

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN  
YOGURT CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LECHE CON EXTRACTO  
DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis*) A FIN DE ELEVAR SU GRADO  
PROTEICO”**

AUTOR: Mg. LEONARDO RUFINO, CARLOS PEREYRA

PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de setiembre de 2023 al 31 de agosto de 2024

Resolución de aprobación N° 590-2023-R

CALLAO, 2024

PERÚ





## **FORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD**

Ingeniería Química

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química

### **TÍTULO DEL PROYECTO**

FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN YOGUR CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LECHE CON EXTRACTO DE CHOCHO (*Lupinus muatabilis*) A FIN DE ELEVAR SU GRADO PROTEICO.

### **DOCENTE RESPONSABLE**

Mg. Leonardo Rufino Carlos Pereyra.

CATEGORÍA: Asociado

DEDICACIÓN: TC

Cod.ORCID: 0000-0003-0919-6081

DNI: 08102731

**ESTUDIANTE(S) DE APOYO:** Ninguno

**PERSONAL ADMINISTRATIVO:** Ninguno

### **LUGAR DE EJECUCIÓN**

Instalaciones de TECNIQSO SAC.

Laboratorio de Operaciones Unitarias de la FIQ- UNAC.

### **UNIDAD DE ANÁLISIS**

Yogurt con extracto de chocho.

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

- Aplicada

### **ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**



- Cuantitativo

## **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

- Experimental

## **TEMA OCDE**

2.00.00 Ingeniería, tecnología

2.04.01 Ingeniería Química



## DEDICATORIA

*A la memoria de todos a aquellos hombres cultores de la ciencia, cristianos o agnósticos que brindaron su genialidad a quienes pretendan penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.*

*Y también a todos los que estudian, enseñan o admiran a la prodigiosa ciencia de los tamaños, de las formas, de los números, de las medidas, de las funciones, de los movimientos y de las transferencias de masa y energía.*

*El autor*



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dar las gracias a todas las personas que de una u otra forma han hecho posible la realización de este trabajo.

De forma especial a la empresa TECNIQSO SAC, por permitirnos el ingreso de nuestros materiales y equipos, a vuestro laboratorio a fin de formular el yogurt con diferentes concentraciones de extracto de chocho.

A la Universidad Nacional del Callao, quien a través del fondo especial de desarrollo Universitario (FEDU) por brindarme el apoyo económico para desarrollar este proyecto, compartiendo experiencias y estrategias con otros colegas dedicados a diversas formulaciones con añadidura de productos andinos de alto poder nutritivo, logrando obtener un yogur apto para combatir la anemia principalmente en los niños en edad escolar.

Vaya mi reconocimiento especial a Yvonne Amparo Savero Abuhabda, por participar en la obtención de la data para este trabajo de investigación. Así mismo a los directivos y al personal técnico del laboratorio de Operaciones Unitarias e Investigación de la FIQ-UNAC.

A todos mis familiares expreso mis más cálidas palabras de gratitud por comprenderme y por unirse a mi causa como un solo puño, el reconocimiento especial a mi esposa Nice y a mis hijos: Loit y Samir por brindarme el apoyo moral y la energía radiante con la cual logré concluir con este aporte orientado a preservar la salud del ser humano elevando su inmunología.



# ÍNDICE

TABLA DE ABREVIATURAS.....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	13
1.2 Formulación del problema.....	14
1.2.1. <i>Problema General</i> .....	14
1.2.2 <i>Problemas específicos</i> .....	14
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	14
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	15
1.4 Justificación .....	15
1.5 Limitantes de la investigación.....	16
1.5.1 <i>Teórico</i> .....	16
1.5.2 <i>Espacial</i> .....	16
1.5.3 <i>Temporal</i> .....	16
1.6 Delimitantes .....	17
II. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	18
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	21



2.2 Bases teóricas .....	22
2.2.1 Yogurt.....	22
2.3 Marco conceptual.....	33
2.3.1 El chocho .....	33
2.4 Definición de términos básicos .....	38
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	40
3.1 Hipótesis .....	40
3.1.1 Operacionalización de variables.....	40
3.2 Operacionalización de las variables.....	40
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	42
4.1 Diseño metodológico.....	42
4.1.1 Por su finalidad .....	42
4.1.2 Por su diseño interpretativo.....	42
4.1.3 Por el nivel de estudios .....	42
4.1.4 Por su ámbito de desarrollo.....	42
4.2 Método de investigación .....	42
4.3 Población y muestra .....	43
4.4 Lugar de estudio y periodo de desarrollo.....	44
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la data .....	44
4.5.1 Materiales y/o equipos.....	44
i. Material biológico.....	44
ii. Materiales de laboratorio .....	44
4.5.2 Descripción del proceso.....	46
4.6 Análisis y procesamiento de datos .....	59



4.6.1 Datos obtenidos en la prueba experimental .....	59
V. RESULTADOS .....	78
5.1 Resultados descriptivos .....	78
5.2 Resultados inferenciales .....	81
5.3 Otro tipo de resultados estadísticos .....	83
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	84
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	84
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	84
6.3 RESPONSABILIDAD ÉTICA .....	85
VII. CONCLUSIONES.....	86
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
ANEXOS .....	91
ANEXO 1. <i>MATRIZ DE CONSISTENCIA</i> .....	92
ANEXO 2. <i>BASE DE DATOS</i> .....	93



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química y biológica del yogurt.....	23
Tabla 2: Clasificación taxonómica del chocho .....	34
Tabla 3: Composición de ácidos grasos del chocho (% de ácidos grasos totales) .....	36
Tabla 4: Análisis bromatológico .....	37
Tabla 5: Operacionalización de variables .....	41
Tabla 6: Características sensoriales de la leche .....	50
Tabla 7: Principales análisis fisicoquímicos de la leche .....	51
Tabla 8: Cuadro con las formulaciones trabajadas.....	52
Tabla 9: Data de la formulación I (2%).....	60
Tabla 10: Data de la formulación II (4%).....	63
Tabla 11: Data experimental de la formulación III .....	67
Tabla 12: Data para identificar el modelo reométrico (para 2%) .....	72
Tabla 13: Data para identificar el modelo reométrico (para 4%) .....	73
Tabla 14: Data para identificar el modelo reométrico (para 6%) .....	74
Tabla 15: El cuadro muestra los valores de índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n).....	76
<i>Resultados del análisis descriptivo del SPSS de la formulación I (2%)</i> tabla 16:	
Resultados del análisis descriptivo del SPSS de la formulación I (2%).....	78
Tabla 17: Resultados de la prueba de normalidad de la formulación I (2%) .....	79
Tabla 18: Resultados del análisis descriptivo realizados en el SPSS de la formulación II (4%) .....	80
Tabla 19: Resultados de la prueba de normalidad de la formulación II (4%) ....	81



**Tabla 20: Lectura de las correlaciones de la formulación I..... 82**

**Tabla 21: Lectura de las correlaciones de la formulación II (4%) ..... 83**



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Yogur natural.....	24
Figura 2: Tipos de fluidos.....	26
Figura 3: Comportamiento de la viscosidad absoluta a diferentes temperaturas .....	31
Figura 4: Flor del chocho .....	35
Figura 5: Diagrama de flujo para la elaboración del yogurt con sustitución parcial de extracto de chocho .....	46
Figura 6: Recepción de los granos de chocho .....	47
Figura 7: Residuo de la filtración.....	48
Figura 8: Obtención del extracto de chocho .....	49
Figura 9: Medición de la densidad.....	51
Figura 10: Pasteurización de la mezcla láctea.....	53
Figura 11: Enfriado de la mezcla láctea .....	54
Figura 12: Adición de cultivo .....	55
Figura 13: Colocación a la incubadora.....	56
Figura 14: Batido del yogurt.....	57
Figura 15: Envasado de yogurt con extracto de chocho .....	57
Figura 16: Reómetro del Centro de Investigación.....	59
Figura 17: Gráfica del esfuerzo de corte vs velocidad de deformación .....	62
Figura 18: Gráfica de la viscosidad vs velocidad de deformación .....	63
Figura 19: Gráfica del esfuerzo de corte vs velocidad de deformación .....	66
Figura 20: Gráfica de la viscosidad vs velocidad de deformación .....	67



**Figura 21: Gráfica del esfuerzo de corte vs velocidad de deformación ..... 70**

**Figura 22: Gráfica de la viscosidad vs velocidad de deformación ..... 71**

**Figura 23: Gráfica para comparar esfuerzos de corte vs velocidad de  
deformación..... 74**

**Figura 24: Gráfica de la velocidad de deformación vs esfuerzo de corte ..... 75**

**Figura 25: Ley de potencias a las diferentes concentraciones..... 76**



## TABLA DE ABREVIATURAS

UNAC	: Universidad Nacional del Callao
pH	: potencial de hidrógeno
%	: porcentaje
%m/m	: porcentaje masa de soluto
Min.	: mínimo
FIQ	: Facultad de Ingeniería Química
$\mu$	: Pa.s
$\gamma$	: Velocidad de deformación
$\tau$	: esfuerzo de corte
m.s.	: masa sólida
k	: índice de consistencia
n	: índice de comportamiento reológico
mL	: mililitro
N	: normalidad
Pa	: Pascal
Kg	: kilogramo
g/L	: gramo por litro
m	: metro
s	: segundo
F-I	: formulación I
F-II	: formulación II
F-III	: formulación III



## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue la formulación y caracterización reológica de un yogurt con sustitución parcial de leche con extracto de chocho ( *Lupinus mutabilis*) a fin de elevar su grado proteico. Para tal efecto, el procedimiento utilizado fue obtener el extracto de chocho para luego añadirlo en la etapa de estandarización del yogurt natural, separándose esta en tres partes a fin de tener tres formulaciones de 2%,4% y 65; obteniendo un yogurt parcialmente sustituido con similares características organolépticas. Los análisis reológicos se realizaron en el reómetro Rheo lab obteniéndose que su comportamiento de este yogurt es el de un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico y que se ajusta al modelo reológico de Oswald de Waele, y que la adición del extracto del chocho tiene influencia sobre el comportamiento reológico. Cabe mencionar que la composición fisicoquímica varía según la procedencia de la leche y la especie de chocho utilizado. Por Tanto, se logró obtener un yogurt con añadidura parcial de extracto de chocho con incremento de grado proteico y con las características propias de este tipo de bebida fermentada.

**Palabras clave:** Yogurt, chocho, reología, grado proteico.



## ABSTRACT

The objective of this work was the formulation and rheological characterization of a yogurt with partial replacement of milk with lupin extract (*Lupinus mutabilis*) in order to raise its protein level. For this purpose, the procedure used was to obtain the lupine extract and then add it in the standardization stage of the natural yogurt, separating it into three parts in order to have three formulations of 2%, 4% and 65; obtaining a partially substituted yogurt with similar organoleptic characteristics. The rheological analyzes were carried out in the Rheo lab rheometer, obtaining that the behavior of this yogurt is that of a non-Newtonian fluid of the pseudoplastic type and that it fits the rheological model of Oswald de Waele, and that the addition of the lupine extract has an influence on rheological behavior. It is worth mentioning that the physicochemical composition varies depending on the origin of the milk and the species of lupine used. Therefore, it was possible to obtain a yogurt with partial addition of lupine extract with an increase in protein level and with the characteristics of this type of fermented drink.

**Keywords:** Yoghurt, chocho, rheology, protein content.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación trata sobre la formulación ideal de un yogurt batido con sustitución parcial de extracto de chocho en proporción óptima de manera que eleve su grado proteico y conserve sus propiedades organolépticas, además, su caracterización reológica. Como antecedente se tiene el estudio de las características físico-químicas y sensoriales de yogurt enriquecido con quinua. Según Coronel (2018), ante la importancia demostrada del consumo de leches fermentadas, como en este caso el yogurt, para la salud humana ha motivado el crecimiento de productos lácteos a base de yogurt mezclados con insumos no convencionales de origen no lácteo (cereales, semillas, fibras, etc.) lo cual contribuye a una buena nutrición.

Con el desarrollo de este trabajo se pretende desarrollar un proceso con la finalidad de obtener una formulación que permita una adecuada sustitución parcial de la leche de vaca por extracto de chocho para elevar su calidad proteica, que pueda usarse como una alternativa para la buena nutrición ya la vez aprovechar los granos o semillas propios de nuestro país (Tapia & Fries, 2007)

El proceso general consiste en dos etapas, primero es la obtención del extracto de chocho que involucra los siguientes pasos: selección, pesaje, pelado, escaldado, enjuague,, escurrido, licuado, filtrado, pasteurizado y enfriado; la segunda etapa es la preparación de la base del yogurt donde iniciamos con: recepción de la leche fresca de vaca, filtrado o aclarado, control de calidad, estandarizado (aquí se agrega lo obtenido en la primera etapa), pasteurización, primer enfriado, adición del cultivo, mezclado segundo enfriado, batido, envasado y almacenamiento. Se realizaron 3 formulaciones con proporciones de extracto de chocho del 2%, 4% y



6% con la finalidad de obtener una formulación que se asemeje sus características organolépticas al yogurt sin agregados, así como, el estudio de sus características reológicas.

La principal dificultad en el desarrollo de este trabajo fue no contar con el reómetro del Centro de Investigación de la FIQ-UNAC en óptimas condiciones.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

Considerando que es importante la elaboración de nuevos productos que nos permitan ampliar las alternativas de mercado que el país ofrece y teniendo en cuenta la demanda de productos naturales ya que la sociedad humana se sustenta en el aprovechamiento de ellos, surge el presente tema de investigación.

El chocho a pesar de ser un producto muy conocido y consumido en su forma básica, no son aprovechadas sus características nutricionales y posibilidades gastronómicas. Lamentablemente su consumo no está masificado con la difusión de información nutricional y de salud a los consumidores. La demandan de nuevos productos lácteos con nuevas formulaciones a los existentes o alternativas de otros productos no lácticos por lo que surge la necesidad de formular un yogur elaborado con la adición del extracto del chocho que es un grano andino que contiene elevado contenido de proteínas y se produce en el país.

El chocho es un producto que los pueblos andinos valoran y explotan sus propiedades.

Los resultados de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES) realizado en el 2023, que fue realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], concluye que en los últimos dos años la desnutrición crónica en niños y niñas se ha incrementado de 7,1% al 8,1% en el área urbana mientras que sigue siendo significativa en el área rural del 23,9% al 20,3% a pesar de su disminución en comparación con el año 2022. (INEI, 2023)

El Perú, cuenta con el 10% de las especies de flora del planeta, esto se debe a que alberga alrededor de 25 mil especies diferentes gracias a las 11 ecorregiones



existentes en nuestro territorio; asimismo, el 30% de ellas son endémicas, es decir únicas en el mundo.

