últimos indican un color ligeramente amarillo; por otra parte Peraza *et al.* (2022) estudiaron el color de la fécula de jícama (*Pachyrhizus erosus*) con valores de L^* 74.6, a^* -1.87 y b^* 8.7 ; Ordaz *et al.* (2021) analizó el color de la fécula de jengibre (*Zingiber officinale*) joven y madura, la primera obtuvo una L^* 22.92, a^* 2.40 y b^* 16.84 indicando un color amarillo claro brillante mientras que la

segunda presento una L^* 18.20, a^* 4.55 y b^* 14.51 presentando un color amarillo oscuro y opaco.

3.1.5. Determinación de grasas

El resultado del análisis del parámetro de grasas fue de 0.446 ± 0.0025 , el porcentaje fue bajo, sin embargo es aceptable con respecto a los valores obtenidos por González *et al.* (2020) quien valoró el contenido de grasas en fécula de malanga blanca obtenida por el método de extracción de ácido cítrico con 0.42% y el método de extracción de agua destilada con 0.45% de grasas; sin embargo Púa *et al.* (2019), determinaron los valores de grasas en camote con 0.11%, papa criolla con 0.18% y Ñame con 0.21%, estos valores son bajos en comparación a los de malanga (*Colocasia esculenta*). Por otra parte, se ha estudiado que las grasas de los tubérculos tienden a ser bajos en comparación al contenido de grasas en cereales y por ello Pereyra *et al.* (2018) obtuvo 0.68% de grasas en arroz modificado.

3.1.6. Determinación de actividad de agua (a_w)

La a_w de la fécula de malanga fue de 0.52 ± 0.09 , lo cual indica que tuvo un adecuado proceso de secado y al ser un valor inferior a 0.6 no tendrá un crecimiento bacteriano; otros estudios como el de Lerma *et al.* (2021) estudio la fécula de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) dando un valor de actividad de agua de 0.76; así como también Pimentel *et al.* (2018) estudió la a_w de los rizomas de *Curcuma longa* L obteniendo un valor de 0.98, de acuerdo a estos resultados habrá una presencia de crecimiento bacteriano para ambos estudios.

3.1.7. Determinación de proteínas

En el parámetro de proteínas se obtuvo un porcentaje de 3.08 ± 0.46 , este valor nos dice que el contenido de proteínas actúa como material de pegado. El valor obtenido de proteínas en el estudio está en el rango estudiado por Espín *et al.* (2020), donde analiza las proteínas de raíces y tubérculos andinos como a la jícama con 3.73%, Oca con 4.60%, zanahoria blanca con 5.43% y Achira con 4.43%.

3.2 Resultados de la gelificación (FM- Na_2CO_3 -Sonicación) y análisis de varianza del diseño de experimentos 2³

En la Tabla 3.2 se muestran los factores estudiados del diseño de experimentos para la elaboración de las suspensiones gelificadas y la variable de respuesta (punto de gelificación).

Tabla 3.2. Resultado del diseño de experimentos 2³ para la formulación de suspensiones gelificadas (FM- Na_2CO_3 -Sonicación)

No.	Fécula (% de p/v)	Na_2CO_3 (% de p/p)	Sonicación (min)	Punto de gelificación (min)
1	2.0	10	10	15.47 ± 0.106
2	3.0	10	10	16.40 ± 0.141
3	2.0	20	10	16.25 ± 0.353
4	3.0	20	10	17.25 ± 0.355
5	2.0	10	15	14.10 ± 0.144
6	3.0	10	15	19.35 ± 0.212
7	2.0	20	15	19.0 ± 0
8	3.0	20	15	12.45 ± 0.070

En el análisis de varianza (ANOVA) mostrado en la Tabla 3.3 es obtenido a partir de las condiciones de las suspensiones gelificadas, en la cual se aprecian los factores significativos que afectan a la variable de respuesta siendo esta el tiempo de gelificación. De acuerdo al ANOVA se observa que las interacciones entre los

factores afectan al proceso, obteniendo un ajuste de R^2 de 99.54 % lo que indica que los datos de la experimentación se ajustan adecuadamente al diseño obteniendo un modelo de primer orden (ec. 3.1).

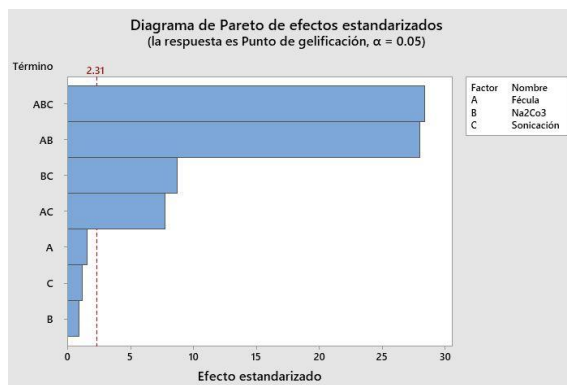
$$\begin{aligned} \text{Punto de gelificación} = & 88.80 - 31.55 X_1 - 5.513 X_2 - 7.580 X_3 + 2.382 X_1 * X_2 + \\ & 3.240 X_1 * X_3 + 0.5575 X_2 * X_3 - 0.23750 X_1 * X_2 * X_3 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Tabla 3.3 Análisis de varianza de las suspensiones gelificadas

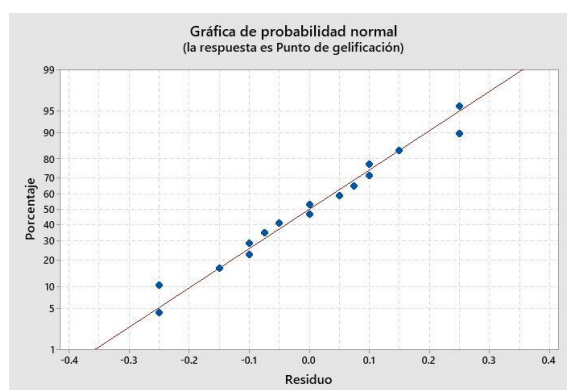
Fuente	GL	SC Ajuste	MC Ajuste	Valor F	Valor p
Modelo	7	75.6973	10.8139	246.30	0.000
Lineal	3	0.1892	0.0631	1.44	0.302
Fécula	1	0.0977	0.0977	2.22	0.174
Na ₂ CO ₃	1	0.0352	0.0352	0.80	0.397
Sonicación	1	0.0564	0.0564	1.28	0.290
Interacciones de 2 términos	3	40.2542	13.4181	305.61	0.000
Fécula*Na ₂ CO ₃	1	34.3689	34.3689	782.78	0.000
Fécula*Sonicación	1	2.6002	2.6002	59.22	0.000
Na ₂ CO ₃ *Sonicación	1	3.2852	3.2852	74.82	0.000
Interacciones de 3 términos	1	35.2539	35.2539	802.94	0.000
Fécula*Na ₂ CO ₃ *Sonicación	1	35.2539	35.2539	802.94	0.000
Error	8	0.3513	0.0439		
Total	15	76.0486			

Los efectos absolutos de las variables independientes que afectan a la respuesta se muestran en el diagrama de Pareto presentado en la Figura 3.1 en donde se puede observar los efectos que son significativos son las interacciones de los factores ABC, AB, BC y AC ya que cruzan la línea de referencia 2.31, estos factores son estadísticamente significativos, cabe mencionar que las interacciones que sobresalen en el diagrama de Pareto son ABC (Fécula-Na₂CO₃-Sonicación) y AB (Fécula-Na₂CO₃) ya que sus efectos son más grandes en comparación a BC (Na₂CO₃-Sonicación) y AC (Fécula-Sonicación). Los datos del diseño de

experimentos siguen una distribución normal, debido a que los datos se ajustan al modelo estadístico lineal, se cómo se observa en la Figura 3.1 b.



a)



b)

Figura 3.1. a) Diagrama de Pareto de efectos estandarizados y b) gráfica de probabilidad normal.

En la Figura 3.2 se muestran la gráfica de interacción de los tres factores para el punto de gelificación, en la cual se observa que la interacción que presenta mayor significancia en la gelificación es AB (Fécula-Na₂CO₃).

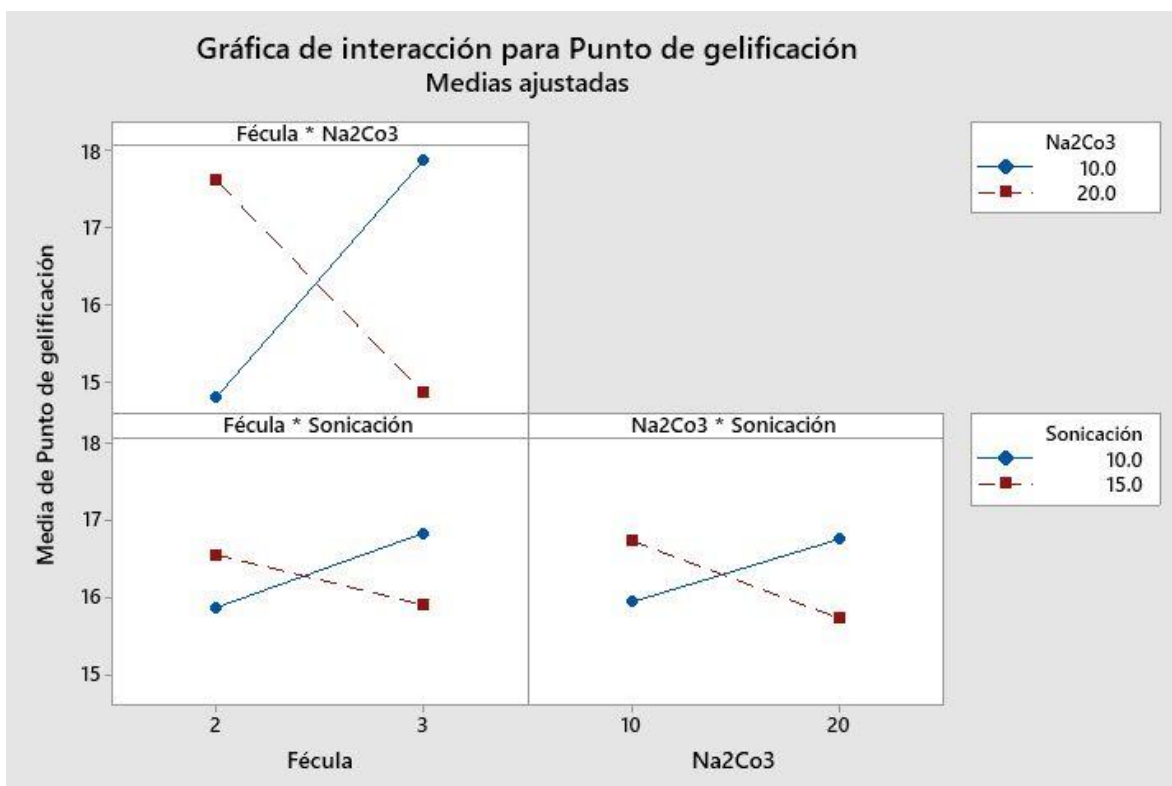


Figura 3.2. Gráfica de iteraciones para punto de gelificación

En la Figura 3.3 se presentan las gráficas de optimización obtenidas de la herramienta minimizar de Minitab18®, mostrando las condiciones de operación en dos muestras para disminuir el punto de gelificación. Para la muestra 1 (Figura 3.2 a), se obtuvo un punto de gelificación de 14.10 minutos obtenido de las siguientes condiciones: 2 % de p/v de fécula de malanga, 10 % de p/p de Na₂CO₃ con respecto a la fécula y un tiempo de sonicación de 15 minutos a 35 % de longitud de onda. Para la muestra 2 (Figura 3.2 b) se tuvo un punto de gelificación de 12.45 minutos (menor que el de la muestra 1) obtenido de las siguientes condiciones: 3 % de p/v de fécula de malanga, 20 % de p/p de Na₂CO₃ con respecto a la fécula y un tiempo de sonicación de 15 minutos a 35 % de longitud de onda.

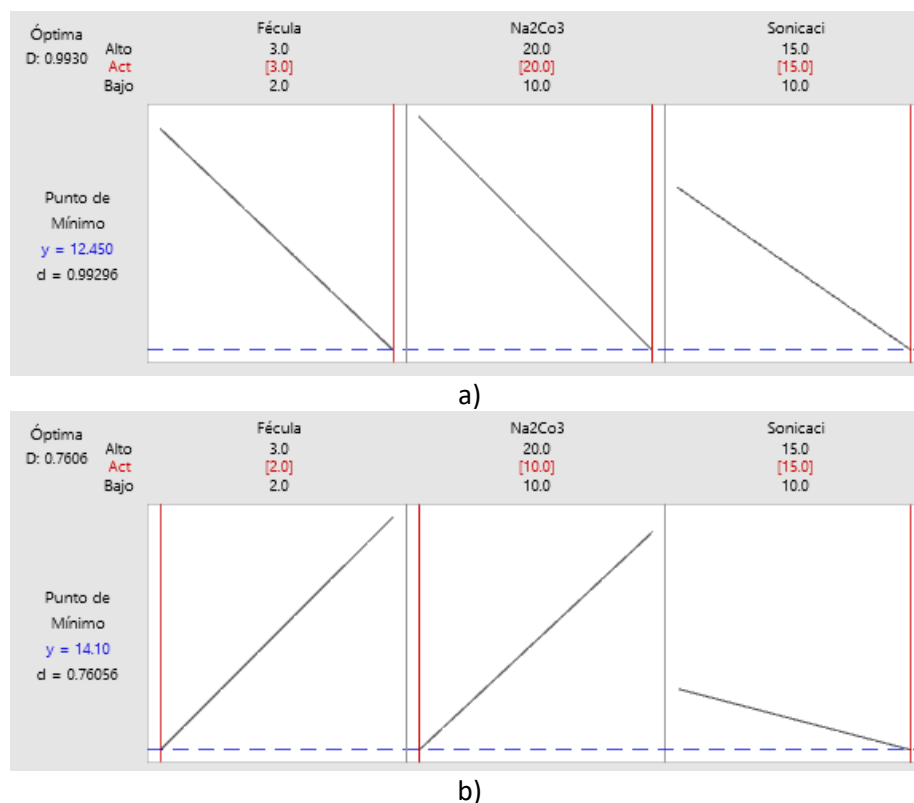


Figura 3.3. Concentraciones y condiciones del punto de gelificación en las muestras 1 a) y muestra 2 b)

3.3 Resultados de la caracterización fisicoquímica del gel

Los valores de la caracterización fisicoquímica del gel obtenido de las suspensiones gelificadas de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*), Na₂CO₃ y Sonicación se muestran en la Tabla 3.4, donde se analizó la muestra 1 del experimento 5 y la muestra 2 del experimento 8. Los resultados del análisis de la gelificación obtenidos del diseño factorial 2³ se encuentran en el anexo A.

Tabla 3.4 Resultados de la caracterización fisicoquímica del gel

Parámetros	Unidad	Muestra 1 (Exp. 5)	Muestra 2 (Exp. 8)
Temperatura de gelificación	°C	78	79
Color del gel	L*	11.39 ± 0.19	12.45 ± 0.12
	a*	1.25 ± 0.04	0.86 ± 0.01
	b*	3.01 ± 0.21	3.55 ± 0.03
Densidad	g/m ³	1.26 ± 0.05	1.29 ± 0.03
Índice de absorción de agua	-	0.18 ± 0.05	0.16 ± 0.08
Índice de solubilidad de agua	%	8.0 ± 0.01	6.0 ± 0.01
Poder de hinchamiento	%	1.02 ± 0.06	1.01 ± 0.03
Viscosidad aparente	cP	4015 ± 2	4011 ± 2
Sinéresis	%	34.1 ± 0.08	31 ± 0.12

3.3.1 Temperatura de gelificación

La temperatura de gelificación fracturó al granulo de fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) suspendido en agua, en el presente granulo la temperatura de gelificación en la muestra 1 fue de 78 °C y en la muestra 2 fue de 79 °C el comportamiento de la temperatura de gelificación se muestra en la Figura 3.4.

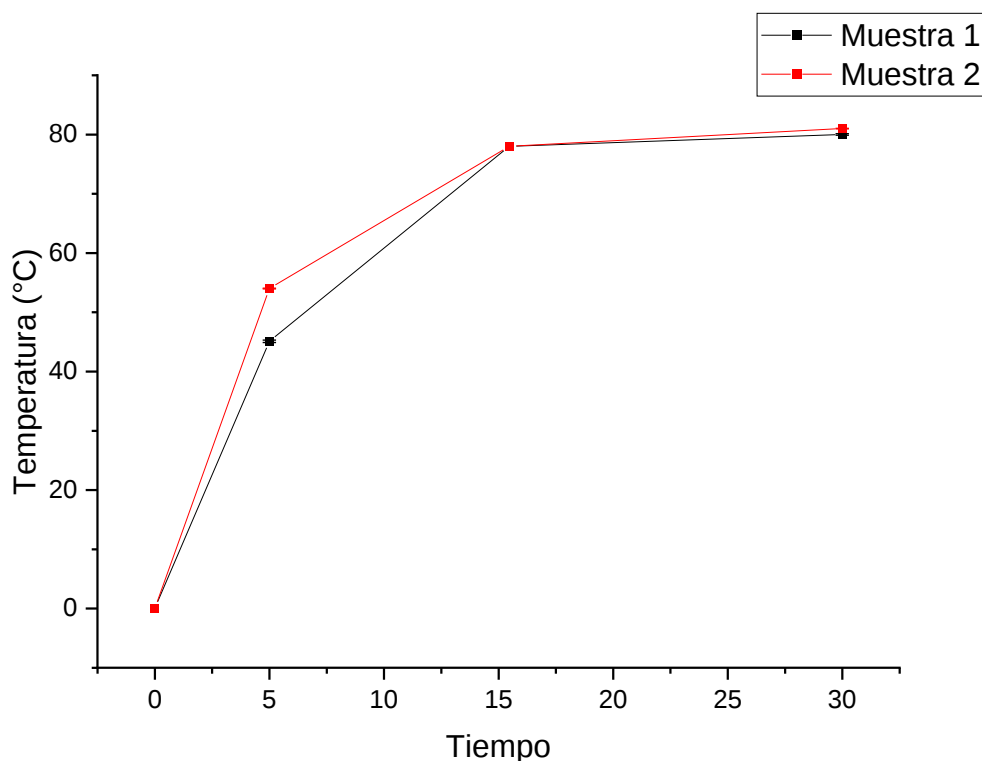


Figura 3.4. Temperatura de gelificación en las muestras 1 y 2

En la Tabla 3.5 se observa la variación de aumento de temperatura en la gelificación teniendo temperatura inicial (T_i), temperatura pico de gelificación (T_p), temperatura final (T_f), y entalpía de gelificación ΔH_g de las muestras gelificadas en este estudio y comparadas con las de otros autores. Alvis (2018) determinó que la temperatura de gelificación en la fécula de tubérculos será baja a comparación de la temperatura de gelificación en almidón de cereales, debido a que el gránulo de la fécula se absorbe ágilmente en agua gracias al debilitamiento entre las fuerzas de atracción de las moléculas poliméricas (amilosa/amilopectina), la amilopectina tiene poca disposición en el gránulo y una alta presencia de regiones cristalinas dentro del granulo para utilizar menor temperatura en el calentamiento.

Calle *et al.* (2020) reportaron la temperatura de gelificación de *Colocasia Xanthosoma sagittifolium* (L) a 84.78 ± 0.12 °C siendo mayor a la obtenida del género (*Colocasia esculenta*). De acuerdo a los datos obtenidos por otros autores,

la malanga (*colocasia esculenta*) tiene una mayor estabilidad en la ruptura de sus gránulos alcanzando temperaturas más altas en comparación a los estudios de Martínez *et al.* (2019) quienes analizaron la papa (*Solanum tuberosum*) determinando su temperatura de gelificación a 65.79 ± 0.25 °C; Andrade *et al.* (2017) estudiaron la temperatura de gelificación de ñame a 71.63 ± 0.09 °C; Velásquez (2019) determinó la temperatura de gelificación de mashua amarilla a 61.02 ± 0.08 , oca amarilla a 61.47 ± 0.39 , oca rosada a 62.48 ± 0.23 y 61.90 ± 0.60 .

Tabla 3.5 Resultados temperatura de gelificación

Tubérculo	T _i (°C)	T _p (°C)	T _f (°C)	Δ _{Hg} (J/g)*
Muestra 1	45.10 ± 0.20	78.0 ± 0	80 ± 0.12	15.35 ± 0.14
Muestra 2	54.0 ± 0.05	78.0 ± 0	81 ± 0.04	15.18 ± 0.21
Colocasia (Xanthosoma)	77.46 ± 0.21	84.78 ± 0.12	93.99 ± 0.30	16.54 ± 0.68
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	62.28 ± 0.26	65.79 ± 0.25	72.44 ± 0.26	15.16 ± 0.18
Ñame	62.54 ± 0.10	71.63 ± 0.09	78.36 ± 0.01	68.28 ± 0.10
Mashua amarilla	57.35 ± 0.20	61.02 ± 0.08	72.98 ± 0.15	14.31 ± 0.08
Oca amarilla	57.44 ± 0.60	61.47 ± 0.39	68.64 ± 0.28	12.93 ± 0.69
Oca rosada	57.81 ± 0.57	62.48 ± 0.23	69.12 ± 0.36	12.99 ± 0.31
Olluco amarillo7.	58.02 ± 0.94	61.90 ± 0.60	67.24 ± 0.21	13.26 ± 0.53

3.3.2 Color del del gel

El color del gel obtenido de la muestra 1 y muestra 2 fue de naranja cercano al café, esto es debido a que los filamentos de color en el granulo se liberan completamente gracias a la adición de Na₂CO₃, a las ondas de sonicación y a la temperatura en la cual se somete la gelificación. Los valores de luminosidad (L*) son bajos, amarillez (a*) son valores positivos-bajos y por último la blancura (b*) es positiva-baja, los

parámetros de color en la primera muestra fueron de $L^* 11.39 \pm 0.19$, $a^* 1.25 \pm 0.04$ y $b^* 3.01 \pm 0.21$, en cambio los parámetros de color en la muestra dos fueron de $L^* 12.45 \pm 0.12$, $a^* 0.86 \pm 0.01$ y $b^* 3.55 \pm 0.03$. Los valores en ambas muestras son ligeramente cercanos, ya que el color en cada una va a aumentar o a disminuir debido a la concentración de fécula que halla en cada una; En el estudio de Liu *et al.* (2014) analizaron el color de muestras gelificadas con dos tipos de almidón (patata y maíz) en combinación con surimi para saber cuál tenía mayor blancura, ellos obtuvieron que el gel de patata con surimi tenía valores de $L^* 77.16 \pm 0.62$, $a^* 5.05 \pm 0.50$ y $b^* 62 \pm 0.65$ sin embargo la combinación de maíz con surimi mostraba valores de 78.05 ± 0.65 , $a^* 6.36 \pm 0.32$ y $b^* 58.97 \pm 0.33$. De acuerdo a lo obtenido determinaron que la blancura en b^* era mayor en la combinación de patata con surimi, esto ayudaba a que la aplicación del gel tuviera mayor eficacia.