Debido a todo ello, se busca impulsar el consumo del chocho, dando a conocer la diversidad cultural del Perú y así aprovechar las bondades que nos ofrece esta leguminosa, porque contiene un elevado contenido de proteínas siendo ideal para suministrar a nuestra dieta diaria.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuál será el comportamiento reológico que mejor se asocie al yogurt con adición del extracto de chocho (*Lupinus mutabilis*)?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles serán las características fisicoquímicas del extracto de chocho (*Lupinus mutabilis*) a incrementar en la elaboración de un yogurt nutricional?
- ¿Cómo será la correlación no lineal de los datos experimentales orientadas a obtener los parámetros reológicos asociados al yogurt formulado con la añadidura del extracto de chocho a diferentes concentraciones y a temperatura ambiente?
- ¿Cómo serán los reogramas asociados al yogurt formulado con añadidura de extracto de chocho con diferentes concentraciones y a temperatura ambiente?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar el comportamiento reológico asociado al yogurt proteico con adición del extracto de chocho (*Lupinus mutabilis*)

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las características fisicoquímicas del extracto del chocho (*Lupinus mutabilis*) a incrementar en la elaboración del yogurt nutricional.
- Determinar los parámetros reológicos del modelo asociado al yogurt con extracto de chocho a diferentes concentraciones y a temperatura ambiente.
- Obtener los reogramas asociados al yogurt formulado con añadidura de extracto de chocho con diferentes concentraciones y a temperatura ambiente.

### **1.4 Justificación**

El presente trabajo de investigación se justifica por:

#### **1.4.1 Por su aspecto social**

Este proyecto tiene repercusión en la alimentación debido a que es un producto natural enriquecido con una semilla de alto grado proteico de manera que, permita ser aprovechado en la dieta básica de niños y jóvenes especialmente en edad escolar.

#### **1.4.2 Por su aspecto ecológico**

El chocho es una semilla autóctona de la serranía del Perú, además es de bajo costo. Es un cultivo alternativo en las áreas marginales de la sierra, porque este grano andino representa uno de los componentes de los sistemas de rotación de cultivos y por último es un fijador de nitrógeno del aire contenido en el suelo.

#### **1.4.3 Por su aspecto tecnológico**

Porque nos permitirá aplicar una serie de principios fisicoquímicos y microbiológicos aplicado a un proceso unitario.

#### **1.4.4 Por su aspecto económico**

Porque durante un proceso de industrialización de este grano andino generará ingresos y beneficios a todos los involucrados en la cadena alimentaria: Productores, intermediarios, procesadores, distribuidores y consumidores.

Se justifica económicamente porque al producir este yogur, tecnológicamente garantizaremos el más alto grado proteico generando fuente de trabajo y empleo en la misma zona de producción del grano ancestral.

### **1.5 Limitantes de la investigación**

#### **1.5.1 Teórico**

Para el presente trabajo no se tuvo mayor dificultad para recabar información y organizarlo en secuencia lógica, orgánica y deductiva de los temas ejes que forman parte del marco teórico en la que se circunscriben las variables del problema de la investigación.

#### **1.5.2 Espacial**

Se tuvieron que realizar pruebas externas de análisis debido a que en el laboratorio de investigación de la UNAC no se contaba con el equipo operativo.

#### **1.5.3 Temporal**

El tiempo otorgado para el desarrollo de este proyecto fue insuficiente, debido a la obtención y proceso que demanda la materia prima para la obtención del extracto de chocho.

## 1.6 Delimitantes

- **Delimitación en el tiempo:** El trabajo se realizó durante periodo 2023-2024, en los meses de setiembre a agosto.

- **Delimitación en el espacio físico geográfico** Se trabajo con una especie de chocho, procedente de la ciudad de Cabana, departamento de Ancash. La muestra se obtuvo de la cosecha del mes de junio. Cabe mencionar que se han identificado 70 especies (Tapia, 2015) en el Perú existen muchas variedades de Tarwi según Añahuari (Añahuari, 2013) como: "Andenes 80", "Cuzco", "K'ayra", "Carlos Ochoa", "Yunguyo", "Altagracia", "H6", "SCG-9", "SCG-25", "SLP-1", "SLP-2", "SLP-3", "SLP4", "SLP-5" entre otros.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Después de haber revisado algunas investigaciones se ha encontrado información relacionada con la variable dependiente:

#### **2.1.1 Antecedentes Internacionales**

Rocabado y Quintanilla (2011) en su trabajo de investigación “La revalorización y aprovechamiento de las excelentes cualidades nutritivas de los granos andinos (quinua, cañahua, amaranto y tarwi)”, dicen: El procesamiento de granos andinos (quinua, cañahua, amaranto y tarwi) en mezclas de harinas altamente nutritiva y su utilidad en la elaboración de galletas, se constituyen en alimentos de bajo costo y fisiológicamente adecuados porque contiene los niveles óptimos de proteína aminoácidos minerales necesarios para satisfacer los requerimientos nutricionales de los niños en especial. La alternativa de formular un estudio de transformación de los granos andinos (quinua cañahua, amaranto y tarwi) en harina de alto valor nutritivo y alimentos de consumo (galletas), es una oportunidad de generar valor agregado a la simple dinámica producción comercialización que hasta ahora se ha estado practicando de manera incipiente. La novedad científica de este trabajo se basa en que “La revalorización y aprovechamiento de las excelentes cualidades nutritivas de los granos andinos (quinua, cañahua, amaranto y tarwi), es orientada por primera vez a la obtención de “harina altamente nutritiva” y la elaboración de galletas; cuyos resultados de análisis bromatológico y nutricional del producto y subproductos terminados serán el indicado del beneficio nutricional para niños en edad escolar. (Rocabado, 2011)

Manotoa (2023), Realizó la investigación sobre el efecto de harina de papa china (*Colocasia esculenta*) y chocho en la formación del yogur, así como su efecto en la viscosidad y sinéresis del producto obtenido. Se usó diferentes concentraciones de harinas obteniendo el mejor resultado con aquella que tiene un porcentaje de 0,9 además, se mostró su alto contenido en cenizas, fibra y carbohidratos, así como su alto contenido proteico, lípido y calórico. (MANOTOA, 2023)

Farinango y Quizhpi. (2015); en la tesis titulada “Preparación de un suplemento proteico elaborado a partir de chocho y su valoración bromatológica” en su investigación para obtener el título de Bioquímico-Farmacéutico en la Universidad de Cuenca; sostienen que en la preparación del producto se partió del grano de chocho, el cual fue procesado para eliminar los alcaloides y la fibra contenida en la corteza, con el posterior secado y molido para obtener el polvo base.

A partir del polvo obtenido, se preparan cuatro fórmulas de suplemento las cuales tenían en común la misma cantidad de edulcorantes y conservantes, variando únicamente el sabor. (Farinango Y Quizhpi, 2015)

Limones y García (2011); en su informe de proyecto de investigación titulado “Elaboración de sopa instantánea a partir de harina de chocho”, para obtener el título de ingeniero de alimentos en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, dicen: En la actualidad el chocho es muy cultivado en la serranía ecuatoriana, pasó de ser un alimento consumido solo por personas de estratos bajos a ser un producto que poco a poco va ocupando un puesto en los supermercados. Por ello, la necesidad de tomar este grano leguminoso y aprovechar su alto contenido de proteínas para obtener una harina con buenas propiedades funcionales para diseñar una variedad de productos atractivos. Como por ejemplo obtener mezclas de harina que nos permita preparar



una sopa instantánea, con el fin de proveer requerimientos mínimos de nutrición y en mínimo tiempo de preparación. (Limonés y García, 2011)

Fernández (2018); en su trabajo de tesis de pregrado *Comportamiento Reológico de Salsas y Pastas de Tomate Presentes en el Mercado Ecuatoriano*, analizo diferentes marcas comerciales de salsas, aderezos y concentrados de tomate cuyo objetivo principal fue comparar las características reológicas de cada uno de ellos utilizando un viscosímetro rotacional de cilindro concéntricos marca FUNGILAB (modelo EVO Expert) las muestras se analizaron a una velocidad constante de 0.5 rpm a temperaturas de 21°C, 25°C y 30°C con tiempos de medición de 300s, 500s y 700s. La caracterización del tipo de fluido se hizo estableciendo la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, concluyendo su comportamiento pseudoplásticos basándose en el modelo reológico de Herschel–Bulkley. (Fernández, 2018)

Gutiérrez (2013), en su trabajo de investigación: Efecto del tipo de carnaza sobre las propiedades reológicas del licor de gelatina pura de origen bovino , determinó las propiedades reológicas de licor de gelatina pura de origen bovino , para lo cual se tomaron como factores principales de estudio, el tipo de carnaza (fresca y seca ), la temperatura del licor de gelatina(50°C,55°C y 60°C) y la concentración del licor de gelatina (43,38,34,32,30,28 y 26°Brix), utilizando un viscosímetro rotacional BROOKFIELD LVTD , concluyo que el comportamiento reológico del licor de gelatina es de tipo Newtoniano y no Newtoniano este último analizado a través del modelo de Ostwald de Waele o la ley de Potencia .(Gutierrez, 2013)



### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Tinoco (2016), en su trabajo de tesis de pregrado *Efecto de la Temperatura y concentración en el perfil reológico de la pulpa de melón*, evaluó muestras en 4 concentraciones 6,4 °Brix, 10°Brix, 20 °Brix y 30 °Brix, asimismo se determinó a 4 temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C y 50°C utilizando un viscosímetro rotacional Brookfield, concluyó que la pulpa de melón muestra un comportamiento no newtoniano ajustándose al modelo de Ostwald De Waele. (Tinoco, 2016)

Amaranto y López (2016) ,en su trabajo de Tesis de pregrado *Caracterización Reológica de jalea elaborada a base de sábila , membrillo y mango*, evaluaron la jalea mediante un reómetro de cilindros concéntrico , estudiaron muestras que contenían 17 °Brix en el intervalo de temperatura de 10°C a 80°C , la ley de potencia ha descrito adecuadamente el comportamiento reológico, concluyeron que debido a los bajos valores obtenidos para el índice de comportamiento al flujo confirman el comportamiento de un fluido pseudoplástico. (Amaranto & Lopez , 2016)

Asto y Suere (2013), en su trabajo de tesis de pregrado *Comportamiento reológico de la salsa de ají jalapeño a diferentes concentraciones de goma xantana*, evaluaron el comportamiento reológico de la salsa de ají jalapeño a 3 concentraciones de goma xantana(0,2;0,4; y 0,6% P/P), la obtención de los modelos reológicos se llevó a cabo en el viscosímetro de BROOKFIELD DV III ULTRA spindle N°6 para las concentraciones de 0,2 y 0,4 % y N°7 para la concentración de 0,6% , concluyeron que los datos de esfuerzo cortante y velocidad de deformación obtenidos se ajustaban al modelo Ostwald de Waele que obedece a la ley de potencia. (Asto, 2013)

Márquez, Pretell y Siche (2012); en su *artículo Efecto de la temperatura y concentración de sólidos solubles sobre las propiedades reológicas de la pulpa de la*



*guanábana*, evaluaron las propiedades reológicas de la guanábana a 30°C, 40°C, 50°C y 60°C y concentraciones de sólidos solubles de 15, 20, 25 y 30 brix usando un reómetro rotacional, concluyeron que el comportamiento fue de un fluido plástico general y fueron ajustados adecuadamente por el modelo de Herschel-Bulkley. (Marquez y otros, 2016)

Coronel, (2018) en su tesis doctoral: *Estudio de las características físico-químicas y sensoriales de yogurt enriquecido con quinua* ((*Chenopodium quinoa Willd*), estudiaron la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial durante la fermentación y almacenamiento, también se estudió el perfil lipídico y los compuestos orgánicos volátiles en la harina de quinua y leches fermentadas. Concluyeron que en la fermentación se obtuvo los mayores niveles de pH y acidez, el incremento de la concentración de harina de quinua influye directamente en el perfil lipídico, las formulaciones trabajadas presentan comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico y por último hay presencia de compuestos volátiles en las harinas de quinua y en las leches fermentadas formuladas. (Coronel, 2018)

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Yogurt**

El yogur es un tipo de leche fermentada (CODEX, 2022), la más conocida y de mayor consumo a nivel mundial (Early, 1998). Con su consistencia viscosa es un gel resultado del tratamiento de la leche con bacterias lácticas las bacterias *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, las cuales están en la proporción de 1:1 (Salvatierra, 2004), acidificando y coagulando a partir de la fermentación de la lactosa (azúcar de la leche) en ácido láctico.



Las bacterias inoculadas transforman la lactosa en ácido láctico, lo que le da al yogur su textura y su sabor distintivo.

Los *Lactobacillus bulgaricus*, son bacilos microaerófilos, grampositivos y catalasa negativos. Estos lactobacillus homofermentativos forman 2.7% de ácido láctico en el proceso de fermentación de los azúcares. Se desarrolla en temperaturas entre los 42° y 45°C y genera la disminución del pH.

**Tabla 1**

*Composición química y biológica del yogurt*

Característica	Rangos porcentuales
Proteína (%m/m)	Min. 2,5%
Grasa láctea (%m/m)	Menos del 15%
Acidez valorable, expresado en % de ácido láctico (%m/m)	Min. 0,6%
Cultivos simbióticos de <i>Streptococcus thermophilus</i> y <i>Lactobacillus delbrueckii subesp. Bulgaricus</i> (ufc/g, en total)	Min. 10 <sup>7</sup>

*Fuente:* CODEX ALIMENTARIO (2011, p. 4)

### 2.2.2 Tipos de yogur

Actualmente, existe una gran diversidad de yogur, la diferencia tiene que ver con la forma de su presentación y con el producto final. Los tipos de yogur que vamos a describir son seis

#### a. Yogur natural

Es el yogur que no tiene ningún agregado adicional, solo los microorganismos típicos (*Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*) y sólidos de leche. Este tipo de yogur presenta textura firme como la consistencia de



un pudín. Su pH final es igual o inferior a 4,6.

### **Figura 1**

#### *Yogurt natural*



Fuente: Stock by Getty Images (<https://www.istockphoto.com/es/foto/dos-porciones-de-yogur-org%C3%A1nico-casero-natural-fresca-gm678908208-125786319>)

#### **b. Yogur natural azucarado**

Es el yogur natural al que se le ha añadido azúcar, ya sea en su forma cristalizada o en jarabe.

#### **c. Yogur edulcorado**

Es el yogur natural al que se le ha añadido edulcorantes autorizados. Es probable que en ellos el contenido energético sea menor.

#### **d. Yogur frutado**

Es el yogur natural al que se le han añadido frutas, zumos y otros productos naturales. También se le añade azúcar como edulcorante, ya sea en su forma cristalizada o en jarabe.

#### **e. Yogur aromatizado**



Es el yogur natural al que se le han añadido aromas y otros ingredientes alimenticios con propiedades aromatizantes.

#### **f. Yogur pasteurizado después de la fermentación**

Este yogur es también llamado de larga conservación (dos a cuatro meses). Es el producto obtenido a partir del yogur que, como consecuencia de una pasteurización, ha perdido la viabilidad de las bacterias lácticas específicas. Su almacenado, distribución y conservación pueden realizarse a temperatura ambiente.

#### **2.2.3 Reología**

Es el estudio de los principios físicos que regulan el movimiento y la deformación de la materia cuando es sometida a esfuerzos externos, esto es, estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en materiales que son capaces de fluir; definiendo como flujo la deformación continua generada por la aplicación de una fuerza tangencial. Las propiedades que dependen de esta relación se denominan parámetros reológicos y la forma como se relacionen se llama modelo reológico.

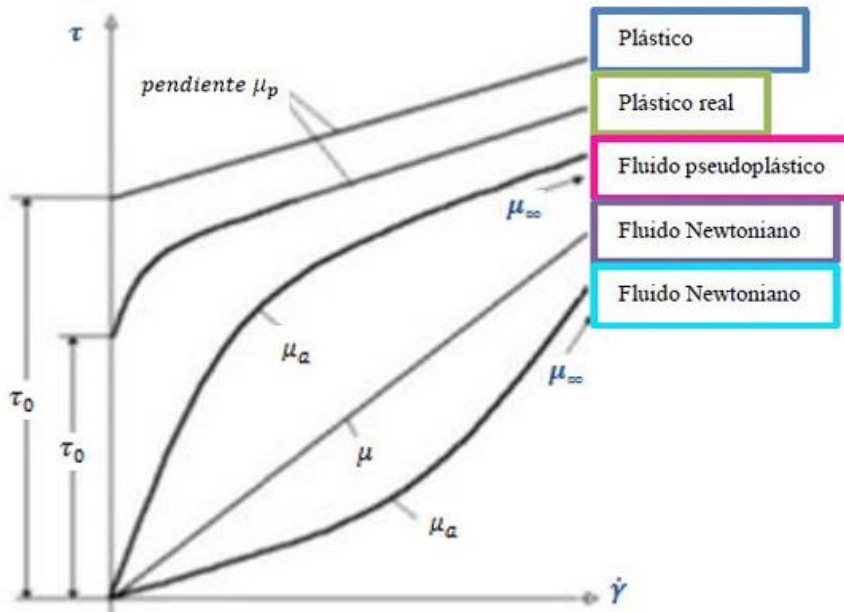
Para la definición de los parámetros reológicos se tiene en cuenta el flujo laminar, en el cual se entiende el fluido como varias capas que se deslizan una sobre otra.

Según Ramirez, existen tres tipos de fluidos: Newtonianos (proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); No Newtonianos (no hay proporcionalidad entre el Esfuerzo Cortante y la Velocidad de Deformación); y Viscoelásticos (se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos). (Ramirez, 2006) (Pascual, 2016)



**Figura 2**

*Tipos de fluidos*



Curva de esfuerzo cortante frente a velocidad de deformación. Fuente: Pascual, (2016)

La relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad viene dada por la ecuación:

$$\tau = \mu \frac{du}{dt} = u \cdot \gamma \dots\dots\dots (1)$$

(Ley de Viscosidad de Newton)

Donde:

$\tau$  : Esfuerzo Cortante (mPa)

$\mu$  : La Viscosidad Dinámica del Fluido (mPa·s),

$\frac{du}{dt}$  : La velocidad de deformación del fluido ( $s^{-1}$ ) =  $\gamma$ .



## 2.2.4 Modelos de ajuste para comportamientos reológicos

a. **Modelo de Ostwald de Waele.** - Se representa por la relación que se muestra en la siguiente ecuación y a menudo recibe el nombre de “Ley de la Potencia”

$$\tau = k * \gamma^n \dots\dots\dots (2)$$

Es un modelo de dos parámetros:

**K** : Índice de consistencia (Pa.sn)

**n** : Índice de comportamiento al flujo (adimensional)

Aplicamos logaritmo natural a ambos miembros de la ecuación tenemos:

$$\ln \tau = \ln K + n \times \ln \gamma \dots\dots\dots (3)$$

Para  $n = 1$ , el modelo representa el comportamiento newtoniano, para  $n > 1$ , el modelo sigue un comportamiento dilatante, mientras que  $n < 1$  indica un comportamiento pseudoplástico.

Una de las objeciones a este modelo es que predice valores de viscosidad aparente infinitos para líquidos dilatantes a altas velocidades de cizalla y nulas para líquidos pseudoplásticos. Por contra, predice viscosidad límite a cizalla cero, nula para líquidos dilatantes e infinita para líquidos pseudoplásticos. Para evitar este inconveniente, se utiliza el modelo de la ley potencial truncada.

b. **Modelo de la Ley Potencial Truncada.** - El fluido se comporta como newtoniano hasta un determinado valor de velocidad de cizalla ( $\gamma$ ), a partir del cual fluye de acuerdo con el modelo de Ostwald:

$$\gamma < \gamma_1 \quad \tau = \tau_1 \left( \frac{\gamma}{\gamma_1} \right) \dots\dots\dots (E4)$$

$$\gamma > \gamma_1 \quad \tau = \tau_1 \left( \frac{\gamma}{\gamma_1} \right)^n \dots\dots\dots (E5)$$

Es un modelo de tres parámetros  $\gamma_1, \tau_1$  y  $n$ , y resuelve la inconsistencia del modelo de Ostwald a bajas velocidades de cizalla.

**c. Modelo de Sisko.** – El modelo desarrollado por Sisko adopta una expresión como la que se muestra en la siguiente ecuación.

$$n_{ap} = k_s * \gamma^{n_s-1} + n_\infty \dots\dots\dots (E6)$$

Siendo, igual que en casos anteriores,  $n_{ap}$  la viscosidad aparente,  $\gamma$ , el gradiente de velocidad aplicada,  $k_s$ , el índice de consistencia,  $n_s$ , el índice de comportamiento y  $n_\infty$ , la viscosidad a gradiente infinito. Este modelo puede ser aplicado en operaciones como el bombeo de alimentos líquidos y los procesos de mezcla que implican altos gradientes de velocidad.

$$\tau = n_0 \operatorname{arcsenh} \left( \frac{\gamma}{B} \right) \dots\dots\dots (E7)$$

**d. Modelo de Eyring.** - La relación entre esfuerzo cortante y velocidad de deformación es de la siguiente forma:

Es un modelo de dos parámetros  $n_0$  y  $B$  que predice el comportamiento pseudoplástico para valores finitos de  $\tau$ , y tiende asintóticamente a la ley de viscosidad de Newton cuando la velocidad de deformación tiende a cero, en cuyo caso  $n = n_0$ . Este modelo tiene una base teórica en la teoría cinética de los líquidos.

**d. Modelo de Ellis.** – Es un modelo de tres parámetros, descrito por la expresión mostrada en la siguiente ecuación. Si el parámetro  $\alpha$  es mayor que la unidad, el modelo tiende hacia comportamiento newtoniano para valores bajos de esfuerzo cortante, si es menor que la unidad, la convergencia hacia la ley de Newton se produce a altos valores de esfuerzo cortante. En ambos casos, el valor de viscosidad dinámica límite es  $n_0$

El parámetro  $\tau_{1/2}$  es el valor del esfuerzo cortante para el que el valor de viscosidad dinámica sea justamente la mitad de  $n_0$

$$\tau = \left[ \frac{n_0}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_{1/2}}\right)^{\alpha-1}} \right] \dots\dots\dots (E8)$$

**f. Modelo de Reiner – Philippoff.**- Es un modelo de tres parámetros que toma la forma mostrada en la siguiente ecuación :

$$\tau = \left[ n_\infty + \frac{n_0 - n_\infty}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_s}\right)^2} \right] \gamma \dots\dots\dots (E9)$$

Representa un comportamiento estructural con viscosidad límite a baja velocidad de cizalla  $n_0$  y a alta velocidad de cizalla  $n_\infty$ . El parámetro  $\tau_s$  representa el valor de esfuerzo cortante para el que la viscosidad aparente toma el valor medio entre  $n_0$  y  $n_\infty$

**g. Modelo de Bingham.** – Se caracterizan por presentar una tensión inicial o residual, a partir de la cual el fluido presenta una relación lineal entre tensión de corte y tasa de deformación.

Esto se expresa por:

$$\sigma = k\gamma + \sigma_0 \dots\dots\dots (E10)$$

Donde  $\sigma_0$ , es el esfuerzo cortante límite, por encima del cual se produce el derramamiento newtoniano.

### 2.2.5 Factores que afectan a la viscosidad de un fluido

Los factores principales que afectan la viscosidad suelen depender de las características del medio de suspensión y de los sólidos suspendidos, puede influir

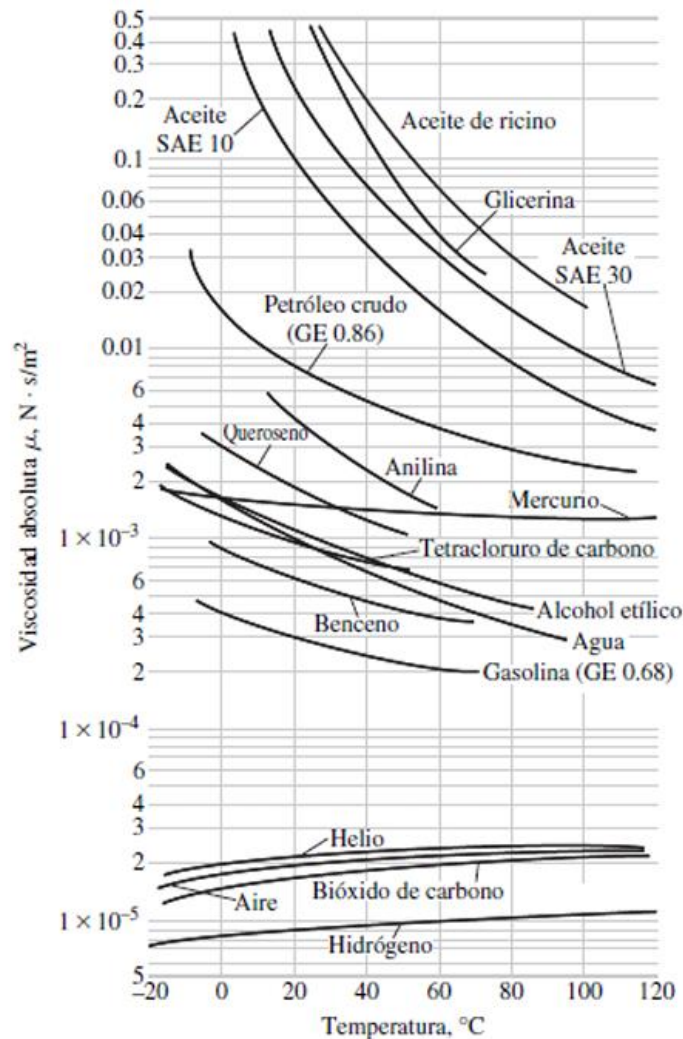
también el tamaño y la forma de las partículas, así como la concentración de sólidos, el peso molecular, la temperatura, la presión y la velocidad de corte.

Existe usualmente una relación inversamente proporcional entre la viscosidad y la temperatura de los líquidos, es decir, un aumento en la temperatura provoca una disminución en la viscosidad. En cuanto a los gases, hay que decir que cuanto mayor es la temperatura, mayor es la agitación y los choques de las moléculas del gas se oponen al movimiento (mayor fricción) produciendo un aumento de la viscosidad del gas. Por otro lado, un aumento en la concentración del soluto genera un incremento no proporcional en la viscosidad a temperatura constante. A la misma concentración de soluto, un aumento en el peso molecular provoca un aumento no proporcional en la viscosidad del fluido. El efecto de la presión normalmente es ignorado en el estudio de los alimentos, porque la viscosidad de la mayoría de los líquidos es esencialmente constante en un rango de presión de 0 a 100 atm. Las suspensiones de partículas simétricamente grandes (aproximadamente de 50 micras o mayores) tienen características newtonianas, en el rango newtoniano, la viscosidad está en función de la concentración de sólidos, en suspensiones de partículas más pequeñas o de formas asimétricas poseen la reología no newtoniana. Este incremento se debe principalmente a la forma en que están entrelazadas las partículas. Altas concentraciones de materia suspendida pueden encontrarse en productos no newtonianos que presenten flujo plástico o dilatante. Finalmente, la viscosidad será una función de la velocidad de corte para los fluidos no newtonianos.



**Figura 3**

*Comportamiento de la viscosidad absoluta a diferentes temperaturas*



Se muestran el comportamiento de la viscosidad de varias sustancias frente a la temperatura. Fuente: Pascual (2016).

### **2.2.6 Instrumentos para determinar la viscosidad de fluidos**

Los viscosímetros son equipos relativamente sencillos, utilizados con el fin de medir la viscosidad del fluido dentro de un rango de velocidades de corte muy limitado; no tienen la capacidad de medir propiedades viscoelásticas. Existe una gran variedad de viscosímetros en el mercado, pero generalmente se pueden dividir en tres tipos:



**a. Capilares.** - Son los instrumentos para la determinación de viscosidades más empleados por su relativa simplicidad, en este tipo de viscosímetros un fluido es obligado a pasar a través de un tubo capilar observándose una distribución de velocidades en el tubo de tipo parabólico para fluidos newtonianos y fluidos no newtonianos independientes del tiempo. Existen tres tipos de viscosímetros capilares: capilar de vidrio, capilar de pistón y de copa. (Chhabra, 2008)

**b. Rotacionales.** - Este tipo de viscosímetros han cobrado importancia como herramientas muy importantes para la caracterización de fluidos no newtonianos, son capaces de provocar un flujo de la muestra produciendo un perfil de velocidad que permite realizar medidas de viscosidad a diferentes velocidades de corte. Los viscosímetros rotacionales constan básicamente de dos partes que se encuentran separadas por el fluido a estudiar, dichas partes pueden ser dos cilindros, dos superficies planas paralelas, una superficie y un cono de pequeño ángulo. Aquí encontramos a los cilindros concéntricos; Bob and cup, platos paralelos, cono y plato.

**c. De cuerpo móvil.** - En los viscosímetros de cuerpo móvil, las características del movimiento de un cuerpo que puede ser una esfera, burbuja, disco, etc., en el fluido permiten determinar la viscosidad de éste. Un ejemplo es el viscosímetro de caída de bola o viscosímetro de Poiseuille. (Mott, 1996)

**d. Reómetro.** – Es un instrumentos muy complejo, altamente sensible y de gran precisión, que sirve para medir la viscosidad de un fluido dentro de un amplio rango de esfuerzos cortantes y de velocidades de corte. Además tiene la capacidad de medir la viscoelasticidad de los fluidos, semi – sólidos y sólidos. Existen diferentes tipos de reómetros, como son capilares, rotacionales, los cuales en primera instancia



se basan en el mismo principio que los viscosímetros estudiados anteriormente. Los reómetros funcionan provocando un flujo del material experimental y midiendo el esfuerzo generado o viceversa.

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 El chocho**

El chocho o lupino (*Lupinus mutabilis*) es originario de la zona andina de Sudamérica. Es la única especie americana del género *Lupinus* domesticada y cultivada como leguminosa. Su distribución comprende desde Colombia hasta el norte de Argentina, aunque actualmente es de importancia sólo en Ecuador, Perú y Bolivia. (TAPIA & FRIES, 2007)

El chocho, tarwi o lupino es una legumbre originaria de los andes (Perú, Bolivia, Ecuador). Tiene una gran importancia en la gastronomía de estas regiones desde la época prehispánica. La producción y consumo de este cultivo es importante debido a que es originario de la zona Andina sudamericana (motivaría la producción de un cultivo nativo) y porque posee una proporción de nutrientes interesantes (podría reemplazar a los derivados de la soya que son importados y altamente consumidos). (Gross, 1982)

Es una leguminosa anual, su grano seco se utiliza como alimento, conocido en el norte del Perú y Ecuador como chocho, y conocido como tarwi en el centro del Perú y Bolivia.

Es la única especie americana del género *Lupinus* domesticada y cultivada como leguminosa de alto valor nutricional. Los pobladores andinos la conocieron mucho antes de la época Inca, y lo utilizaban como elemento ritual, como medicina, como alimento y como forraje para animales.