3.3.3 Densidad

La densidad de las suspensiones gelificadas de la fécula de malanga en la muestra 1 fue de $1.26 \pm 0.05 \text{ g/m}^3$ y para la muestra 2 fue de $1.29 \pm 0.03 \text{ g/m}^3$. Los valores obtenidos de densidad de las muestras se encuentran en el rango de estudios de otros autores como Andrade *et al.* (2017), quienes determinaron la densidad de la fécula de ñame tiene un valor de $1.46 \pm 0.02 \text{ g/m}^3$; Valverde *et al.* (2017) estudiaron la densidad de papa a $0.63 \pm 0.04 \text{ g/m}^3$, el camote a $0.67 \pm 0.04 \text{ g/m}^3$ y yuca (*Manihot esculenta*) a 0.49 ± 0.02 .

3.3.4 Índice de absorción de agua (IAA), poder de hinchamiento (PHI) y índice de solubilidad en agua (ISA)

En la Tabla 3.6 se presentan los valores de Índice de absorción de agua, poder de hinchamiento (H_2O /gramo de fécula) y la solubilidad en agua (gramos de muestra/100 mL H_2O en gránulos de fécula).

Tabla 3.6 Resultados de IAA, PHI e ISA

Muestra	IAA g H₂O/g	PHI g/100 mL	ISA g H₂O/g
Muestra 1	0.18 ± 0.05	1.02 ± 0.06	8.0 ± 0.01
Muestra 2	0.16 ± 0.05	1.01 ± 0.03	6.0 ± 0.01
Papa china	2.76 ± 0.08	2.79 ± 0.15	0.13 ± 0.24
Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	2.24 ± 0.11	2.25 ± 0.18	2.33 ± 0.09
Arracacha (<i>Arracacia</i> <i>Xanthorrhiza</i>)	2.38 ± 0.23	2.21 ± 0.33	1.61 ± 0.14
Papa china	2.76 ± 0.08	2.79 ± 0.15	0.13 ± 0.24
Guanábana (asistido con Sonicación)	0.0613 ± 0.00	0.0612 ± 0.00	0.0193 ± 0.05

Los valores de IAA, PHI e ISA son muy similares en las muestras gelificadas 1 y 2 con FM-Na₂CO₃ y Sonicación, estos son bajos debido a su grado de ramificación en el gránulo de fécula de malanga. Otros estudios han hecho investigaciones en diferentes féculas y tratamientos de tubérculos mostrados en la Tabla 3.5; Hurtado *et al.* (2019) estudiaron la fécula de papa china obteniendo valores muy cercanos a las muestras 1 y 2 de malanga, en estos valores hay una relación en el IAA y el PHI gracias a que tienen un alto valor en la amilosa y una baja temperatura de calentamiento. Sin embargo en el ISA hubo una diferencia significativa gracias a la estructura molecular, regiones cristalinas y amorfas de los gránulos en féculas; Salas (2018) estudió la fécula de yuca (*Manihot esculenta*) y Arracacha (*Arracacia Xanthorrhiza*) obteniendo valores altos en IAA, PHI e ISA en comparación a los valores de las muestras 1 y 2 de malanga, debido a que utilizaron una temperatura de calentamiento por encima al punto de gelificación y de esta manera aumentó la entrada de agua en la estructura amorfa de los gránulos; Ramírez (2020) estudio la guanábana utilizando sonicación de ondas de ultrasonido a una potencia de 150 W

durante 10 minutos dando valores bajos en comparación a las muestras gelificadas de fécula de malanga- Na_2CO_3 y sonicación gracias a que el tamaño de los gránulos de guanábana son más pequeños a los de malanga.

3.3.5 Viscosidad

En la Figura 3.5 se muestra perfil de viscosidad de las muestras gelificadas 1 y 2 ocurridas en el proceso de viscosidad máxima, de ruptura y de enfriamiento. El resultado de la viscosidad máxima de las suspensiones gelificadas con fécula de malanga, Na_2CO_3 y sonicación fueron de 3520 ± 0.13 en la muestra 1 y 3650 ± 0.02 en la muestra 2, estos valores fueron altos debido a la que la adición del Na_2CO_3 ayudó a romper los enlaces de los gránulos incorporándose en regiones amorfas y de esta forma el gránulo tuvo mayor hinchamiento. La amplitud de sonicación (15%) ayudó a tener una resistencia significativa al cizallamiento ocurrida en el calentamiento y en el cambio de temperatura al enfriarse.

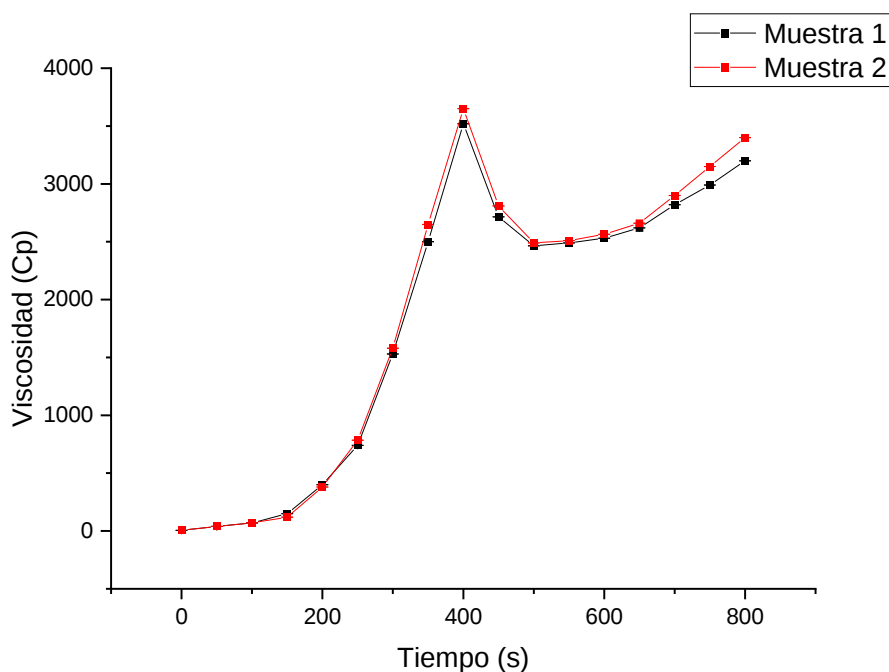


Figura 3.5. Perfil de viscosidad de las muestras gelificadas

La viscosidad de ruptura y de retroceso se muestran en la Tabla 3.7, ambas muestras fueron significativas al tener un valor más alto en comparación a la de otros autores: Tao *et al.* (2019) estudiaron la viscosidad máxima de almidón de trigo nativo obteniendo un valor de 2210 ± 0.04 cP y almidón tratado con álcali de Na_2CO_3 a dos concentraciones la primera de 0.2 % obteniendo una viscosidad máxima de 2383 ± 0.13 cP y la segunda al 3.2 % obteniendo una viscosidad máxima de 3130 ± 0.53 cP, de acuerdo a estos valores los autores determinaron que al aumentar el % de concentración de Na_2CO_3 aumenta los valores de viscosidad máxima, de ruptura y retroceso como se observa en la Tabla 3.7; Martins *et al.* (2020) estudiaron la viscosidad máxima, de ruptura y de retroceso utilizando gránulos de fécula de taro morado (*Colocasia esculenta* B. Tini) mediante una modificación utilizando sonicación con ondas ultrasonido, utilizaron diferentes amplitudes de onda (40, 50 y 60 %), la viscosidad máxima de Taro morado nativo fue de 483 ± 0.20 , la viscosidad máxima de Taro morado utilizando una amplitud de onda al 40 % fue de 757 ± 0.50 , la viscosidad máxima de Taro morado utilizando una amplitud de onda al 50 % fue de 726 ± 0.1 y la viscosidad máxima utilizando una amplitud de onda de 60 % fue de 749 ± 0.1 , la viscosidad de ruptura y de retroceso se muestran en la Tabla 3.6 en la que se observa que la viscosidad es mayor a una amplitud de onda baja con respecto al fécula nativa de -Taro morado y a las amplitudes de onda de 50 y 60 %.

Tabla 3.7 Resultados de viscosidad máxima, ruptura y retroceso

Muestra	Viscosidad máxima (cP)	Viscosidad de ruptura (cP)	Viscosidad de retroceso (cP)
Muestra 1	3520 ± 0.13	2465 ± 0.02	3200 ± 0.11
Muestra 2	3650 ± 0.02	2490 ± 0.01	3400 ± 0.27
Trigo nativo	2210 ± 0.04	455 ± 0.30	801 ± 0.17
Trigo tratado con Na_2CO_3 al 0.2%	2383 ± 0.13	579 ± 0.25	859 ± 0.05
Trigo tratado con Na_2CO_3 al 3.2%	3130 ± 0.53	1231 ± 0.42	1721 ± 0.14

Taro morado (<i>Colocasia esculenta</i> B. Tini) nativo	483 $\pm$ 0.20	483.01 $\pm$ 1.0	778 $\pm$ 2.0
Taro morado (<i>Colocasia esculenta</i> B. Tini) (40 %)	757 $\pm$ 0.50	466.7 $\pm$ 1.5	766 $\pm$ 1.0
Taro morado (<i>Colocasia esculenta</i> B. Tini) (50 %)	726 $\pm$ 0.1	531.0 $\pm$ 1.0	843.6 $\pm$ 2.5
Taro morado (<i>Colocasia esculenta</i> B. Tini) (60 %)	749 $\pm$ 0.1	521.7 $\pm$ 1.5	835.6 $\pm$ 1.5

3.3.6 Sinéresis

El porcentaje de sinéresis se estimó para conocer la estabilidad del gel en las muestras gelificadas, utilizando un medio de almacenamiento de refrigeración durante 7 días a 4 °C para saber los cambios físicos que sufre el gel durante el tiempo establecido, en la Tabla 3.8 se muestran los valores del % de sinéresis en las muestras 1 y 2 evaluadas en los días 1, 2, 3, 4 y 7. En la Figura 3.6 se muestra el proceso de sinéresis de las dos muestras gelificadas y se observa que la muestra 2 es menor a la muestra 1, gracias a que en la primera hay una mayor resistencia a la sinéresis en el tiempo de enfriamiento y en la segunda hay una menor estabilidad en los valores de sinéresis durante el enfriamiento. Los valores obtenidos son cercanos a los reportados por Peña (2017), quien estudio % de sinéresis de papas nativas: Imilla negra (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*), Ocurri blanca (*Solanum x curtilobum*) y Piñaza (*Solanum x juzepczukii*) mostrados en la Tabla 3.7, estos valores son cercanos a los de la muestra 1 y 2 debido a que el % de sinéresis expresa nivel de retrogradación en féculas a baja temperatura liberando el agua de los geles en almacenamiento frío; Solarte (2019) reportó los estudios de papas nativas (*Solanum tuberosum*) de origen latino y colombiano mostrados en la Tabla 3.8, en los cuales determino que la papa latina presenta menor % de sinéresis al tener poca cantidad de amilopectina, por lo que contiene un valor cercano al de la muestra 1, sin embargo en contenido de % de sinéresis en la papa colombiana es

mayor a la papa latina y a las muestras estudiadas, esto indica que la papa colombiana tiene cambios significativos en la composición de la gelificación.