### 2.3.2 Morfología y taxonomía

**Tabla 2**

*Clasificación taxonómica del chocho*

Nombre Común	Tarwi, chocho, tauri
Nombre Científico	Lupinus Mutabilis
División	Espermatofitos
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Rosales
Familia	Papilionoideas
Género	Lupinus
Especie	Lupinus Mutabilis

Fuente: Sven, Mujica (2006, p. 114)

### 2.3.3 Flores del chocho

El chocho presenta una corola grande con cinco pétalos y compuesta por un estandarte, dos quillas y dos alas.

La coloración de la flor es cambiante desde su formación hasta su maduración, varía de un color claro hasta uno intenso, de allí se origina su nombre científico, “mutabilis” (que cambia). Los colores más comunes son los diferentes tonos de azul e incluso morado; menos frecuentes son el color blanco, crema, rosado y amarillo. (Sven y Mujica, 2006)



## Figura 4

*Flor del chocho*



Fuente: Shutterstock

(<https://www.shutterstock.com/es/search/tarwi>)

### 2.3.4 Semilla

La cantidad de semillas del chocho incluidas en una vaina de cinco a doce centímetros es variable y varía también en su forma (redonda, ovalada y casi cuadrangular), miden entre 0,5 y 1,5cm. Un kilogramo tiene 3500 a 5000 semillas, y su variación de tamaño depende de las condiciones de crecimiento como del ecotipo o variedad. La semilla está recubierta por un tegumento endurecido que puede constituir hasta el 10% del peso total.

Los granos son de diversos colores como el blanco, amarillo, gris, ocre y pardo, y también de dos colores combinados en forma de media luna, de ceja, jaspeados y salpicados.

### 2.3.5 Valor nutritivo

Las semillas son excepcionalmente nutritivas. Las proteínas y aceites constituyen



más de la mitad de su peso, estudios realizados en más de 300 diferentes genotipos muestran que la proteína varía de 41- 51% y el aceite de 14-24% (Tabla 2). (Gross, 1982)

La leche vegetal presenta un nivel similar de proteína y menos calorías que el producto de origen animal, no contiene colesterol, lactosa y casi ningún factor alérgico. El producto es semejante en apariencia y composición química a la leche de vaca.

**Tabla 3**

*Composición de ácidos grasos del chocho (% de ácidos grasos totales)*

Ácidos	%
Oleico (Omega 9)	40,4
Linoleico (Omega 6)	37,1
Linolénico (Omega 3)	2,9
Palmítico	13,4
Palmitoleico	0,2
Esteárico	5,7
Mirístico	0,6
Araquídico	0,2
Behénico	0,2
Erúsico	0
Cociente Polisat	2

Fuente: Sven & Mujica (2006, p. 461)



**Tabla 4**

*Análisis bromatológico*

Componente	Valor
Humedad (g/100g m.s.)	11.5 +/- 0.03
Grasa (g/100g m.s.)	21.5 +/- 0.05
Proteínas (g/100g m.s.)	53.2 +/- 0.07
Fibra (g/100g m.s.)	18.4 +/- 0.01
Cenizas (g/100g m.s.)	1.9 +/- 0.00
Carbohidratos (g/100g m.s.)	23.4 +/- 0.01

Fuente: Sven & Mujica (2006, p. 461)

Indican que la fibra alimentaria ubicada en la cáscara del grano, incluyen componentes del tarwi que no pueden ser degradados por las enzimas digestivas del hombre. Su contenido en el grano desamargado, en promedio asciende a 10,37% y reviste importancia debido a su capacidad para saciar (hacen que la persona se sienta llena), lo que es beneficioso para prevenir la obesidad, combatir el estreñimiento y comprensión en el tracto intestinal.

Según Jacobsen y Mujica (Jacobsen & Mujica, 2006). El mineral predominante en el tarwi es calcio, en el cual en el grano se encuentra en una concentración promedio de 0.48%. Este elemento es una sustancia blanquecina que los dientes poseen y mantener la solidez.

El calcio se localiza principalmente en la cáscara del grano, siendo recomendable su consumo en forma integral (sin pelar).

Al calcio le sigue en importancia el fósforo cuya concentración promedio en el grano es de 0,43%. Este elemento actúa como un controlador del calcio, en el



mantenimiento del sistema óseo, actividad del músculo cardíaco y producción de energía. El equilibrio calcio - fósforo es muy importante un exceso de fósforo provoca la formación de fosfatos de calcio insolubles y no reabsorbibles, que acaba por ser eliminados.

La comparación del chocho con otras leguminosas, podemos ver la diferencia que el contenido de proteínas es mayor en el chocho.

## 2.4 Definición de términos básicos

**a. Fluido.** -Sustancia incapaz de resistir fuerzas o esfuerzos de corte, sin deformarse, por pequeño que sea este esfuerzo. Sustancia capaz de fluir. (Duarte, 2001).

**b. Resistencia del fluido.** -La resistencia es siempre de sentido opuesto al de dicha velocidad, por lo que habitualmente se dice de ella que, de forma análoga a la de fricción, es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

**c. Viscosidad.** - La viscosidad de un fluido es una medida de su “resistencia a la deformación”. La viscosidad se debe a la fuerza de fricción interna que se desarrolla entre las diferentes capas de los fluidos a medida que se obligan a moverse una con relación a las otras. En los líquidos, la viscosidad se origina por las fuerzas de cohesión entre las moléculas mientras que, en los gases por las colisiones moleculares, además de que ésta varía mucho con la temperatura.

**d. Esfuerzo de corte** .-La fuerza “F” requerida para mover el plato superior se relaciona con el área en contacto con la sustancia y para llegar a una medida específica es necesario dividir la fuerza total necesaria para el movimiento por el área en contacto con la sustancia. A esta relación se le denomina esfuerzo de corte ( $\tau$ ).

**e. Chocho.** - Es una leguminosa originaria de los andes del Perú, Bolivia y Ecuador, que tiene relevancia en la gastronomía de estos países desde la época preincaica.



**f. Desamargado.**- Es aquel proceso que consiste en la extracción del alcaloide del grano de chocho a fin de que tal semilla sea comestible.

**g. Extracto de chocho.** - Se obtiene al ser triturado los granos desamargados.

**h. Reogramas** .- Los reogramas son gráficos del esfuerzo cortante contra velocidad de cizalladura, de la viscosidad aparente contra la velocidad de cizalladura, del esfuerzo cortante contra el tiempo, o de la viscosidad aparente contra el tiempo, para los fluidos, las suspensiones, y pastas que se usan en procesos de formación de piezas. Los reogramas se usan para caracterizar las Reologías (los comportamientos de la viscosidad) de las suspensiones como funciones de la velocidad de cizalladura y el tiempo.



## III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 3.1 Hipótesis

#### Hipótesis general

El yogurt proteico formulado con añadidura de extracto del chocho (*Lupinus mutabilis*), tiene un comportamiento reológico de un fluido pseudoplástico y el modelo que mejor se ajusta es el de Ostwald de Waele.

#### Hipótesis específicas

- Los parámetros reológicos a controlar en el yogurt con añadidura de extracto de chocho son k y n.
- El grado proteico del yogurt con añadidura de extracto de chocho se incrementa alrededor de un 5%

#### 3.1.1 Operacionalización de variables

##### Variable dependiente

Y= Reología del yogurt batido, con sustitución parcial de leche con extracto de chocho.

##### Variables independientes

$x_1$ = Parámetros reológicos.

$x_2$  = Características nutricionales del extracto de chocho.

### 3.2 Operacionalización de las variables

$$Y = f(x_1, x_2)$$



**Tabla 5**

*Operacionalización de variables*

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN YOGUR CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LECHE CON EXTRACTO DE CHOCHO (*Lupinus muatabilis*) A FIN DE ELEVAR SU GRADO PROTEICO**

	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS Y TÉCNICA
<b>Variable dependiente</b>	Y=Reología del yogurt batido, con sustitución parcial de leche con extracto de chocho	Estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia. (RAMIREZ NAVAS, Introducción a la reología de los alimentos, 2006)	Evaluación de los parámetros reológicos para determinar el comportamiento del yogurt parcialmente sustituido.	Viscosidad	Pa	Estadístico
<b>Variables independientes</b>	X1= Parámetros reológicos	Es el estudio de los comportamientos viscosos de los fluidos, suspensiones y pastas sobre el espectro completo de las condiciones aplicadas de cizalladura. (FERNÁNDEZ GÓMEZ, 2018)	Se va evaluar los parámetros reológicos haciendo uso de modelos que estudian el comportamiento de estos fluidos.	k n		Reométrico Reométrico
	X2= Característica nutricionales del extracto de chocho	Es el aporte nutricional que puede aportar esta leguminosa como las proteínas, calcio, ácidos grasos, etc. (Tapia, 2015)	Obtiene el extracto del chocho para aprovechar su aporte proteico.	Proteína	%	Kjeldahl



## IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1 Diseño metodológico

#### 4.1.1 Por su finalidad

**Es aplicada**, puesto que los resultados de la investigación tienen por finalidad aplicar los conocimientos teóricos y orientarlos a la mejora de la calidad nutricional de yogurt.

#### 4.1.2 Por su diseño interpretativo

**Es experimental**, porque permite manipular las variables independientes para obtener la variable de respuesta requerida.

#### 4.1.3 Por el nivel de estudios

**Es cuantitativo**, puesto que se determinó el porcentaje de chocho que se puede integrar a la formulación del yogurt.

#### 4.1.4 Por su ámbito de desarrollo

**Será a nivel de laboratorio**, puesto que la presente investigación se realizó en los laboratorios de la UNAC Y TECNIQSO S.A.C.

### 4.2 Método de investigación

Se ha considerado la realización de esta investigación en cuatro etapas:

#### A. Primera etapa:



Se hizo la revisión de publicaciones o artículos referentes al yogurt y sus elaboraciones con sustitución parcial, esto con el propósito de obtener antecedentes de estudio y base científica para la investigación.

#### **B. Segunda etapa:**

Evaluación del grado proteico del extracto obtenido de las semillas del chocho desamargado.

#### **C. Tercera etapa:**

Formulación y análisis físicoquímico del yogurt con añadidura de extracto de chocho.

#### **D. La cuarta etapa:**

Con la información de la primera, segunda y tercera etapa de investigación se realizará un análisis estadístico de dicha información para lograr determinar cuáles son los parámetros óptimos de operación para la formulación del yogurt con extracto de chocho.

### **4.3 Población y muestra**

#### **Población**

Para este trabajo no existe población definida

#### **Muestra**

Se emplearon porciones de 100 mL de yogurt preparado con concentraciones de extracto de chocho (2%, 4% y 6%.) de las cuales se utilizaron 70 mL para el análisis reométrico extracto.



#### **4.4 Lugar de estudio y periodo de desarrollo**

Laboratorio de la empresa TEQNIQSO SAC.

Universidad Nacional del Callao (LOPU-SET) para la formulación.

Universidad Nacional del Callao –Centro de investigación (uso del reómetro).

Este estudio se desarrolla en el periodo de enero a julio del 2024.

#### **4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la data**

##### **4.5.1 Materiales y/o equipos**

A continuación, se mencionan la relación de materiales utilizados en el trabajo de investigación.

##### **i. Material biológico**

Cultivo láctico

##### **ii. Materiales de laboratorio**

- Bureta graduada.
- Matraz Erlenmeyer de 100 mL
- Cucharón de acero inoxidable.
- Envases de vidrio para el envasado.
- Equipo de titulación. (Bureta, soporte universal).
- Jarra medidora de 1L.
- Lactodensímetro.
- Olla de acero inoxidable
- Pipeta 10 mL



- Probeta 100 mL
- Vasos de precipitado de varios volúmenes.
- Cisoles

### iii. Equipos

- Balanza analítica Henkel
- Extractor marca Oster.
- Incubadora adaptada
- pH metro portátil (+/-0.1) marca Hanna
- Refractómetro marca Atc Hand – Held Atago, H- 50, Brix 0.0 – 50.0%
- Refrigeradora
- Cocina
- Termómetro
- Mufla
- Viscosímetro
- Reómetro con software Reo Plus

### iv. Reactivos

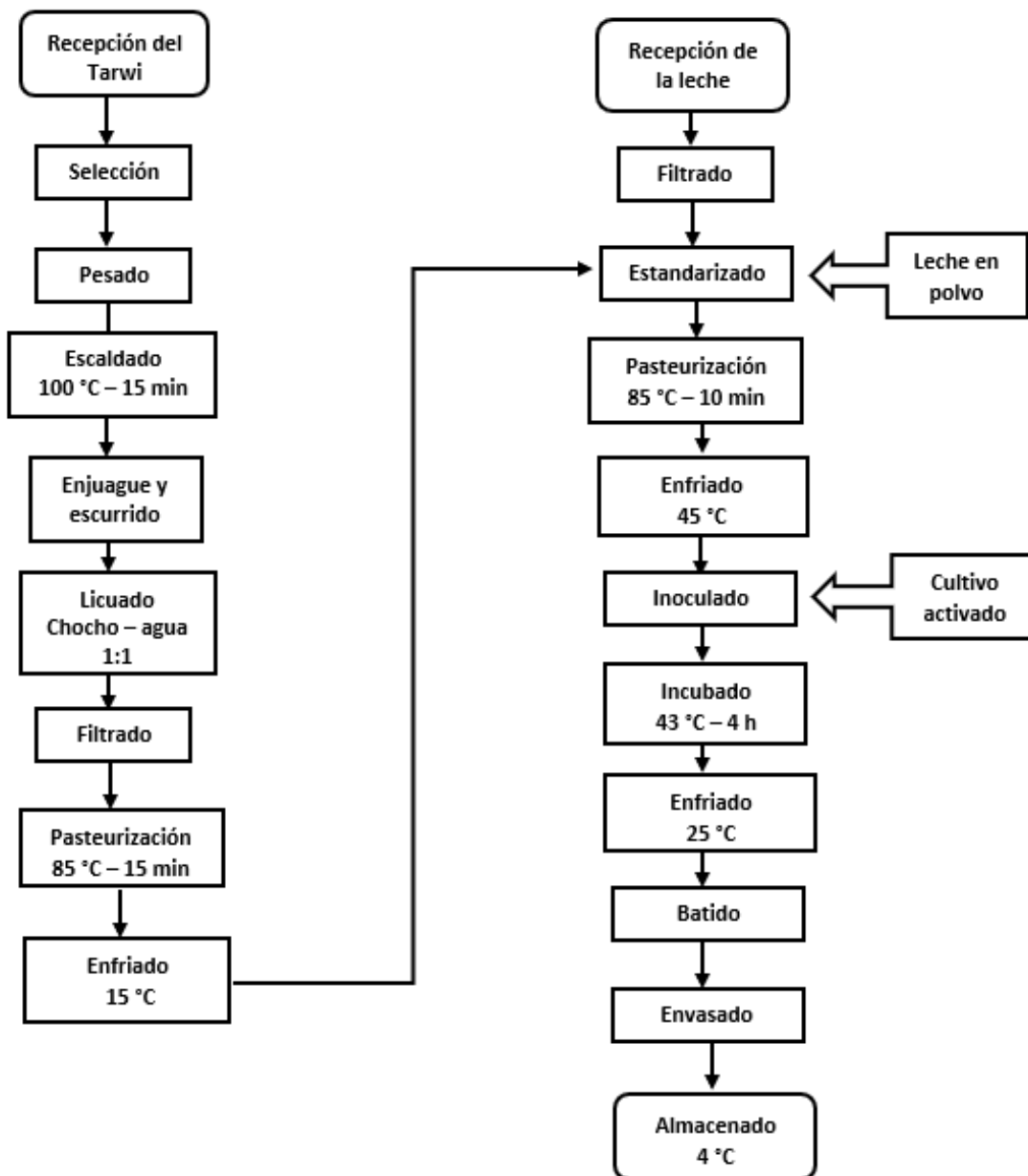
- *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*
- Alcohol amílico al 95%
- Alcohol metílico al 95%
- Agua destilada.
- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N
- Solución de fenolftaleína 1%



#### 4.5.2 Descripción del proceso

Figura 5

Diagrama de flujo para la elaboración del yogurt con sustitución parcial de extracto de chocho



En este diagrama se muestra las etapas del proceso de obtención del extracto de chocho, para luego incorporarse en la preparación del yogurt parcialmente sustituido.