Tabla 3.8 Resultados de % de sinéresis en 7 días

Fécula	% de Sinéresis						
	Día						
	1	2	3	4	5	6	7
Muestra 1	24.0 ^{± 0.00}	24.61 ^{± 0.25}	26.73 ^{± 0.12}	27.21 ^{± 0.01}			34.58 ^{± 0.43}
Muestra 2	18.12 ^{± 0.10}	20.35 ^{± 0.06}	23.11 ^{± 0.41}	25.06 ^{± 0.79}			31.14 ^{± 0.22}
Imilla negra	21.23 ^{± 1.05}	23.77 ^{± 1.92}	28.90 ^{± 0.87}	31.57 ^{± 0.96}			39.48 ^{± 0.76}
Ocucuri blanca	13.23 ^{± 0.73}	14.86 ^{± 0.72}	15.13 ^{± 0.67}	18.88 ^{± 0.18}			31.47 ^{± 1.45}
Piñaza	13.18 ^{± 0.54}	14.24 ^{± 0.95}	19.24 ^{± 0.72}	20.22 ^{± 1.51}			22.05 ^{± 0.46}
Papa nativa (latina)	18.56 ^{± 0.17}	25.60 ^{± 0.11}			32.51 ^{± 0.46}	34.10 ^{± 0.91}	34.66 ^{± 0.97}
Papa nativa (colombiana)	18.15 ^{± 0.27}	24.81 ^{± 0.96}			37.46 ^{± 0.84}	37.65 ^{± 0.01}	39.97 ^{± 0.28}

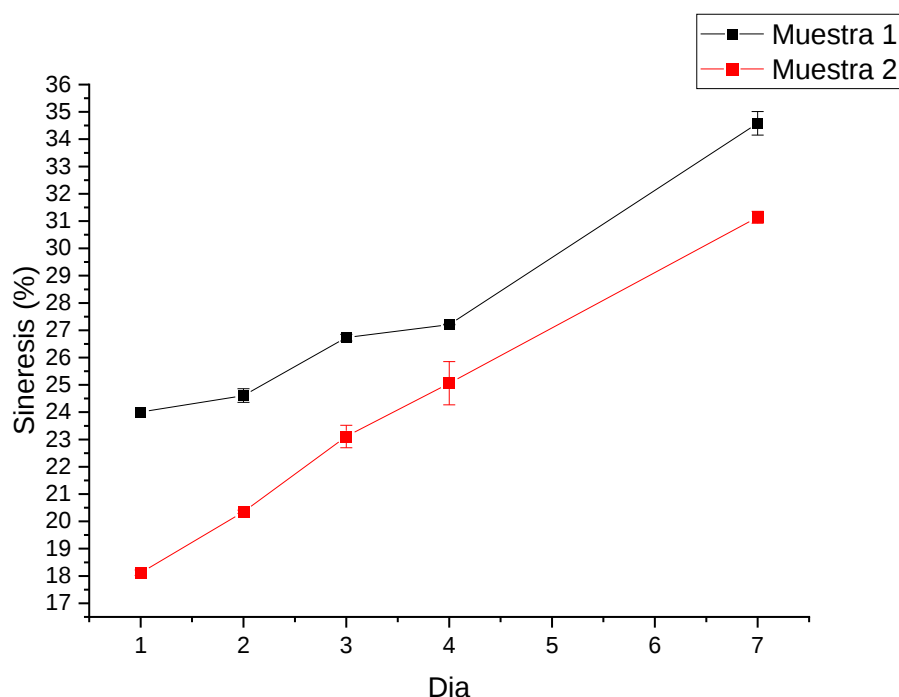


Figura 3.6 Sinéresis de muestras gelificadas

3.4 Análisis de varianza del diseño de experimentos 2³ para la elaboración de biopelículas

En la Tabla 3.9 se muestran los factores y la variable de respuesta (elongación) del diseño de experimentos para la elaboración de biopelículas.

Tabla 3.9. Resultados del diseño de experimentos 2³ para la formulación de biopelículas

Orden Corrida	A	B	C	Suspensión	Glicerol (% de p/p)	Temperatura	Elongación (%)
1	-	-	-	1	25	80	35.95 $\pm$ 0.03
2	+	-	-	2	25	80	49.92 $\pm$ 0.02
3	-	+	-	1	35	80	56.61 $\pm$ 0.17
4	+	+	-	2	35	80	40.75 $\pm$ 0.10
5	-	-	+	1	25	90	60.16 $\pm$ 0.01
6	+	-	+	2	25	90	45.48 $\pm$ 0.13
7	-	+	+	1	35	90	39.22 $\pm$ 0.25

8	+	+	+	2	35	90	71.45 $\pm$ 0.05
---	---	---	---	---	----	----	------------------

El análisis de varianza (ANOVA) mostrado en la Tabla 3.10 es obtenida a partir de las condiciones de elaboración para biopelículas, en ella se aprecian los factores significativos que afectan la elongación como variable de respuesta. De acuerdo al análisis se obtuvo un ajuste de R^2 de 99.93 %, este valor es significativo por lo que los datos de la experimentación se ajustan al adecuadamente al diseño originando un modelo de primer orden (ec. 3.2).

$$\text{Elongación} = -2894.2 + 1852.8 X_1 + 99.73 X_2 + 34.874 X_3 - 64.383 X_1 * X_2 - 22.053 X_1 * X_2 - 1.1835 X_2 * X_3 + 0.76750 X_1 * X_2 * X_3 \quad (3.1)$$

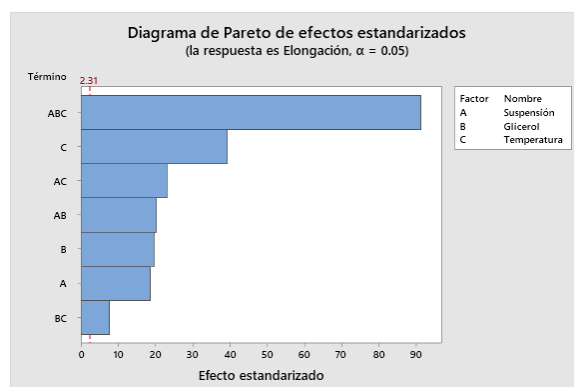
Tabla 3.10 Análisis de varianza de las suspensiones gelificadas

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Modelo	7	2053.48	293.35	1661.71	0.000
Lineal	3	403.03	134.34	760.99	0.000
Suspensión	1	61.23	61.23	346.84	0.000
Glicerol	1	68.23	68.23	386.48	0.000
Temperatura	1	273.57	273.57	1549.65	0.000
Interacciones de 2 términos	3	177.81	59.27	335.74	0.000
Suspensión*Glicerol	1	72.93	72.93	413.12	0.000
Suspensión*Temperatura	1	94.48	94.48	535.17	0.000
Glicerol*Temperatura	1	10.40	10.40	58.91	0.000
Interacciones de 3 términos	1	1472.64	1472.64	8341.80	0.000
Suspensión*Glicerol*Temperatura	1	1472.64	1472.64	8341.80	0.000
Error	8	1.41	0.18		
Total	15	2054.89			

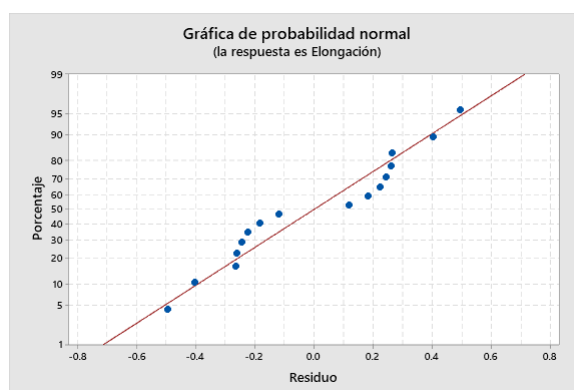
En la Figura 3.7 a, se muestra el diagrama de Pareto con los factores de interacción más significativos para la elaboración de biopelículas a partir de suspensiones

gelificadas, en el observamos que todos los efectos estandarizados son significativos pero el que tiene mayor importancia en la variable de repuesta es el efecto de la combinación de los 3 factores (suspensión, glicerol y temperatura).

La Figura 3.7 b, muestra la forma en la cual los experimentos siguen una distribución normal para la elaboración de la biopelícula, los puntos de probabilidad normal se ajustan a la línea.



a)



b)

Figura 3.7 a) Diagrama de Pareto de efectos estandarizados y b) Gráfica de probabilidad normal del punto de gelificación.

En la Figura 3.8 se muestran las iteraciones entre los tres factores, en la cual se observa que la iteración que presenta mayor significancia en la elongación es AC (Suspensión-temperatura).

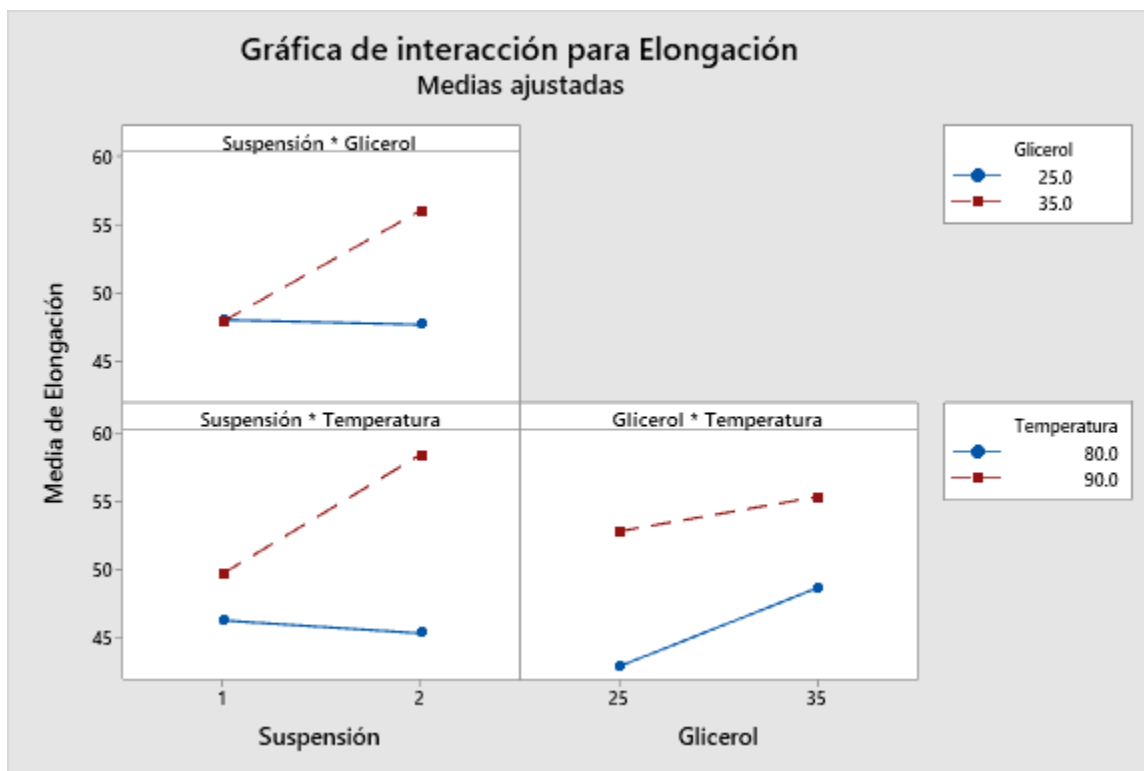


Figura 3.8 Gráfica de iteraciones para elongación

Las condiciones adecuadas de operación en la elaboración de biopelículas, se muestran en la Figura 3.9, en ella las concentraciones y condiciones más significativas de los factores fueron: la suspensión 2, el 35 % p/p de glicerol con respecto a la fécula y la temperatura de cocción a 90 °C. De acuerdo a esto se obtuvo un % de elongación de 71.45, siendo el más alto en comparación a los demás experimentos.

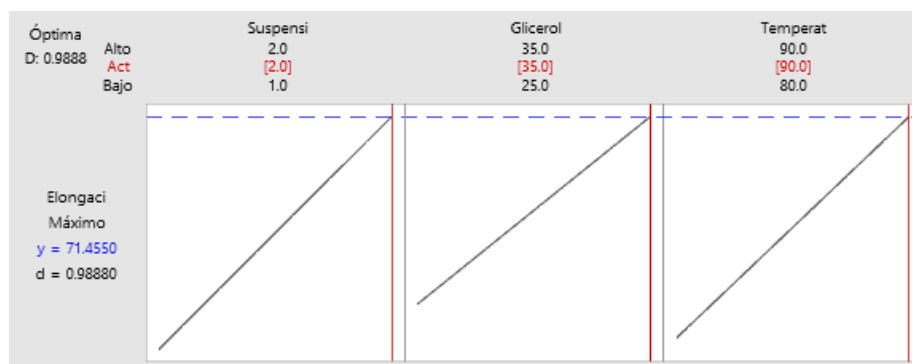


Figura 3.9 Condiciones y concentraciones para la determinación de elongación

El porcentaje de elongación en la biopelícula fue alto gracias a que influyó de manera significativa el tratamiento previo de las suspensiones con la adición de Na_2CO_3 y ondas de sonicación de ultrasonido. También influyó la temperatura de cocción para un proceso adecuado. Maza (2022) realizó un diseño de experimentos 2^2 , estudiando variables y constantes. Las variables fueron concentración de almidón y concentración de glicerina, las constantes fueron ácido acético y agua destilada, de acuerdo a sus diferentes concentraciones obtuvieron la mayor elongación en una biopelícula con valor de $33.8 \% \pm 0.04$, este valor es bajo en comparación a los valores de elongación obtenidos en las biopelículas 1 y 2 ya que las biopelículas del diseño de experimentos 2^2 son más rígidas y no tienen una máxima elongación gracias al % de fécula; Martín *et al.* (2020) elaboraron una biopelícula a base de miel al 3% y de pectina de mango (*Mangifera indica* L.) 5 % con respecto a la solución formadora de biopelícula y determinaron su % de elongación con valor de 29.55 ± 1.62 debido a que la miel reduce la fricción entre las cadenas de pectina que constituye la matriz polimérica; Holguín (2019) realizó un proceso de matriz reforzada en biopelículas utilizando almidón modificado de papa y adición de ácido acético, obteniendo un % de elongación de $4.1 \pm$ por lo que la biopelícula es rígida, tiene poca deformación elástica y es un material poco dúctil. Los valores más significativos fueron los de la biopelícula 1 del experimento 8 con un % de elongación de 74.1 ± 0.05 , seguida por la elongación de la biopelícula 2 del experimento 5 con un % de elongación de 60.1 ± 0.01 . Ambos valores fueron altos gracias al % adecuado de concentración de glicerina en la fécula de malanga, así

como también influyó de manera significativa el tratamiento previo de la adición de Na_2CO_3 y ondas de sonicación de ultrasonido antes de la elaboración de biopelículas. Maza (2022) realizó un diseño de experimentos 2^2 , estudiando variables y constantes. Las variables fueron concentración de almidón y concentración de glicerina, las constantes fueron ácido acético y agua destilada, de acuerdo a sus diferentes concentraciones obtuvieron la mayor elongación en una biopelícula con valor de $33.8 \% \pm 0.04$, este valor es bajo en comparación a los valores de elongación obtenidos en las biopelículas 1 y 2 ya que las biopelículas del diseño de experimentos 2^2 son más rígidas y no tienen una máxima elongación gracias al % de fécula; Martín *et al.* (2020) elaboraron una biopelícula a base de miel al 3% y de pectina de mango (*Mangifera indica* L.) 5 % con respecto a la solución formadora de biopelícula y determinaron su % de elongación con valor de 29.55 ± 1.62 debido a que la miel reduce la fricción entre las cadenas de pectina que constituye la matriz polimérica; Holguín (2019) realizó un proceso de matriz reforzada en biopelículas utilizando almidón modificado de papa y adición de ácido acético, obteniendo un % de elongación de 4.1 ± 0 por lo que la biopelícula es rígida, tiene poca deformación elástica y es un material poco dúctil.

3.5 Parámetros fisicoquímicos de las biopelículas

Los valores de la caracterización fisicoquímica de la biopelícula que tuvo mayor elongación se muestran en la Tabla 3.11. Los resultados del análisis de las biopelículas obtenidas del diseño factorial 2^3 se encuentran en el anexo B.

Tabla 3.11 Resultados de la caracterización fisicoquímica de la biopelícula

Parámetros	Unidad	Biopelícula (Exp. 8)
Humedad	%	6.30 ± 0.04
a_w	-	0.36 ± 0.01
Color	L^*	8.28 ± 0.57

	a*	0.81 $\pm$ 0.22
	b*	2.30 $\pm$ 0.74
Grosor	mm	0.10 $\pm$ 0

3.5.1 Humedad de la biopelícula

La humedad de la biopelícula fue de 6.30 ± 0.04 , el valor obtenido se encuentra en el rango estudiado por otros autores como Salazar y Sobrado (2019) los cuales obtuvieron valores de humedad en biopelículas en dos variedades de almidón maíz (*Zea mays. L*), las biopelículas de almidón de maíz amarillo duro mostraron un valor de 6.52 ± 0.45 y las biopelículas de almidón de maíz amiláceo dieron un valor de 6.53 ± 0.21 ; Zapata (2019) estudió la humedad de dos biopelículas, la primera obtenida a partir de banano verde obteniendo un valor de 3.0 ± 0 y la segunda obtenida a partir de yuca (*Manihot esculenta*) con valor de 4.0 ± 0.5 , ambas biopelículas fueron tratadas con gel de sábila (*Aloe vera*) y determinó que valores de humedad serán altos cuando la concentración de almidón sea menor.

3.5.2 Actividad de agua (a_w) de la biopelícula

La actividad de agua (a_w) en la biopelícula a partir de fécula de malanga, Na_2CO_3 y ondas de sonicación fue de 0.36 ± 0.02 . Este valor nos dice la fracción de humedad libre que hay en la biopelícula y es menor a 0.60 por lo que no habrá un crecimiento bacteriano y el tiempo de vida de la biopelícula será mayor. Ahumada (2019) reporto un rango de valores bajos en actividad de agua de 0.24 a 0.30 ± 0.0 en biopelículas elaboradas a partir de fécula de malanga y jugo de xoconostle, sin embargo encontraron que se obtendría un valor aún más bajo si se agregaba concentración de proteína de soja al 2 %.

3.5.3 Color de la biopelícula

En la Tabla 3.10 se muestran los valores del análisis de color en las biopelículas a base de fécula de malanga, Na_2CO_3 y ondas de ultrasonido, de igual forma los valores de la biopelícula de control a base de fécula de malanga y glicerol. El valor de L^* en la biopelícula es bajo debido a que tiene poca luminosidad gracias a que con la ayuda de la adición de Na_2CO_3 y ondas de sonicación ayuda a que el color del granulo se libere completamente, de acuerdo a los valores de a^* y b^* su color es naranja cercano al café debido a que los valores de a^* y b^* son bajos y positivos. La diferencia estándar (ΔE) del color entre la biopelícula de control y la obtenida fue de 14.68 ± 0.1 en la biopelícula, el color en ambas se muestra en la Figura 3.12.

Por otra parte Robayo (2018) elaboro dos biopelículas, la primera fue su biopelícula de control elaborada a base de fécula de yuca y ácido cítrico dando un color blanco traslucido. La segunda fue una biopelícula modificada a base de fécula de yuca-ácido cítrico-antocianina dando un color purpura debido al cambio del pH en la solución formada, la diferencia estándar (ΔE) entre ambas biopelículas fue de 58.66 ± 0.24 , el valor fue alto debido a que hay un alto valor en la diferencia de color; Sierra (2021) Elaboro una biopelícula con polvo de cáscara de naranja (*Citrus X sinensis*), almidón de maíz (*Zea mays* L.) y plastificante, dando un color amarillo oscuro, así como también elaboro una muestra de control sin cáscara de naranja ocupando almidón de maíz y plastificante, en el estudio se determinó que una biopelícula tendrá mayor luminosidad si se utiliza mayor porcentaje de almidón de maíz y menor cantidad de cascara de naranja. La diferencia estándar (ΔE) entre ambas biopelículas fue de 5.44 ± 0.0 .