### **a. Obtención del extracto de chocho**

#### **Recepción**

Se recepciona los granos, los cuales fueron desamargados de manera artesanal previamente.

#### **Figura 6**

*Recepción de los granos de chocho*



Los granos son procedentes de Cabana-Ancash

#### **Selección**

Se procede a desechar los granos no óptimos para el proceso.

#### **Pesaje**

La cantidad de chocho a procesar fue de 2 kg.

#### **Pelado**

Posteriormente se pelan o descascaran manualmente los granos.

#### **Escaldado**

Se realiza el proceso de escaldado a 100 °C por 15 minutos, con el fin de eliminar la enzima lipoxigenasa.



### **Enjuague y escurrido**

Se enjuaga con bastante agua y luego se escurre.

### **Licudo**

Los granos son procesados adicionando agua caliente para liberar las proteínas atrapadas en la malla celular fibrosa de los granos, la relación es de 1:1.

### **Figura 7**

*Residuo de la filtración*



### **Filtrado**

Se separa el extracto del residuo sólido.

### **Pasteurización**

Se coloca el extracto en una olla para realizar la pasteurización, el objetivo de esta operación es destruir los microorganismos contaminantes. Se calienta hasta 85°C y se mantiene por 15 minutos manteniendo esta temperatura.

### **Enfriado**

Para finalizar se enfría y se reserva en un recipiente de vidrio a una temperatura de 15°C.



Esta leche o extracto de chocho, no contiene colesterol por lo cual lo hace un sustituto a la leche de vaca.

### **Figura 8**

*Obtención del extracto de chocho*



#### **b. Elaboración del yogurt con extracto de chocho**

La preparación del yogurt parcialmente sustituido se realizó en las instalaciones del laboratorio de TECNIQSO S.A.C. Los pasos seguidos son:

##### **Recepción de materia prima (leche fresca):**

Se recibe 2 L de leche de vaca para cada formulación del establo “El Centenario S.R.L” ubicada en el distrito de Comas, precaviendo no romper la cadena de frío.



## Filtrado o aclarado

Esta operación consiste en hacer pasar el producto a través de un colador para eliminar suciedades o contaminantes sólidos como los pelos que generalmente trae la leche fresca de establo, especialmente cuando el ordeño se realiza en forma manual.

## Control de calidad de la leche fresca

Se extrae una muestra de la leche cruda para realizar las pruebas de calidad, este análisis no solo aprueba o rechaza la leche para el proceso, sino que también garantiza la inocuidad del producto. Los resultados de las pruebas de las principales características (CEDEPAS, 2016) de la leche fueron las siguientes:

**Tabla 6**

*Características sensoriales de la leche*

Análisis organoléptico	
característica	ANÁLISIS
Color	Blanco
Olor	“Sui generis” a leche
Sabor	Ligeramente dulce
Textura	No se observa grumos, es limpio y denso.

Fuente: CEDEPAS (2016)



**Tabla 7**

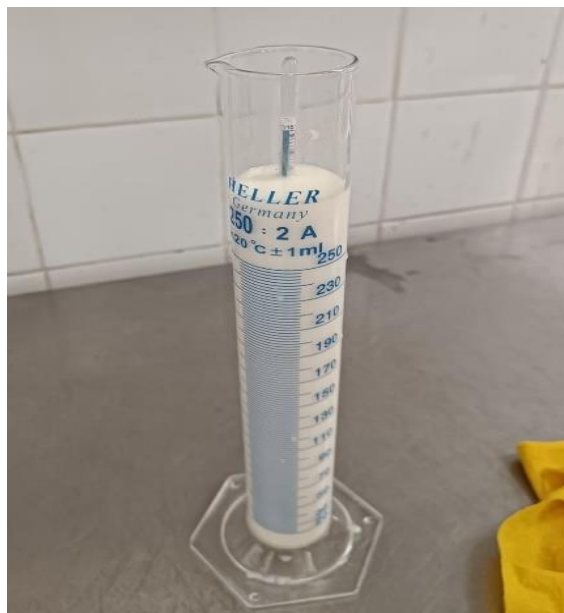
*Principales análisis fisicoquímicos de la leche*

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO		
CARACTERÍSTICA	RESULTADO	VALOR ESTÁNDAR
Densidad a 15 °C	1.0285	1.028 a 1.034 g/L
pH	6.7	6.6 a 6.8
Acidez	0.14%	0.13% y 0.17%
Sólidos totales	11.5 %	Min 11.5%

Fuente: CEDEPAS (2016)

**Figura 9**

*Medición de la densidad*



## Estandarización

Los resultados de la calidad de la leche, nos indica que debemos añadir 3% de leche en polvo con el objetivo de mejorar el nivel de proteínas y grasas en la mezcla, luego lo dividimos en 3 partes iguales.

Mostramos a continuación las tres formulaciones empleadas para la preparación del yogurt parcialmente sustituido con extracto de chocho.

**Tabla 8**

*Cuadro con las formulaciones trabajadas*

INSUMOS	FORMULACIONES		
	F-I	F-II	F-III
Leche fresca	2 L	2 L	2 L
Leche en polvo	3%	3%	3%
Extracto de chocho	2%	4%	6%
Cultivo láctico	40 g/L	40 g/L	40 g/L
Grenetina	3 g/L	3 g/L	3 g/L

A las tres porciones de leche se le adicionó el extracto de chocho según la formulación I, II y III de la tabla 8.

## Pasteurización

Se coloca el mezclado en una olla para realizar la pasteurización, el objetivo de esta operación es destruir los microorganismos patógenos. Este tratamiento consiste en la aplicación de calor a temperaturas suficientes para aniquilar estos microorganismos,



pero sin alterar los componentes de la leche. Los valores utilizados en esta ocasión fueron de 85° C durante un tiempo de 10 minutos.

### **Figura 10**

*Pasteurización de la mezcla láctea*



### **Primer enfriado**

Luego del pasteurizado, se procede a enfriar la mezcla láctea rápidamente con la finalidad de mantener la calidad de la leche obtenida en la pasteurización y lograr la temperatura adecuada para el desarrollo de las bacterias del yogurt. Se debe llegar a una temperatura de 43°C para que se proceda a adicionar el cultivo láctico.



## Figura 11

### *Enfriado de la mezcla láctea*



### **Adición del cultivo**

En esta operación se siembra el cultivo láctico de yogurt en la leche que se encuentra a una temperatura de 45°C. El cultivo contiene bacterias beneficiosas, como *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* que inician el proceso de fermentación láctica que convierte la leche en yogurt (transformar la lactosa en ácido láctico, bajando así el pH permitiendo coagular las proteínas y dar la característica principal del yogurt). La proporción que se siguió para la producción de yogurt fue de 40 g/litro de leche.



## Figura 12

### *Adición de cultivo*



### **Mezclado**

Luego de añadir el cultivo, se bate la mezcla con el objetivo de homogenizarla.

### **Incubación**

Aquí se mantiene la leche inoculada a una temperatura de 43° C hasta que la mezcla de leche haya llegado a un pH de 4,5; esta disminución del pH nos indica que las bacterias del cultivo están produciendo el ácido láctico y otros compuestos. Es necesario controlar estrictamente el tiempo y la temperatura ya que al sobrepasarse las bacterias lácticas podrían sobrepasar el de ácido láctico lo que traería sabores y texturas no deseadas. Esta parte del proceso dura 4 horas.



## Figura 13

### *Colocación a la incubadora*



### **Segundo enfriado**

En esta etapa se baja la temperatura del yogurt hasta la más adecuada para realizar el batido, en el proceso se registró con 25°C. Se realiza inmediatamente después de que el pH llegue a 4,5 durante la incubación, el objetivo de esto es:

- ✓ Detener la actividad del cultivo en el yogurt.
- ✓ Estabiliza el producto.
- ✓ Produce la maduración del yogurt; esto resalta más el sabor, aroma y viscosidad del producto.

### **Batido**

Terminado el tiempo del segundo enfriado, esta operación consiste en romper el coagulo del yogurt lentamente hasta reducir su tamaño, luego se bate hasta lograr una crema brillante y homogénea. Esta operación se realizó a temperatura ambiente.



**Figura 14**

*Batido del yogurt*



**Envasado**

Se prosigue a envasar el batido, esto ayuda a que se pueda proteger el producto de algún agente contaminante presente en el medio ambiente. En esta oportunidad se utilizó envases de vidrio. Los envases deben ser desinfectados y secados previamente.

**Figura 15**

*Envasado de yogurt con extracto de chocho*



## **Almacenado**

Luego del envasado, procedemos a almacenar el yogurt con una temperatura de 4° C, esto ayudará a mantener la calidad del producto durante un periodo más prolongado, reducirá también la velocidad del crecimiento de bacterias no deseadas que puedan comprometer la seguridad del consumidor y mantendrá la consistencia junto con sus características organolépticas por más tiempo.

### **c. Manejo del reómetro**

**c.1 Análisis en equipo reómetro.** – La programación de los análisis se realizan a través de un Software de control en el Reómetro, la temperatura se programa en un baño de recirculación de agua, los modelos matemáticos del fluido no Newtoniano se seleccionan también a partir del software.

Con el reómetro obtuvimos la curva de flujo de las tres formulaciones preparadas y de la muestra control, ya que el equipo es totalmente automatizado.

**c.2 Uso del software.** - El software del equipo es el Rheo Plus, la geometría del flujo que se usó consiste de dos cilindros concéntricos, cuyos radios son de 0,003899 m y 0,0042 m, respectivamente. La longitud de medición de los cilindros es número 9 indica el radio del cilindro interno.



## Figura 16

Reómetro del Centro de Investigación



En el presente trabajo de investigación se utilizó la información científica relevante, que coadyube a cuantificar los indicadores de las principales variables como: Temperatura, concentración y velocidad de corte.

### 4.6 Análisis y procesamiento de datos

Las lecturas obtenidas con el reómetro, nos proporcionó los valores del esfuerzo de corte ( $t$ ) versus velocidad de corte ( $\gamma$ ), observando que tiene un comportamiento no lineal, por lo tanto, los resultados serán ajustados de acuerdo a modelos no lineales. Para el tratamiento estadístico, se trabajó con el software IBM SPSS Statistics 29.

#### 4.6.1 Datos obtenidos en la prueba experimental

En las tablas 9,10,11 se muestran las lecturas obtenidas de las corridas experimentales en el reómetro rotacional Rheo plus en las formulaciones del yogurt con sustitución parcial de extracto de chocho (2%, 4% y 6%) a temperatura ambiente.



**a. Formulación I (con 2% de extracto de chocho)**

**Tabla 9**

*Data de la formulación I (2%)*

Meas. Pts.	Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Viscosity [Pa·s]	Yield Stress [Pa]	Infinite Shear Viscosity [Pa·s]
1	0	-2.19	0	-2.19	*****
2	1	0.256	0.256	-2.19	*****
3	2	0.958	0.479	-2.19	*****
4	3	1.46	0.486	-2.19	*****
5	4	1.86	0.465	-2.19	*****
6	5	2.2	0.441	-2.19	*****
7	6	2.5	0.417	-2.19	*****
8	7	2.78	0.396	-2.19	*****
9	8	3.02	0.378	-2.19	*****
10	9	3.25	0.361	-2.19	*****
11	10	3.46	0.346	-2.19	*****
12	11	3.66	0.333	-2.19	*****
13	12	3.85	0.321	-2.19	*****
14	13	4.03	0.31	-2.19	*****
15	14	4.2	0.3	-2.19	*****
16	15	4.36	0.291	-2.19	*****
17	16	4.52	0.282	-2.19	*****
18	17	4.67	0.274	-2.19	*****
19	18	4.81	0.267	-2.19	*****
20	19	4.95	0.26	-2.19	*****
21	20	5.08	0.254	-2.19	*****
22	21	5.21	0.248	-2.19	*****
23	22	5.34	0.243	-2.19	*****
24	23	5.46	0.238	-2.19	*****
25	24	5.58	0.233	-2.19	*****
26	25	5.7	0.228	-2.19	*****
27	26	5.81	0.224	-2.19	*****
28	27	5.92	0.219	-2.19	*****
29	28	6.03	0.215	-2.19	*****
30	29	6.14	0.212	-2.19	*****
31	30	6.24	0.208	-2.19	*****
32	31	6.34	0.205	-2.19	*****
33	32	6.44	0.201	-2.19	*****
34	33	6.54	0.198	-2.19	*****
35	34	6.63	0.195	-2.19	*****
36	35	6.73	0.192	-2.19	*****
37	36	6.82	0.189	-2.19	*****



---

38	37	6.91	0.187	-2.19	*****
39	38	7	0.184	-2.19	*****
40	39	7.08	0.182	-2.19	*****
41	40	7.17	0.179	-2.19	*****
42	41	7.25	0.177	-2.19	*****
43	42	7.34	0.175	-2.19	*****
44	43	7.42	0.173	-2.19	*****
45	44	7.5	0.17	-2.19	*****
46	45	7.58	0.168	-2.19	*****
47	46	7.66	0.166	-2.19	*****
48	47	7.73	0.165	-2.19	*****
49	48	7.81	0.163	-2.19	*****
50	49	7.89	0.161	-2.19	*****
51	50	7.96	0.159	-2.19	*****
52	51	8.03	0.158	-2.19	*****
53	52	8.11	0.156	-2.19	*****
54	53	8.18	0.154	-2.19	*****
55	54	8.25	0.153	-2.19	*****
56	55	8.32	0.151	-2.19	*****
57	56	8.39	0.15	-2.19	*****
58	57	8.46	0.148	-2.19	*****
59	58	8.52	0.147	-2.19	*****
60	59	8.59	0.146	-2.19	*****
61	60	8.66	0.144	-2.19	*****
62	61	8.72	0.143	-2.19	*****
63	62	8.79	0.142	-2.19	*****
64	63	8.85	0.14	-2.19	*****
65	64	8.91	0.139	-2.19	*****
66	65	8.98	0.138	-2.19	*****
67	66	9.04	0.137	-2.19	*****
68	67	9.1	0.136	-2.19	*****
69	68	9.16	0.135	-2.19	*****
70	69	9.22	0.134	-2.19	*****
71	70	9.28	0.133	-2.19	*****
72	71	9.34	0.132	-2.19	*****
73	72	9.4	0.131	-2.19	*****
74	73	9.46	0.13	-2.19	*****
75	74	9.52	0.129	-2.19	*****
76	75	9.57	0.128	-2.19	*****
77	76	9.63	0.127	-2.19	*****
78	77	9.69	0.126	-2.19	*****
79	78	9.74	0.125	-2.19	*****
80	79	9.8	0.124	-2.19	*****
81	80	9.85	0.123	-2.19	*****
82	81	9.91	0.122	-2.19	*****
83	82	9.96	0.121	-2.19	*****