Tabla 3.12 Resultados de color en las biopelículas de control y obtenida a mayor elongación

Muestra	L^*	a^*	b^*	ΔE
Biopelícula de control	13.56 ± 0.21	1.32 ± 0.07	3.41 ± 0.12	
Biopelícula obtenida	8.28 ± 0.57	0.81 ± 0.22	2.30 ± 0.74	14.68 ± 0.1

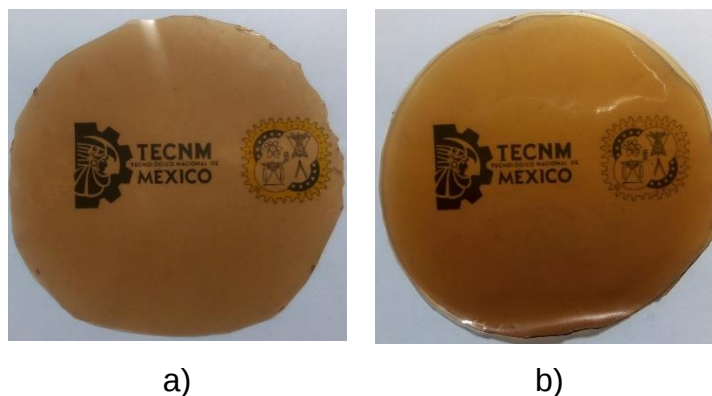


Figura 3.10 Color de biopelícula obtenida a) biopelícula de control y b) biopelícula obtenida

3.5.4 Grosor de la biopelícula

La biopelícula elaborada a partir de una suspensión formadora presento una apariencia lisa, delgada, maleable, flexible, sin roturas y sin quiebre con un grosor de 0.10 mm, este valor se encuentra en el rango de aceptabilidad por la INEN 2542 el valor de aceptabilidad es inferior a 0.12 ± 0.01 mm, el cual estandariza a las biopelículas de buena calidad. La biopelícula no tuvo deformación, gracias a que los gránulos de la fécula de malanga (*Colocasia esculenta*) y Na_2CO_3 fueron desintegrados completamente por la sonicación de las ondas de ultrasonido. De acuerdo a otras investigaciones Solarte (2020), estudio el grosor de biopelículas elaboradas con quitosano y adición de almidón de maíz a diferentes concentraciones obteniendo un espesor de 0.05 ± 0 mm, en su estudio algunas biopelículas presentaron puntos negros e irregularidades en la superficie debido a la aglomeración de las partículas de almidón; Maza *et al.* (2020) estudiaron el grosor de una biopelícula elaborada a partir de almidón de maíz chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*) obteniendo un valor de 0.12 ± 0.016 teniendo una diferencia al rango de aceptabilidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La fécula obtenida a partir de tubérculos de malanga (*Colocasia esculenta*) presentó valores significativos en sus propiedades fisicoquímicas (cenizas, humedad, pH, color, grasas, a_w y proteínas), por lo cual, se infiere que los resultados obtenidos son apropiados en la elaboración de biopelículas.
- Se determinaron las condiciones de operación del proceso de elaboración de las dos suspensiones gelificadas empleando un diseño factorial 2^3 , con un ajuste de 99.54%. Las condiciones de la suspensión 1 fueron: 2 % de p/v de fécula de malanga, 10 % de p/p de Na_2CO_3 con respecto a la fécula y un tiempo de sonicación de 15 minutos a 15 % de longitud de onda, dando un rendimiento de 14.10 ± 0.144 minutos como punto de gelificación; Por otra parte las condiciones de la suspensión 2 fueron: 3 % de p/v de fécula de malanga, 20 % de p/p de Na_2CO_3 con respecto a la fécula y un tiempo de sonicación de 15 minutos a 15 % de longitud de onda, con un rendimiento de 12.45 ± 0.070 minutos como punto de gelificación.
- A partir de las dos suspensiones con menor punto de gelificación, se infiere que los valores de la caracterización fisicoquímica del gel son de mayor calidad a los valores reportados por otros autores, debido a que la adición del Na_2CO_3 y las ondas de ultrasonido influyen de manera significativa en la fracturación, desintegración e hinchamiento total del gránulo, de esta manera se generó una estabilidad térmica en el proceso de gelificación, por lo cual se obtuvieron valores altos en viscosidad máxima y en retroceso, por otra parte también se logró una alta estabilidad a la retrogradación.
- Se establecieron las condiciones de operación del proceso de elaboración de la biopelícula empleando un diseño factorial 2^3 , con un ajuste de 99.93 %. Las condiciones de operación que alcanzan una adecuada biopelícula son las concentraciones utilizadas en la suspensión 2, una concentración al 35

% p/p de glicerol con respecto a la fécula y una temperatura de cocción a 90 °C, dando un rendimiento de elongación de 71.45 %.

- La biopelícula presentó características significativas de alto rendimiento para poder ser utilizadas en recubrimientos comestibles de alimentos, frutas y verduras recién cortadas para promover una significativa calidad física y nutricional. La funcionabilidad principal de la biopelícula obtenida será actuar como barrera protectora ante microorganismos y humedad, evitará la presencia de lípidos y gases como: O₂, CO₂ entre alimento-ambiente y ocasionará una retención de los compuestos volátiles del sabor.

RECOMENDACIONES

- Trabajar con NaOH y ondas de ultrasonido, en la gelificación y elaboración de biopelículas para ser comparadas con los resultados obtenidos en el presente estudio.
- Realizar un estudio de degradación en la biopelícula, para saber su tiempo de vida utilizando la norma ISO 13432.
- Se recomienda trabajar con otros tubérculos como papa, camote y yuca adicionando carbonato de sodio y ondas de ultrasonido. Con el fin de comparar las propiedades fisicoquímicas y reológicas en la gelificación, además de pruebas mecánicas y de textura en las biopelículas.

ANEXOS

ANEXO A

En este apartado se presentan los análisis de la gelificación obtenidos de las muestras del diseño factorial 2³, los cuales son mostrados en las siguientes Tablas:

Tabla A.1 Color de las muestras experimentales gelificadas

Muestra experimental (Gelificación)	Color		
	L*	a*	b*
1	11.21 ± 0.19	1.28 ± 0.12	3.08 ± 0.07
2	11.37 ± 0.05	1.25 ± 0.21	2.98 ± 0.15
3	10.99 ± 0.22	1.58 ± 0.60	3.40 ± 0.05
4	9.84 ± 0.09	1.05 ± 0.07	3.19 ± 0.10
5	11.39 ± 0.19	1.25 ± 0.04	3.01 ± 0.21
6	8.74 ± 0.15	0.98 ± 0.07	2.56 ± 0.11
7	10.09 ± 0.20	0.72 ± 0.14	3.10 ± 0.13
8	12.45 ± 0.12	0.86 ± 0.01	3.55 ± 0.03

Tabla A.2 Densidad de las muestras experimentales gelificadas

Muestra	
experimental	Densidad (g/m³)
(Gelificación)	
1	1.31 ± 0.18
2	1.23 ± 0.12
3	1.16 ± 0.12
4	1.31 ± 0.8
5	1.26 ± 0.05
6	1.28 ± 0.32
7	1.19 ± 0.22
8	1.29 ± 0.03

Tabla A.3 IIA, PHI e ISA de las muestras experimentales gelificadas

Muestra experimental (Gelificación)	IAA g H₂O/g	PHI g/100 mL	ISA g H₂O/g
1	1.15 ± 0.17	0.88 ± 0.11	7.5 ± 0.12
2	0.13 ± 0.09	1.00 ± 0.18	7.9 ± 0.26
3	0.11 ± 0.12	0.96 ± 0.09	6.3 ± 0.07
4	0.16 ± 0.19	0.91 ± 0.32	5.7 ± 0.23
5	0.18 ± 0.05	1.02 ± 0.06	8.0 ± 0.01
6	0.17 ± 0.22	0.90 ± 0.14	7.1 ± 0.46
7	0.12 ± 0.8	0.83 ± 0.24	6.6 ± 0.22
8	0.16 ± 0.05	1.01 ± 0.03	6.0 ± 0.01

Tabla A.4 Viscosidad de las muestras experimentales gelificadas

Muestra experimental (gelificación)	Viscosidad máxima (cP)	Viscosidad de ruptura (cP)	Viscosidad de retroceso (cP)
1	2897 ± 0.8	1832 ± 0.10	2610 ± 0.35
2	2944 ± 0.26	1963 ± 0.24	2751 ± 0.15
3	3418 ± 0.32	2724 ± 0.30	3599 ± 0.04
4	3056 ± 0.11	2089 ± 0.12	2852 ± 0.09
5	3520 ± 0.13	2465 ± 0.02	3200 ± 0.11
6	3283 ± 0.21	2613 ± 0.19	3510 ± 0.07
7	3118 ± 0.15	2571 ± 0.16	3376 ± 0.35
8	3650 ± 0.02	2490 ± 0.01	3400 ± 0.27

Tabla A.5 Sinéresis de las muestras experimentales gelificadas

Fécula	% Sinéresis				
	Día				
	1	2	3	4	7
1	13.30 $\pm$ 0.11	13.82 $\pm$ 0.25	16.79 $\pm$ 0.04	17.55 $\pm$ 0.12	23.12 $\pm$ 0.32
2	16.43 $\pm$ 0.06	16.71 $\pm$ 0.12	18.32 $\pm$ 0.31	19.45 $\pm$ 0.14	26.53 $\pm$ 0.14
3	20.46 $\pm$ 0.32	20.98 $\pm$ 0.08	22.79 $\pm$ 0.05	24.67 $\pm$ 0.11	30.98 $\pm$ 0.16
4	17.22 $\pm$ 0.13	17.87 $\pm$ 0.11	17.65 $\pm$ 0.17	19.11 $\pm$ 0.15	25.13 $\pm$ 0.22
5	24.00 $\pm$ 0.00	24.61 $\pm$ 0.25	26.73 $\pm$ 0.12	27.21 $\pm$ 0.01	34.58 $\pm$ 0.43
6	17.82 $\pm$ 0.25	18.23 $\pm$ 0.12	21.06 $\pm$ 0.09	22.43 $\pm$ 0.41	24.10 $\pm$ 0.50
7	15.07 $\pm$ 0.09	16.22 $\pm$ 0.20	18.13 $\pm$ 0.11	19.10 $\pm$ 0.14	25.25 $\pm$ 0.21
8	18.12 $\pm$ 0.10	20.35 $\pm$ 0.06	23.11 $\pm$ 0.41	25.06 $\pm$ 0.79	31.14 $\pm$ 0.22

ANEXO B

En este apartado se presentan los análisis de la biopelícula mostrados en las siguientes Tablas:

Tabla B.1 Humedad de las muestras experimentales en biopelículas

Muestra experimental (Biopelícula)	Humedad (%)
1	1.46 $\pm$ 0.12
2	1.37 $\pm$ 0.04
3	6.06 $\pm$ 0.21
4	5.21 $\pm$ 0.10
5	6.02 $\pm$ 0.12
6	4.56 $\pm$ 0.03
7	3.21 $\pm$ 0.18
8	6.30 $\pm$ 0.04

Tabla B.2 Actividad de agua de las muestras experimentales en biopelículas

Muestra experimental (Biopelícula)	Actividad de agua (a_w)
1	0.42 $\pm$ 0.03
2	0.44 $\pm$ 0.10
3	0.38 $\pm$ 0.15
4	0.35 $\pm$ 0.12
5	0.40 $\pm$ 0.18
6	0.37 $\pm$ 0.22
7	0.46 $\pm$ 0.01
8	0.36 $\pm$ 0.01

Tabla B.3 Color de las muestras experimentales en biopelículas

Muestra experimental (Biopelícula)	Color		
	L*	a*	b*
1	12.62 $\pm$ 0.20	0.24 $\pm$ 0.2	2.63 $\pm$ 0.05
2	12.95 $\pm$ 0.13	0.49 $\pm$ 0.18	1.81 $\pm$ 0.09
3	9.10 $\pm$ 0.08	0.79 $\pm$ 0.06	2.58 $\pm$ 0.12
4	9.81 $\pm$ 0.10	0.29 $\pm$ 0.21	1.70 $\pm$ 0.05
5	13.91 $\pm$ 0.16	-0.43 $\pm$ 0.06	2.30 $\pm$ 0.16
6	10.46 $\pm$ 0.31	0.25 $\pm$ 0.23	2.16 $\pm$ 0.10
7	11.56 $\pm$ 0.12	0.62 $\pm$ 0.14	1.92 $\pm$ 0.15
8	8.28 $\pm$ 0.57	0.81 $\pm$ 0.22	2.30 $\pm$ 0.74

Tabla B.5 grosor de las muestras experimentales en biopelículas

Muestra experimental (Biopelícula)	Grosor (mm)
1	0.09 $\pm$ 0.02
2	0.10 $\pm$ 0
3	0.10 $\pm$ 0
4	0.10 $\pm$ 0
5	0.09 $\pm$ 0.06
6	0.08 $\pm$ 0.05
7	0.10 $\pm$ 0
8	0.10 $\pm$ 0

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahumada, P. G., 2019. Diseño y caracterización de biopelículas comestibles con actividad antioxidante utilizando materiales no convencionales. Instituto Politécnico Nacional.