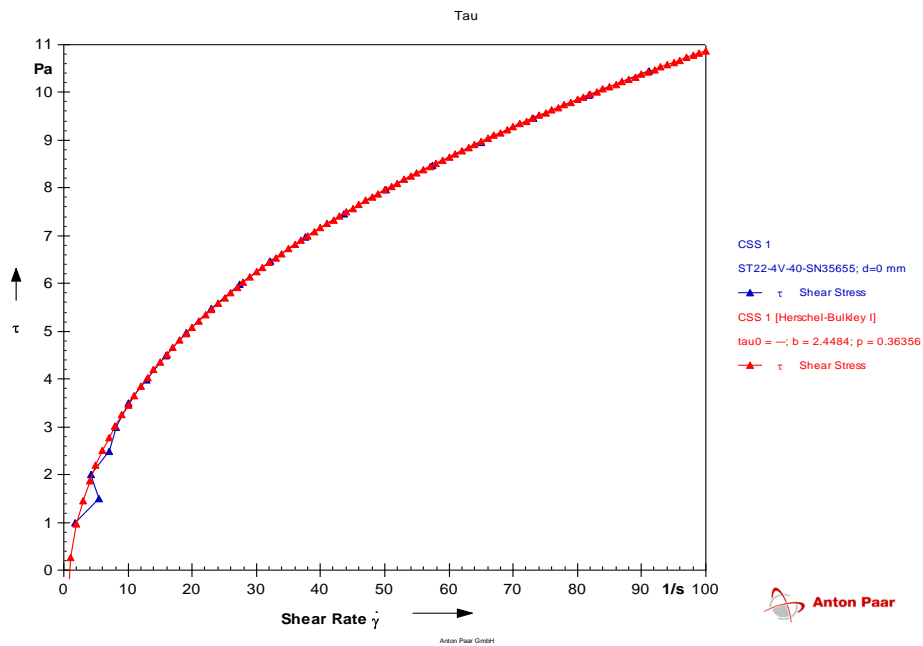
---



84	83	10	0.121	-2.19	*****
85	84	10.1	0.12	-2.19	*****
86	85	10.1	0.119	-2.19	*****
87	86	10.2	0.118	-2.19	*****
88	87	10.2	0.118	-2.19	*****
89	88	10.3	0.117	-2.19	*****
90	89	10.3	0.116	-2.19	*****
91	90	10.4	0.115	-2.19	*****
92	91	10.4	0.115	-2.19	*****
93	92	10.5	0.114	-2.19	*****
94	93	10.5	0.113	-2.19	*****
95	94	10.6	0.113	-2.19	*****
96	95	10.6	0.112	-2.19	*****
97	96	10.7	0.111	-2.19	*****
98	97	10.7	0.111	-2.19	*****
99	98	10.8	0.11	-2.19	*****
100	99	10.8	0.109	-2.19	*****
101	100	10.9	0.109	-2.19	*****

**Figura 17**

*Gráfica del esfuerzo de corte vs velocidad de deformación*

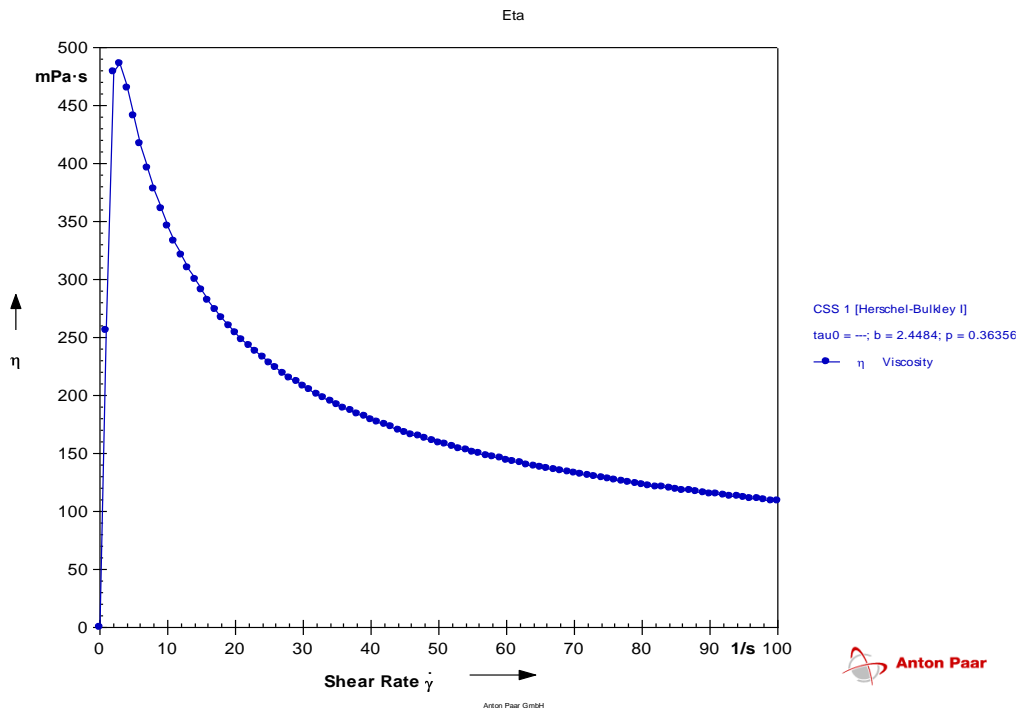


La curva de la formulación I, muestra un comportamiento no lineal



**Figura 18**

*Curva de la viscosidad aparente vs velocidad de deformación*



La curva de la data de la formulación I, muestra el descenso de la viscosidad aparente mientras el esfuerzo de corte aumenta.

**b. Formulación II (con 4% de extracto de chocho)**

**Tabla 10**

*Data de la formulación II (4%)*

Meas. Pts.	Shear Rate	Shear Stress	Viscosity	Yield Stress
	[1/s]	[Pa]	[Pa·s]	[Pa]
1	0	2.96	0	2.96
2	1	3.51	3.51	2.96
3	2	3.78	1.89	2.96
4	3	4.01	1.34	2.96
5	4	4.2	1.05	2.96
6	5	4.38	0.876	2.96
7	6	4.54	0.757	2.96
8	7	4.69	0.67	2.96
9	8	4.84	0.604	2.96
10	9	4.97	0.552	2.96
11	10	5.1	0.51	2.96



---

12	11	5.22	0.475	2.96
13	12	5.34	0.445	2.96
14	13	5.46	0.42	2.96
15	14	5.57	0.398	2.96
16	15	5.68	0.379	2.96
17	16	5.79	0.362	2.96
18	17	5.89	0.347	2.96
19	18	5.99	0.333	2.96
20	19	6.09	0.321	2.96
21	20	6.19	0.309	2.96
22	21	6.28	0.299	2.96
23	22	6.37	0.29	2.96
24	23	6.47	0.281	2.96
25	24	6.55	0.273	2.96
26	25	6.64	0.266	2.96
27	26	6.73	0.259	2.96
28	27	6.81	0.252	2.96
29	28	6.9	0.246	2.96
30	29	6.98	0.241	2.96
31	30	7.06	0.235	2.96
32	31	7.14	0.23	2.96
33	32	7.22	0.226	2.96
34	33	7.3	0.221	2.96
35	34	7.38	0.217	2.96
36	35	7.45	0.213	2.96
37	36	7.53	0.209	2.96
38	37	7.6	0.206	2.96
39	38	7.68	0.202	2.96
40	39	7.75	0.199	2.96
41	40	7.82	0.196	2.96
42	41	7.9	0.193	2.96
43	42	7.97	0.19	2.96
44	43	8.04	0.187	2.96
45	44	8.11	0.184	2.96
46	45	8.18	0.182	2.96
47	46	8.24	0.179	2.96
48	47	8.31	0.177	2.96
49	48	8.38	0.175	2.96
50	49	8.44	0.172	2.96
51	50	8.51	0.17	2.96
52	51	8.58	0.168	2.96
53	52	8.64	0.166	2.96
54	53	8.71	0.164	2.96
55	54	8.77	0.162	2.96
56	55	8.83	0.161	2.96
57	56	8.9	0.159	2.96

---



---

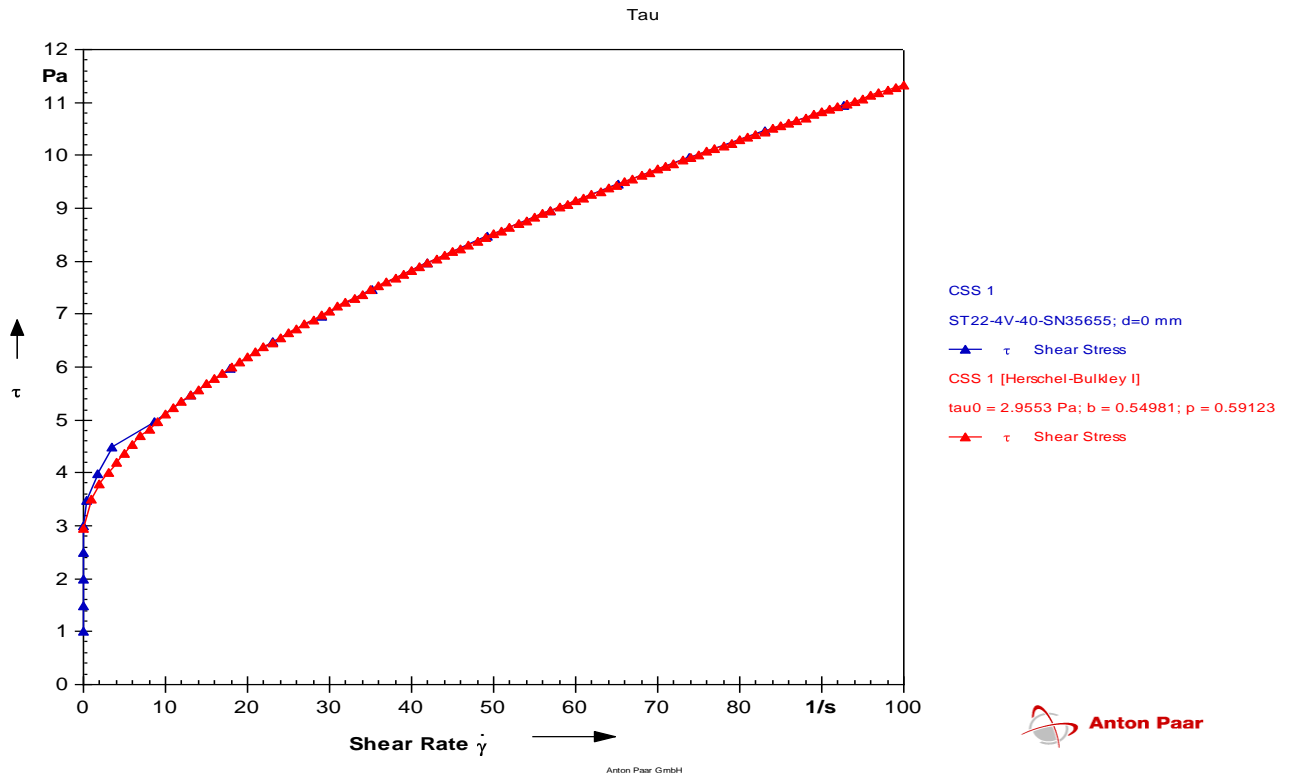
58	57	8.96	0.157	2.96
59	58	9.02	0.156	2.96
60	59	9.08	0.154	2.96
61	60	9.14	0.152	2.96
62	61	9.2	0.151	2.96
63	62	9.26	0.149	2.96
64	63	9.32	0.148	2.96
65	64	9.38	0.147	2.96
66	65	9.44	0.145	2.96
67	66	9.5	0.144	2.96
68	67	9.56	0.143	2.96
69	68	9.62	0.141	2.96
70	69	9.68	0.14	2.96
71	70	9.73	0.139	2.96
72	71	9.79	0.138	2.96
73	72	9.85	0.137	2.96
74	73	9.9	0.136	2.96
75	74	9.96	0.135	2.96
76	75	10	0.134	2.96
77	76	10.1	0.133	2.96
78	77	10.1	0.132	2.96
79	78	10.2	0.131	2.96
80	79	10.2	0.13	2.96
81	80	10.3	0.129	2.96
82	81	10.3	0.128	2.96
83	82	10.4	0.127	2.96
84	83	10.5	0.126	2.96
85	84	10.5	0.125	2.96
86	85	10.6	0.124	2.96
87	86	10.6	0.123	2.96
88	87	10.7	0.123	2.96
89	88	10.7	0.122	2.96
90	89	10.8	0.121	2.96
91	90	10.8	0.12	2.96
92	91	10.9	0.119	2.96
93	92	10.9	0.119	2.96
94	93	11	0.118	2.96
95	94	11	0.117	2.96
96	95	11.1	0.117	2.96
97	96	11.1	0.116	2.96
98	97	11.2	0.115	2.96
99	98	11.2	0.115	2.96
100	99	11.3	0.114	2.96
101	100	11.3	0.113	2.96

---



**Figura 19**

*Curva del esfuerzo de corte vs velocidad de deformación*

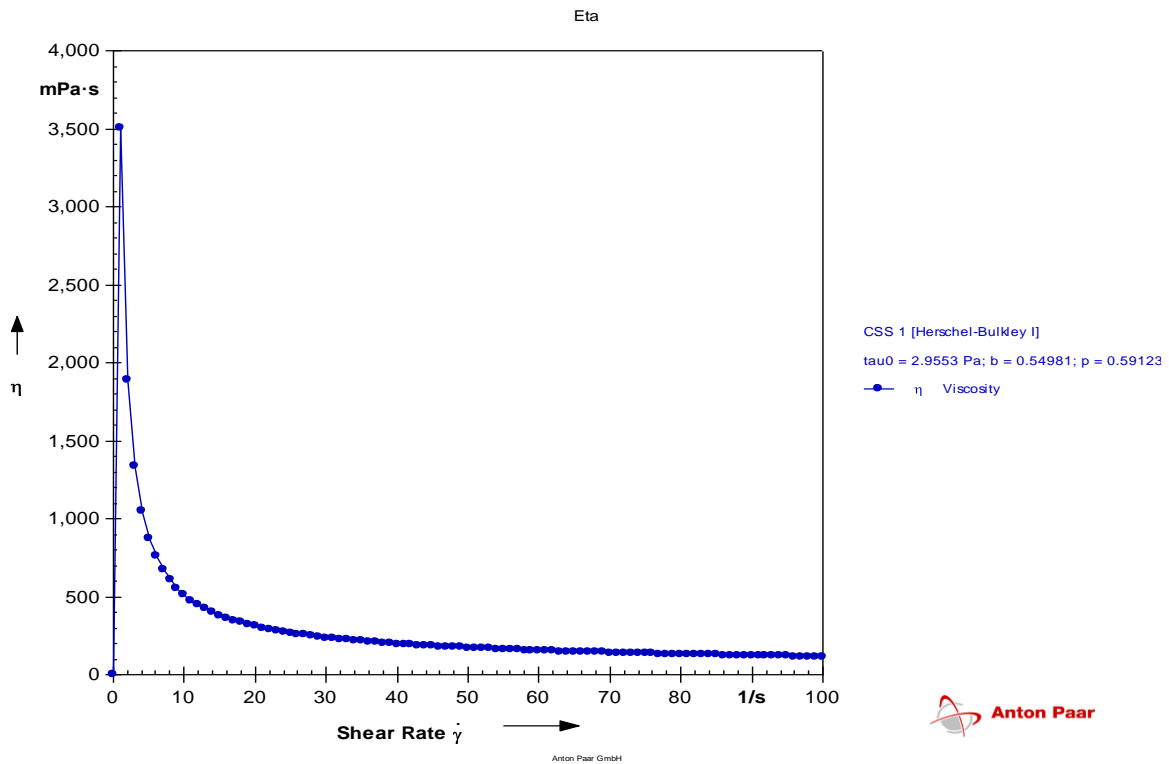


La curva de la formulación II, muestra un comportamiento no lineal



**Figura 20**

*Curva de la viscosidad vs velocidad de deformación*



La curva de la data de la formulación II, muestra el descenso de la viscosidad mientras el esfuerzo de corte aumenta.