Alam, F., Nawab, A., Lutfi, Z., y Haider, S. Z. 2020. Effect of non-starch polysaccharides on the pasting, gel and gelation properties of taro (*Colocasia esculenta*) Starch. Biosynthesis nutritiom biomedical. Almidón. Vol. 73, edición 1-2.

Almanaa, T. N., Vijayaraghavan, P., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Khaled, J. M., y Alyahya, S. A. 2020. Solid state fermentation of amylase production from *Bacillus subtilis* D19 using agro-residues. Journal of King Saud University - Science, 32(2), 1555–1561.

Alvis, A., Vélez, C. A. Villada, H. S y Rada, m. M. 2008. Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de las pastas. Información Tecnológica. Vol 19 (1), p.p. 19.28.

Andrade, L. A., Alves Barbosa N. y Pereira J. 2017. Extraction and properties of starches from the nontraditional vegetables Yam and Taro. Polimeros: Ciencia y Tecnología, vol 27, num 2, pp. 151-157.

Anisimova, E. y Yarullina, D. 2018. Characterization of Erythromycin and Tetracycline Resistance in *Lactobacillus fermentum* Strains. International Journal of Microbiology, 2018.

Asgher, M., Wahab, A., Bilal, M., y Nasir Iqbal, H. M. 2016. Lignocellulose degradation and production of lignin modifying enzymes by *Schizophyllum commune* IBL-06 in solid-state fermentation. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 6, 195–201.

Badui Dergal, S., 2006. Química de los alimentos. Pearson educación México.

Barraza, J. G., Soriano C. J., Obregón J., Martínez P., Peña F., Velezmoro C., Siche R., Miano A, C. 2020. Physicochemical, functional and structural properties of starches obtained from five varieties of native potatoes (*Solanum tuberosum* L.)

Bernal, C. C. A., Díaz-Moreno, C., y Gutiérrez-Cortés, C. 2017. Probiotics and prebiotics in vegetable matrices: Advances in the development of fruit drinks. Probiotics and Prebiotics in Vegetable Matrices: Advances in the Development of Fruit Drinks, 44(4), 383–392.

Borrás-Sandoval, L. M., Valiño-Cabrera, E. C., y Rodríguez-Molano, C. E. 2017. Preparado microbiano con actividad ácido láctica como acelerante biológico en los procesos de fermentación para alimento animal. Ciencia y Agricultura, 14(1), 7–13.

Cabo, A., S. D., Linares B., P. Rodríguez M., A., Luna S., G., y Cantú L., D. 2019. Caracterización reológica en régimen rotacional de suspensiones de malanga (*Colocasia esculenta*) y yuca (*Manihot esculenta*). Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 7, 1381-1388.

Cai, J., He, Y., Yu, X., Banks, S. W., Yang, Y., Zhang, X., Yu, Y., Liu, R., y Bridgwater, A. V. 2017. Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76(January), 309–322.

Caicedo, W., Moya, C., Tapuy, A., Caicedo, M., y Perez, M. 2019. Composición química y digestibilidad aparente de tubérculos de taro procesados por fermentación en estado sólido (FES) en cerdos de crecimiento. Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú, 30(2), 580–589.

Calle J., Gil Y. B., Garzón R. and Rosell C. M. 2019. Exploring the functionality of starches from corms and cormels of *Xanthosoma sagittifolium*. Food Industry Research.

Carrillo, N. D., Rostro A., M. J., de la Cruz Q. R., Ruíz, H. A., Iqbal, H. M. N., y Parra-S. R. 2019. Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 102 , 63–74.

Cornejo, R. G. V., Marinero, O. E. A., Fuentes, G. C. R. y Toruño, P. J. 2020. Biopolymers for agro-industrial uses: Manufacture of a biodegradable thermoplastic starch film as a sustainable alternative. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climatico, vol. 6, núm. 11 (ISSN-e:2410-7980).

Dalpaz, R., Konrad, O., Cândido, C., Panis, H., Hasan, C., y Guerini, M. 2020. Using biogas for energy cogeneration : An analysis of electric and thermal energy generation from agro-industrial waste. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 40(67), 100774.

De Arcangelis, E., Cuomo F., Trivisonno, M., Marconi, E., y Messia, M., 2020. Gelatinization and pasta making conditions for buckwheat gluten free pasta. Journal of Cereal Science, 95.

Delgado, A. M. D. M., Mendoza. L. K. L., González, M. I., Tadeo, L, J. L., y Martín Sánchez, J. V. 2019. Assessment of the composting process of poultry manure using different mixtures of substrates. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 35(4), 965–977.

Ding, S., Yan, W., Ma, Y., y Fang, J. 2021. The impact of probiotics on gut health via alternation of immune status of monogastric animals. Animal Nutrition, 7(1), 24–30.

Durán, R. F. 2006. Manual del Ingeniero de Alimentos. Grupo Latino Ltda.

Elahi, A., y Rehman, A. 2018. Bioconversion of hemicellulosic materials into ethanol by yeast , *Pichia kudriavzevii* 2-KLP1 , isolated from industrial waste. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(4), 417–425.

Elnashar, M. M. 2010. Biopolymers. Sciyo. ISBN: 978-953-307-109-1.

Escobar, G. J. A. 2020. Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón. Universidad Autónoma del estado de México.

Eguia, L. E. 1991. Desarrollo de la biopelícula en medio soporte permeable. Escuela Superior de la Marina Civil, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente.

Espín, S., Villacrés E. y Brito B. Caracterización físico-química nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. Quito, EC:INIAP/CIP/COSUDE, (91-116).

Fina, M. J. 2019. Caracterización funcional de la proteína de capa S(S-layer) de *Lactobacillus acidophilus* ATCC4356. Tesis de grado. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área Química Biológica. Argentina.

Fonseca, L. D., Saavedra, M. G., y Rodríguez, M. C.E. 2018. Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L .) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente Food preparation for carrot-based cattle (*Daucus carota* L .) using solid state fermentation fo. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 12(1), 175–182.

Ganguly, P., Byrne, C., Breen, A., y Pillai, S. C. 2018. Antimicrobial activity of photocatalysts: Fundamentals, mechanisms, kinetics and recent advances. *Applied Catalysis B: Environmental*, 225, 51–75.

Geankoplis, C. J. 1998. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Editorial Continental, S.A. de C.V. México.

Godoy, P. D. J., Daza, L. P., R., Fernández, C. L. M., Layza, M. A. E., Roque, A. R. E., Hidalgo, L., V., Gamarra, C. S. G., y Gómez, B. C. A. 2020. Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(2), 1-14.

González, G. J. C., Godoy, P. S. C., Heredia, J. A. y Pulgar, A. L. J. 2020. Malanga blanca starch extraction a socio-environmental alternative for the production of biodegradable polymeric bases. *Conciencia digital*, vol. 3 No. 3 pag. 6-26.

González R. E., Tarón A. y Pérez J. (2017). Biopelículas de Gelana Cargadas con nanopartículas de plata: Propiedades físico mecánicas, antimicrobianas y de barrera. *Información tecnológica*. Vol 28, pp. 53-60.

González, S. M. E., Pérez, F. I, S., Wong, V. A., y Bello, M. R. 2015. Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. 47(3).

Gutiérrez, R., y Salas, E. 2018. Cepas de bacterias probióticas como terapia coadyuvante en el tratamiento de la enfermedad periodontal. Revisión de la literatura. *Revista Odontológica de Los Andes*, 13(1), 62–78.

Heredia, C. P. Y., Hernández, M. A., González, C. A. F., y Vallejo, C. B. 2017. Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: Mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. *Interciencia*, 42(6), 340–346.

Hernández, M. D. J., Ferrera, C. R., y Alarcón, A. 2019. Trichoderma: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1), 98-112.

Holguín, C. J. S. 2019. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. Proyecto integral de grado. Fundación Universidad de América, Programa de Ingeniería Química.

Hurtado, H. J. G. y Castillo, A. M. J. 2019. Caracterización físico-química y funcional del almidón extraído de la papa china (*Colocasia esculenta*) cultivada en el pacífico Colombiano. Universidad Santiago de Cali (USC).

Ibarz A. y Barbosa, C. G. V. 2005. Operaciones Unitarias en la Ingeniería de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN 84-8476-163-0.

Jiang. J., Gao, H., Zeng. J., Zhang, L., Wang, F., Su. y Li G. 2021. Determination of subfreezing temperature and gel retrogradation characteristics of potato starch gel. *Food Science and Technology*, vol 149, ISSN: 0023-6438.

Khattab, I. M., Abdel-Wahed, A. M., Khattab, A. S., Anele, U. Y., El-Keredy, A., y Zaher, M. 2020. Effect of dietary probiotics supplementation on intake and production performance of ewes fed Atriplex hay-based diet. *Livestock Science*, 237(March), 104065.

LACCEI. International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. “Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable

Development” “Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy”. ISBN: 978-958-5207-4-1.

Levenspiel, O. 2004. Chemical reaction engineering. Limusa Wiley, 3er. Ed. ISBN: 968-18-5860-3.

Lerma, H. L. M. Relación entre actividad de agua y propiedades físicas de granos de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en 26 acciones mediante analisis de imagenes. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Altiplano de Puno “Facultad de Ciencias Agrarias”.

Linares, B. P. 2018. Producción y estudio dinámico de biopelículas de un consorcio de tíficos aislados a partir de cáscarade piña. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba. México.

Liu, H., Nie, Y. y CH, H. 2014. Effect of different starches on colors and textural properties of surimi-starch gels. International Journal of Food Properties, vol. 17 p.p. 1439-1448, ISSN: 1094-2912.

Louhasakul, Y., Cheirsilp, B., Intasit, R., y Maneerat, S. 2020. International Biodeterioration y Biodegradation Enhanced valorization of industrial wastes for biodiesel feedstocks and biocatalyst by lipolytic oleaginous yeast and biosurfactant-producing bacteria. International Biodeterioration and Biodegradation, 148(October 2019), 104911.

McCabe, W. L., Smith, J. C. y Harriot P. 2007. Operaciones unitarias en ingeniería química. The McGraw-Hill Companies, séptima edición.

Madigan, M.T., Martinko J.M., Bender, K.S., Buckley, D.H. y Stahl, D.A. 2015. Brock. Biología de los microorganismos. 14ª ed. Pearson Educación, S.A. Madrid, España.

Mandrigal, A. L.V., Hernández, M. J. V., Carranco, J. M. E., Calvo, C. M. C. Casas, R. R. G. 2018. Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de “Malanga” (*Colocasia esculenta* L. Schott) de Actopan, Veracruz, México. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, vol. 68, No. 2.

Manunga, B., Cassule, S. A. A., Rodríguez S. O. V y Bernardo, Q. I A. 2020. Physical chemistry characterization of cassava candy flours in Malaje (Angola). Revista digital del medio ambiente “Ojeando la agenda”, ISSN 1989-6794, No. 664.

Matos, T. M., Pérez, H. Y., Valdivia, A. A., Ranilla, M. J., Rodríguez, A. Z., Rubio, F., Y., Díaz, R. A., Jardines, G. S., y Camacho, C. C. 2020. Use of agroindustrial residues for producing enzymes by *Bacillus subtilis* E 44. Cuban Journal of Agricultural Science, 54(1), 35–44.