**c. Formulación III (con 6% de extracto de chocho)**

**Tabla 11**

*Data experimental de la formulación III*

Meas. Pts.	Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Viscosity [Pa·s]	Yield Stress [Pa]
1	0	4.75	0	4.75
2	1	4.96	4.96	4.75
3	2	5.1	2.55	4.75
4	3	5.23	1.74	4.75
5	4	5.35	1.34	4.75
6	5	5.46	1.09	4.75
7	6	5.56	0.927	4.75
8	7	5.66	0.809	4.75
9	8	5.76	0.72	4.75
10	9	5.85	0.65	4.75



---

11	10	5.94	0.594	4.75
12	11	6.03	0.548	4.75
13	12	6.12	0.51	4.75
14	13	6.2	0.477	4.75
15	14	6.29	0.449	4.75
16	15	6.37	0.425	4.75
17	16	6.45	0.403	4.75
18	17	6.53	0.384	4.75
19	18	6.61	0.367	4.75
20	19	6.69	0.352	4.75
21	20	6.76	0.338	4.75
22	21	6.84	0.326	4.75
23	22	6.91	0.314	4.75
24	23	6.99	0.304	4.75
25	24	7.06	0.294	4.75
26	25	7.13	0.285	4.75
27	26	7.2	0.277	4.75
28	27	7.27	0.269	4.75
29	28	7.34	0.262	4.75
30	29	7.41	0.256	4.75
31	30	7.48	0.249	4.75
32	31	7.55	0.244	4.75
33	32	7.62	0.238	4.75
34	33	7.69	0.233	4.75
35	34	7.75	0.228	4.75
36	35	7.82	0.223	4.75
37	36	7.89	0.219	4.75
38	37	7.95	0.215	4.75
39	38	8.02	0.211	4.75
40	39	8.08	0.207	4.75
41	40	8.15	0.204	4.75
42	41	8.21	0.2	4.75
43	42	8.28	0.197	4.75
44	43	8.34	0.194	4.75
45	44	8.4	0.191	4.75
46	45	8.46	0.188	4.75
47	46	8.53	0.185	4.75
48	47	8.59	0.183	4.75
49	48	8.65	0.18	4.75
50	49	8.71	0.178	4.75
51	50	8.77	0.175	4.75
52	51	8.83	0.173	4.75
53	52	8.89	0.171	4.75
54	53	8.95	0.169	4.75
55	54	9.01	0.167	4.75
56	55	9.07	0.165	4.75

---

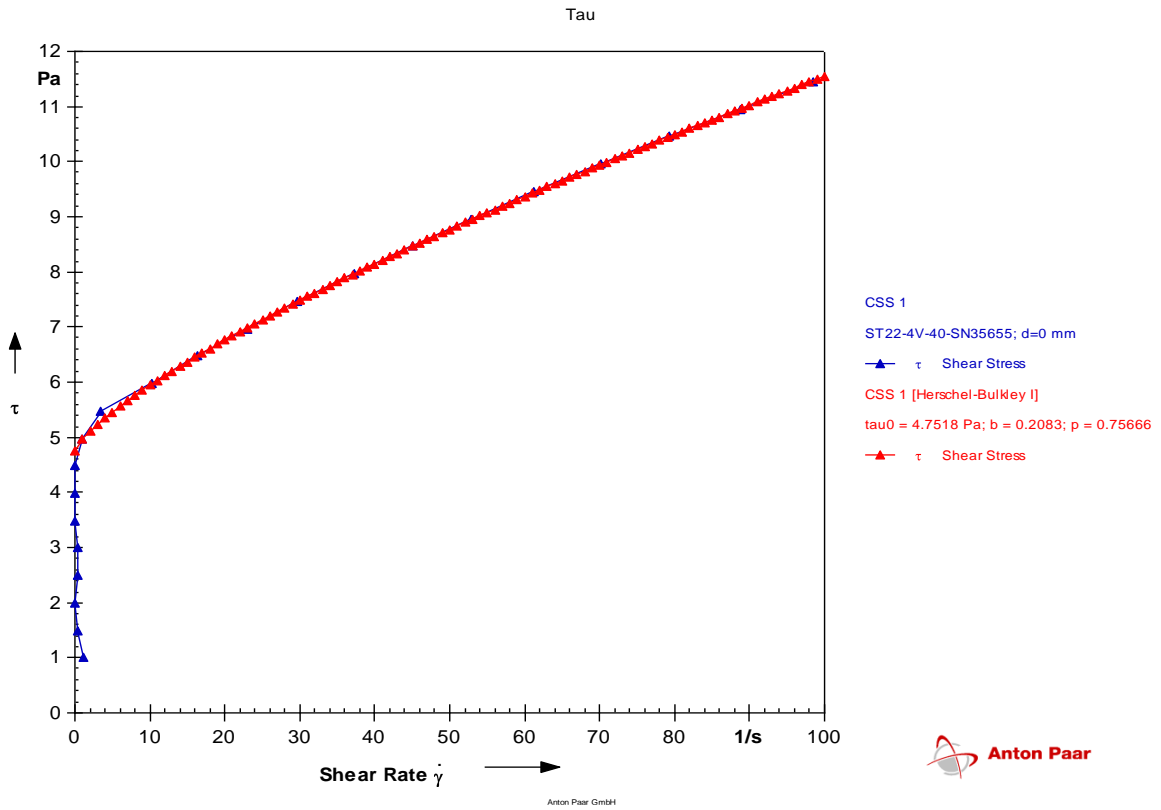


57	56	9.13	0.163	4.75
58	57	9.19	0.161	4.75
59	58	9.25	0.159	4.75
60	59	9.31	0.158	4.75
61	60	9.37	0.156	4.75
62	61	9.42	0.155	4.75
63	62	9.48	0.153	4.75
64	63	9.54	0.151	4.75
65	64	9.6	0.15	4.75
66	65	9.65	0.149	4.75
67	66	9.71	0.147	4.75
68	67	9.77	0.146	4.75
69	68	9.83	0.144	4.75
70	69	9.88	0.143	4.75
71	70	9.94	0.142	4.75
72	71	9.99	0.141	4.75
73	72	10	0.14	4.75
74	73	10.1	0.138	4.75
75	74	10.2	0.137	4.75
76	75	10.2	0.136	4.75
77	76	10.3	0.135	4.75
78	77	10.3	0.134	4.75
79	78	10.4	0.133	4.75
80	79	10.4	0.132	4.75
81	80	10.5	0.131	4.75
82	81	10.5	0.13	4.75
83	82	10.6	0.129	4.75
84	83	10.7	0.128	4.75
85	84	10.7	0.127	4.75
86	85	10.8	0.127	4.75
87	86	10.8	0.126	4.75
88	87	10.9	0.125	4.75
89	88	10.9	0.124	4.75
90	89	11	0.123	4.75
91	90	11	0.122	4.75
92	91	11.1	0.122	4.75
93	92	11.1	0.121	4.75
94	93	11.2	0.12	4.75
95	94	11.2	0.12	4.75
96	95	11.3	0.119	4.75
97	96	11.3	0.118	4.75
98	97	11.4	0.117	4.75
99	98	11.4	0.117	4.75
100	99	11.5	0.116	4.75
101	100	11.5	0.115	4.75



**Figura 21**

*Curva del esfuerzo de corte vs velocidad de deformación*

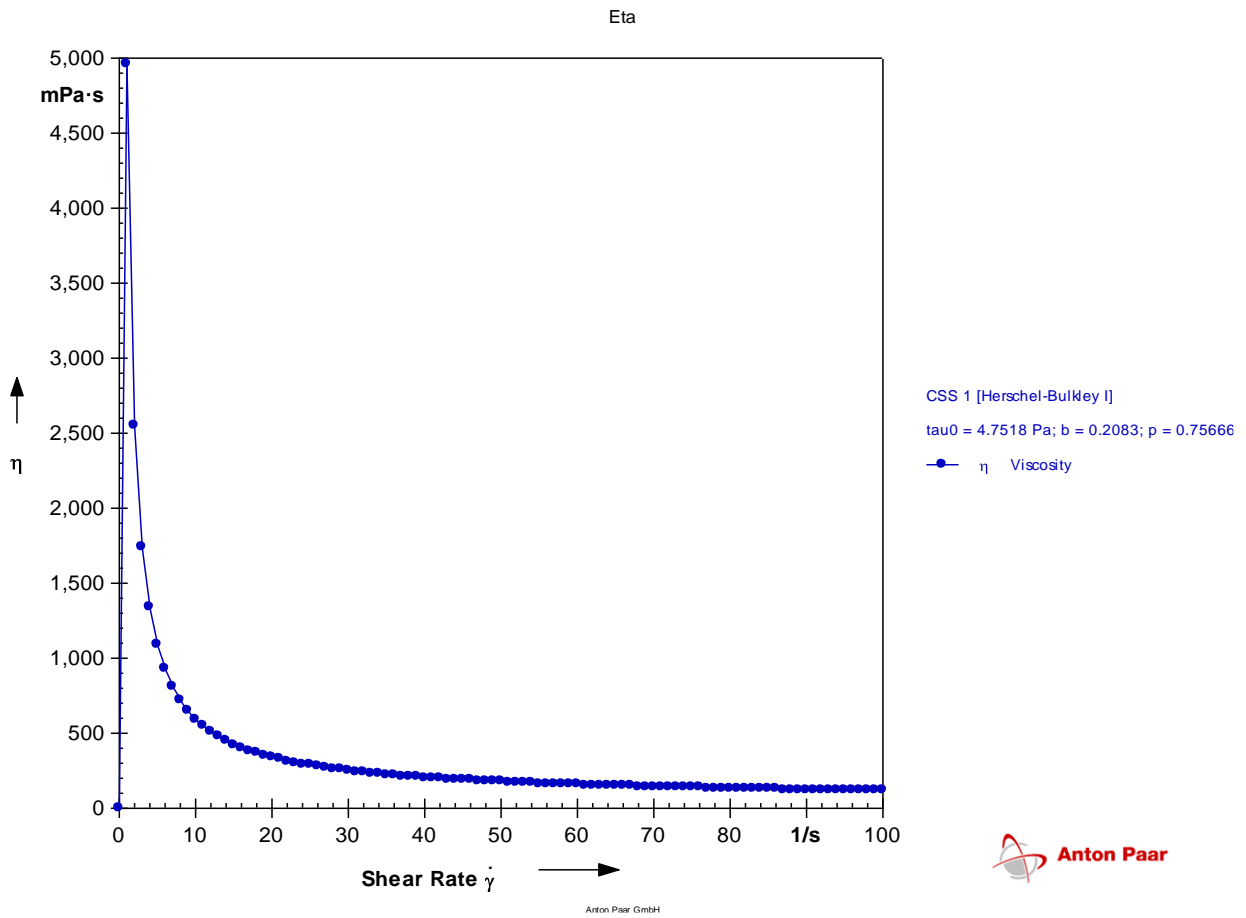


La curva de la formulación III, muestra un comportamiento no lineal



**Figura 22**

*Curva de la viscosidad vs velocidad de deformación*



La curva de la data de la formulación III, muestra el descenso de la viscosidad mientras el esfuerzo de corte aumenta.

#### **d. Resultado comparativo de las tres formulaciones**



**Tabla 12***Data para identificar el modelo reométrico (para 2%)*

No puntos	Velocidad de deformación $s^{-1}$	Esfuerzo cortante Pa	Viscosidad Pa.s	$\ln \gamma$	$\ln \tau$
1	1.850	1.000	0.539	0.615	0.000
2	5.470	1.500	0.274	1.699	0.405
3	4.200	1.990	0.475	1.435	0.688
4	7.050	2.490	0.354	1.953	0.912
5	8.040	2.990	0.372	2.084	1.095
6	10.000	3.490	0.348	2.303	1.250
7	12.900	3.980	0.309	2.557	1.381
8	15.900	4.480	0.281	2.766	1.500
9	19.100	4.980	0.260	2.950	1.605
10	22.900	5.480	0.239	3.131	1.701
11	27.400	5.970	0.218	3.311	1.787
12	32.200	6.470	0.201	3.472	1.867
13	37.700	6.970	0.185	3.630	1.942
14	43.600	7.470	0.171	3.775	2.011
15	50.200	7.960	0.159	3.916	2.074
16	57.400	8.460	0.148	4.050	2.135
17	65.000	8.960	0.138	4.174	2.193
18	73.100	9.460	0.129	4.292	2.247
19	81.800	9.950	0.122	4.404	2.298
20	91.100	10.500	0.115	4.512	2.351



**Tabla 13***Data para identificar el modelo reométrico (para 4%)*

No puntos	Velocidad de deformación n	Esfuerzo cortante Pa	Velocidad de deformación n	Viscosidad Pa.s	ln $\gamma$	ln $\tau$
1	0.035	1.000	0.000	-2840.000	-0.033	0.000
2	0.006	1.500	0.000	26500.000	0.028	0.205
3	0.039	1.990	0.000	5180.000	0.260	0.388
4	0.063	2.490	0.001	3960.000	0.370	0.412
5	0.031	2.990	0.003	974.000	0.419	0.595
6	0.329	3.490	0.329	10.600	0.412	0.750
7	1.740	3.980	1.740	2.290	0.554	0.781
8	3.520	4.480	3.520	1.270	1.258	0.890
9	8.670	4.980	8.670	0.575	2.160	1.605
10	13.100	5.480	13.100	0.417	2.573	1.701
11	17.800	5.970	17.800	0.336	2.879	1.787
12	23.100	6.470	23.100	0.280	3.140	1.867
13	29.000	6.970	29.000	0.240	3.367	1.942
14	35.100	7.470	35.100	0.213	3.558	2.011
15	41.900	7.960	41.900	0.190	3.735	2.074
16	49.200	8.460	49.200	0.172	3.896	2.135
17	56.900	8.960	56.900	0.157	4.041	2.193
18	65.200	9.460	65.200	0.145	4.177	2.247
19	73.900	9.950	73.900	0.135	4.303	2.298
20	83.000	10.500	83.000	0.126	4.419	2.351