Martínez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez J., Zambrano Cabrera, C., Maza Valle, F. 2015. Mecanismos de gelatinización del almidón nativo de babano exportable de Ecuador. Revista Colombiana de Química, 44, 16-21.

Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., Velezmoro, C. 2019. Propiedades físicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. “Unica”. Revista de la Sociedad Química del Perú. Vol 85, n.3, pp 338-351, ISSN 1810-634X.

Martins, A., Benninca, C., Zabian Bassetto Bisinella, R., de Oliveira, Silveria Hornung, P., y Schnitzler, E. 2020. Ultrasonic modification of purple taro starch (*Colocasia esculenta* B. Tini): structural, psychochemical and thermal properties. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 142, 819-828.

Martín, L. H. A, Cuevas, B. J. C., Santos, F. S. y Pacheco, L. N. A. 2020. Propiedades físicoquímicas y mecánicas de la pectina de mango (*Mangifera indica*

L.) funcionalizadas con miel de Melipona (*Melipona beecheii*). Memorias de XLI Encuentro Nacional de la AMIDIQ.

Maza, M. J. E., Sánchez, M. H. J., Flores, F. L. M. y Bonilla L. M. L. 2022. Obtaining a Biofilm from chulpi corn starch (*Zea Mays Amylosaccharata*) for food packaging. Polo del Conocimiento. Vol. 7, num. 2, pp. 1270-1297, ISSN: 2550-682X.

Mejías, N., Orozco, E., y Galáan, H. 2016. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2(6), 27–41.

Méndez, M. A., Robles, C., Ruiz, V. J., y Castañeda, H. E. 2018. Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9(2), 271–280.

Molina, A. 2019. Probiotics and their mechanism of action in animal feed. Agronomy Mesoamerican, 30(2), 601–611.

More, P. R., Solunke, R. V., Talib M. L. y Parate, V. R. 2018. Stabilization of ice-cream by incorporating α -amylase modified taro (*Colocasia esculenta*) starch. Int. J. Creative Res. Thoughts.

Murillo, M. M., Alvis, B. A. y Arrazola, P.G. 2020. Physicochemical and functional properties of almidon obtained from two varieties of sweet potatoes (*Ipomoea batatas*). Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, vol. 19, No. 1, 117-127.

NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos.

NMX-F_83-1986. Determinación de humedad en productos alimenticios.

NMX-V-024-1972. Método de prueba para la determinación de azúcares-método hidrométrico-gradus Baumé en aguamiel.

NOM-F-68-S-1980. Determinación de proteínas en alimentos.

NOM-086-SSA1-1994. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

NOM-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos.

Ocaña, V. L. G. 2020. Comparación de la solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de almidón de *Musa acuminata* y *Zea mays*. Facultad de ingeniería, Ingeniería agroindustrial.

Olivera, D. L. C. A.R., Ortega, J. E., Díaz, R. P., Aranda, I. E., Ramos, J. J. y Mendoza, M. G. 2019. *Pleurotus ostreatus* Effects on agricultural waste degradation. *Agrociencia* 53:25-33.

Olguín, P. C. y Alvares Á. M. C. 2011. La malanga (*Colocasia esculenta* (L) Shott) bajo un enfoque de Investigación-Desarrollo. Biblioteca básica de la agricultura. Vol. 4, No. 2011.

Ordaz, J. J., Contreras, L. E., González M. F., González, O. L. G., Onofre S. J y Ramírez G. J. 2021. Physical and chemical characterization of *Zingiber officinale* in different maturity stages for its potential use in the elaboration of healthy beverages. *Padi Boletín Científico de Ciencias e Ingenierías del ICBI*, vol 9. No. 17, pp 82-87.

Ortiz, N. J. F. 2018 Caracterización de las partes transformadas y su incidencia en las propiedades mecánicas para su fabricación de guardachoques con polipropileno

de alto impacto en la empresa carrocera construcciones mecánicas Albán en la ciudad de Latacunga. Facultad de ingeniería civil y mecánica. Ambato, Ecuador.

Pachuaui, L., Subhra D. R., Bidyapati, D. T., Deka, D., y Hauzel, L. 2018. Taro starch (*Colocasia esculenta*) and citric acid modified taro starch as Tablet disintegrating agents. International Journal of Biological macromolecules.

Peña, C. E. F. 2017. Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno). Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Peñaranda, G. L. V., Montenegro, G. S. P., Giraldo, A. P. A. 2017. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, vol. 8 N° 2 (ISSN-e 2145 6453), 141–150.

Peraza, P. G. B., Hernández, S. R. M, Vega, B. H., Ruíz, M. J. N., Robles, G. J. M y Osorio O. R. 2020. Effect of antioxidants on the physicochemical and sensory quality of jicama (*Pachyrhizus erosus*) minimally processed. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 21. No. 1.

Pereyra F. y Cambra M. 2018. Obtención y caracterización de almidón químicamente modificado de arroz. Jornadas de jóvenes investigadores de AUGM.

Pimentel, B. D. C., Castaño O. J. C., Duque, C. A. L. y Padilla S. L. 2018. Extraction of colorants from *Curcuma longa* L. rhizomes by oil solubilization. Revista Cubana de Plantas Medicinales, Vol. 23, No. 3.

Piña, A. B., Nieto, M. D. A., y Robles, M. F. 2017. Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus spp.*). Revista Internacional De Contaminación Ambiental, 32, 141–151.

Portuguez, M. A. J., Huamani, H. A. L., Ponce, R. J. C., Hernández, M. J. E., De la Cruz, Q. W. H., Trejo, E. A. y Pariona, E. F. R. 2020. Determination of the estraction technology of the chia seed mucilage (*Salvia hispánica* L.) and evaluation of its functional properties. *Brazilian Journal of Development*. ISSN 2525-8761, vol 6, pp. 8148-8166.

Púa, A. L., Barreto G. E., Zuleta, J. L y Herrera O. D. 2019. Análisis de nutrientes de la raíz de malanga (*Colocasia esculenta* Schott) en el trópico seco de Colombia. *Información tecnológica*. Vol. 30(4), 69-79.

Quevedo, Z. L. C., Obtención de nanopartículas de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) y malanga (*Colocasia esculenta*) mediante hidrólisis enzimática parcial asistida con ultrasonido. Tesis de Maestría. Universidad del Papaloapan Tuxtepec.

Ramírez, B. G. 2020. Extracción con ultrasonido y su efecto sobre las propiedades funcionales y estructurales del almidón de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nayarit.

Rentería A., López ,S. S. E., Paredes, P. A. V. y Baño, A. D. J. 2021. Obtaining Chinese potato starch (*Colocasia esculenta*) by three extraction methods. *Polo del conocimiento*. ISSN 2550_682X, vol 6 No. 8, pp 702-7115.

Robayo, G. J. D. 2018. Elaboración de un biopolímero a base de almidon de yuca como indicador de cambio de pH para un queso tipo Paipa. Proyecto de grado. Universidad de los Andes, Faculta de Ingeniría.

Rodríguez, D. O. A., Correa, D. M. A., y Garro, M. S. 2017. Selected lactobacilli and bifidobacteria development in solid state fermentation using soybean paste. *Revista Argentina de Microbiologia*, 49(1), 62–69.

Rodríguez, M. N., Sánchez, H. S. G., Ponce, L. B. y Alva, G. E. D. 2018. Evaluación de coliformes totales en sustrato de olote en la región del valle del Mezquital. *Revista de Investigación y Desarrollo*. 4-11: 1-5.

Salazar, G. D. C. y Sobrado, R. D. J. 2019. Obtención de biopelículas a partir de dos variedades de maíz amiláceo y amarillo duro (*Zea mays* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Sánchez, R. J. 2020. Efecto de la modificación dual mediante molienda de bolas y entrecruzamiento sobre las propiedades de almidón de malanga (*Colocasia esculenta* L.). Instituto Tecnológico de Veracruz. México.

Santamaría, M., Garzón R., Moreira R., Rosell C. M., 2021. Estimation of viscosity and hydrolysis kinetics of corn starch gels based on microstructural features using a simplified model, *Carbohydrate Polymers*, vol. 273, ISSN: 0122-8617.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. 2020. Reporte del Mercado de Maíz.

Sierra, M. K. S. 2021. Elaboración y caracterización de una película biodegradable utilizando cascara de naranja (*Citrus X sinensis*). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Sigüencia, A. J. M., Delgado, N., J. W., Posso, R. F. R., y Sánchez, Q. J. P. 2020. Estimación del potencial de producción de bioetanol a partir de los residuos de la corteza del cacao en Ecuador. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-20.

Singla D., Singh A., Dhull S. B., Kumar P., Malik T and Kumar P. 2019. "Taro starch Isolation morphology modification and novel applications concern a review" *Journal of Biological Macromolecules*, vol. 163, pp. 1238-1290, 2021.

SIEGVER. 2020. Sistema de Información Estadística y Geográfica de estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

Sosa, C., D., García, H. Y., Dustet, M. J. C., García, C. Y., Martínez, P. M., Sosa, C. A., y García, Q. D. 2020. Efecto del aditivo probiótico *Lactobacillus pentosus* LB-31 en pollos de ceba. *Revista MVZ Córdoba*, 26(1), 1–9.

Tao, H., Li, M., Deng, H. D., Ren, K. X., Zhuang, G. Q., Xu, X. M., and Wang, H. L. 2019. The impac of sodiom carbonate on physico chemical properties and cooking qualities of starches isolated from alkaline yellow noodles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 697-702.

Toribio, C. H., Sgastury, B. S. I., Abiega, Q. I., Hernández, M. H., Arcelus, A. P., y Pedraza, S. L. 2019. Determinación rápida de la composición química en residuos agroindustriales por medio de termogravimetría. *Investigaciones científicas y agro tecnológicas para la seguridad alimentaria*, 402.

Tin JL., Jheng H L., Jia C C., y Yung H C. 2008. Characteristics of Taro (*Colocasia esculenta*) sterches planted in different seasons and their relations to the moecular structure of starch. *J Agric. Food Chem*, vol 56, pp. 2208-2215.

Vargas, C. Y. A., y Pérez, P. L. I. 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 1(1), 59-72.

Velásquez, B. F. F. 2019. Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (Osa) a partir de almidones nativos provenientes de tuberculos andinos. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Vera, M. R. R., Vega, C. E., y Sánchez, M. L. 2018. Efecto de *Lactobacillus plantarum* como probiótico en cerdos al destete. *Revista de Salud Animal*, 40(3), 1–7.

Villarreal, D. M.F., Villa, R. E.D., Cira, C. L.A., Estrada, A. M.I., Parra, C. F.I. y De los Santos, V. S. 2017. The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(1): 95-130.

Waniska, R. D y Gomez, M. H. 1992. Dispersión Behaviour of starch. *Food Technology*, 6 (46), pp. 110-113.

Zapata, C. D. M. 2019. Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con gel de sábila (*Aloe vera*). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Piura.

Zhen, Y., Su, W. J., Zhi, Z., Xin, M. C., Zhi G. H., Jing. J. X. y Li, J. P. 2019. Preparation and properties of OSA modified taro starches and their application for stabilizing pickering emulsions. *National Library of Medicine*. Vol. 137, p.p. 277-285.