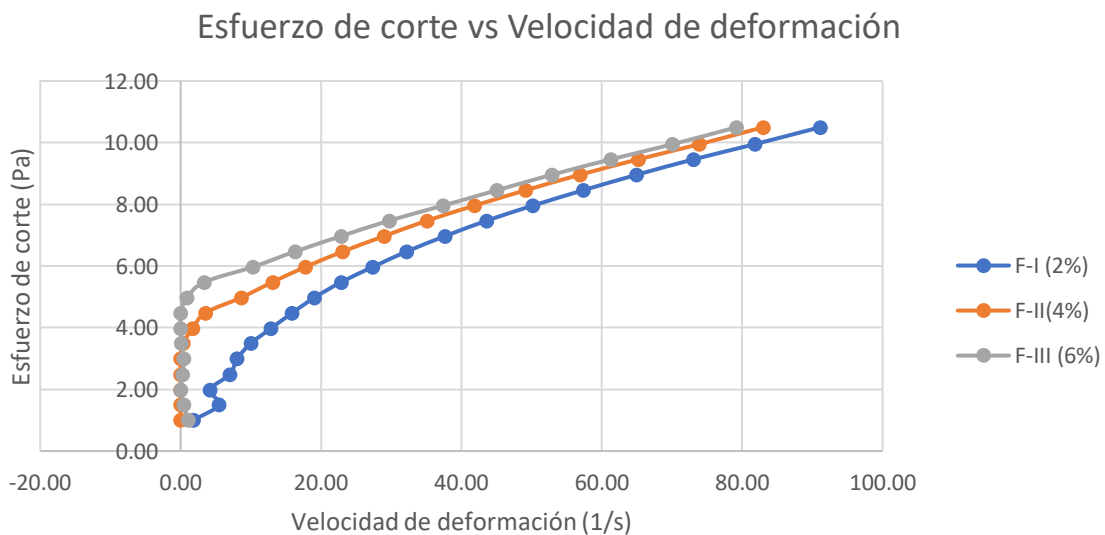
**Tabla 14**

*Data para identificar el modelo reológico (para 6%)*

No puntos	Esfuerzo cortante Pa	Velocidad de deformación	Viscosidad Pa.s	$\ln \dot{\gamma}$	$\ln \tau$
1	1.000	1.100	0.908	0.010	0.000
2	1.500	0.433	3.450	0.120	0.105
3	1.990	0.004	487.000	0.299	0.328
4	2.490	0.289	8.640	0.441	0.412
5	2.990	0.455	6.570	0.439	0.553
6	3.490	0.076	45.900	0.478	0.650
7	3.980	0.000	33700.000	0.645	0.681
8	4.480	0.003	1470.000	0.789	0.720
9	4.980	0.917	5.430	0.987	0.805
10	5.480	3.390	1.610	1.221	0.901
11	5.970	10.300	0.580	2.332	1.287
12	6.470	16.300	0.397	2.791	1.867
13	6.970	22.900	0.304	3.131	1.942
14	7.470	29.700	0.252	3.391	2.011
15	7.960	37.400	0.213	3.622	2.074
16	8.460	45.100	0.188	3.809	2.135
17	8.960	52.900	0.169	3.968	2.193
18	9.460	61.300	0.154	4.116	2.247
19	9.950	70.100	0.142	4.250	2.298
20	10.500	79.200	0.132	4.372	2.351

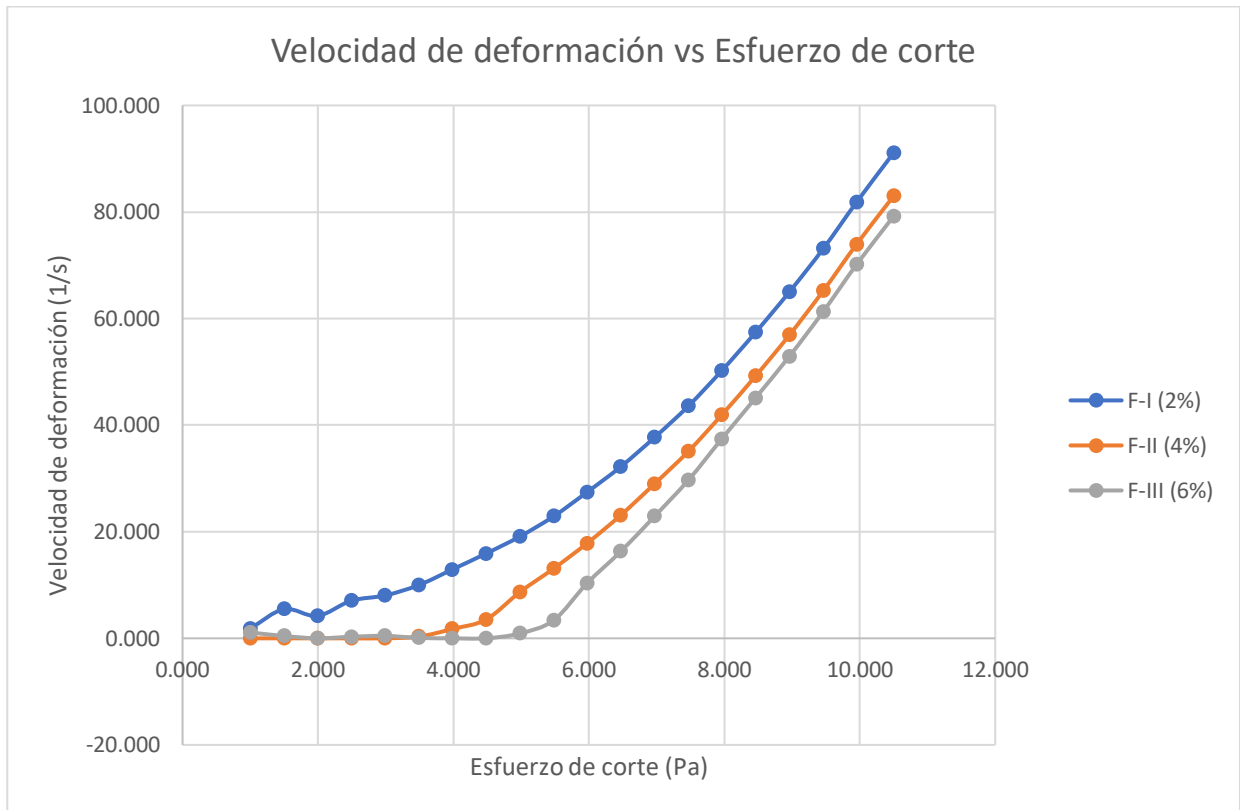
**Figura 23**

*Gráfica para comparar esfuerzos de corte vs velocidad de deformación*



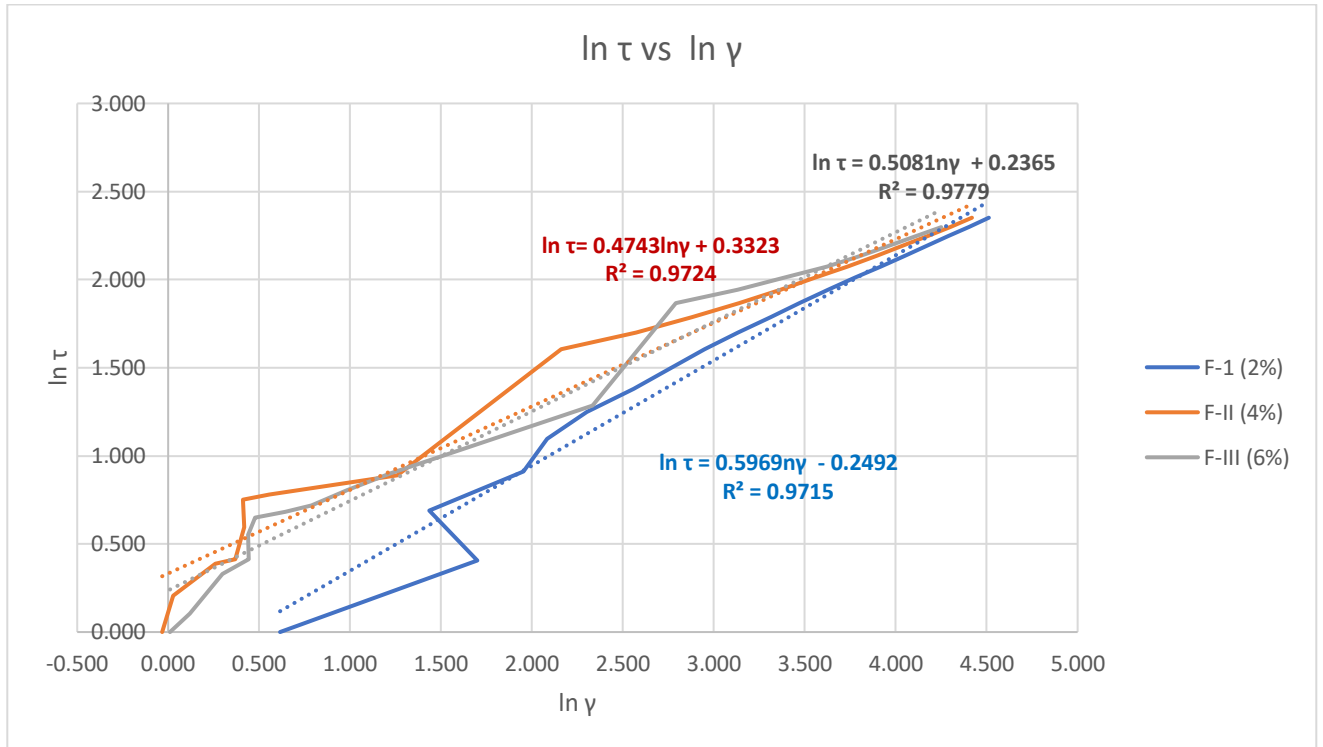
**Figura 24**

*Gráfica de la velocidad de deformación vs esfuerzo de corte*



**Figura 25**

*Ley de potencias a las diferentes concentraciones*



Las tres curvas mostradas corresponden a las concentraciones de 2%, 4% y 6% en extracto de chocho, demostrando un comportamiento pseudoplástico.

**Tabla 15**

*El cuadro muestra los valores de índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n)*

Concentración (Extracto de chocho)	r	k	n
2%	0.9715	0.7794	0.5960
4%	0.9724	1.4000	0.4743
8%	0.9779	1.2668	0.5081

Los valores de k y n se obtienen de la ecuación de la Ley de Oswald, donde r es el coeficiente de correlación.



#### **4.7 Aspectos éticos en investigación**

Los aspectos éticos seguidos para esta investigación fueron:

- La data obtenida fue recabada objetivamente y procesadas libres de subjetivismos.
- La información bibliográfica fue dando créditos a los autores, referenciándolos como indica la norma empleada.



## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

Aplicaremos la prueba de normalidad a los datos obtenidos, donde la velocidad de corte se denominará  $x$  y el esfuerzo de corte  $y$

**Tabla 16**

*Resultados del análisis descriptivo del SPSS de la formulación I (2%)*

#### Descriptivos

		Estadístico	Error estándar	
X	Media	28.2315	8.05728	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	10.6762	
		Límite superior	45.7868	
	Media recortada al 5%	26.5932		
	Mediana	19.2000		
	Varianza	843.956		
	Desv. estándar	29.05092		
	Mínimo	.45		
	Máximo	85.50		
	Rango	85.05		
	Rango intercuartil	50.39		
	Asimetría	.822	.616	
	Curtosis	-.545	1.191	
Y	Media	3.9838	.53727	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.8132	
		Límite superior	5.1545	
	Media recortada al 5%	3.9837		
	Mediana	3.9800		
	Varianza	3.753		
	Desv. estándar	1.93717		
	Mínimo	1.00		
	Máximo	6.97		
	Rango	5.97		
	Rango intercuartil	3.48		
	Asimetría	.001	.616	
	Curtosis	-1.201	1.191	



**Tabla 17**

*Resultados de la prueba de normalidad de la formulación I (2%)*

<b>Pruebas de normalidad</b>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
X	.169	13	.200*	.877	13	.065
Y	.088	13	.200*	.966	13	.837

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

El número de datos es menor a 50 por ello nos basamos en Shapiro-Wilk y vemos que el nivel de significancia es mayor a 0,05 que no indica que debemos utilizar la correlación de Pearson.



**Tabla 18**

Resultados del análisis descriptivo realizados en el SPSS de la formulación II (4%)

			<b>Descriptivos</b>	
			Estadístico	Error estándar
X	Media		31.2021	8.00553
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	13.9072	
		Límite superior	48.4970	
	Media recortada al 5%		29.5002	
	Mediana		22.1000	
	Varianza		897.239	
	Desv. estándar		29.95395	
	Mínimo		1.64	
	Máximo		91.40	
	Rango		89.76	
	Rango intercuartil		51.87	
	Asimetría		.838	.597
	Curtosis		-.495	1.154
	Y	Media		4.2329
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	3.0311	
		Límite superior	5.4346	
Media recortada al 5%		4.2326		
Mediana		4.2300		
Varianza		4.332		
Desv. estándar		2.08135		
Mínimo		1.00		
Máximo		7.47		
Rango		6.47		
Rango intercuartil		3.73		
Asimetría		.001	.597	
Curtosis		-1.199	1.154	



**Tabla 19**

*Resultados de la prueba de normalidad de la formulación II (4%)*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
X	.162	14	.200*	.880	14	.057
Y	.085	14	.200*	.965	14	.797

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

El número de datos es menor a 50 por ello nos basamos en Shapiro-Wilk y vemos que el nivel de significancia es mayor a 0,05 que no indica que debemos utilizar la correlación de Pearson.

## 5.2 Resultados inferenciales

### Hipótesis nula:

**Ho:** No existe relación significativa entre la variación del comportamiento reológico del yogurt natural y el yogurt parcialmente sustituido con extracto de chocho.

### Hipótesis alternativa:

**H1:** Existe relación significativa entre la variación del comportamiento reológico del yogurt natural y el yogurt parcialmente sustituido con extracto de chocho.



**Tabla 20**

Lectura de las correlaciones de la formulación I

**Correlaciones**

		X	Y
X	Correlación de Pearson	1	.954**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	13	13
Y	Correlación de Pearson	.954**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	13	13

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En el análisis de la correlación concluimos que tiene un Baremo con escala de correlación positiva muy alta.

Se puede apreciar que se ha rechazado la hipótesis nula, toda vez que la significancia es menor al 5%, ambas variables tienen una significancia menor al 0.01, por lo que estamos en condición de afirmar que existe una correlación alta (0.954) entre el comportamiento reológico del yogurt natural y el yogurt parcialmente sustituido con extracto de chocho para la formulación I.



**Tabla 21**

Lectura de las correlaciones de la formulación II (4%)

**Correlaciones**

		X	Y
X	Correlación de Pearson	1	.954**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	14	14
Y	Correlación de Pearson	.954**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	14	14

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En el análisis de la correlación concluimos que tiene un Baremo con escala de correlación positiva muy alta.

De igual manera, se ha rechazado la hipótesis nula, toda vez que la significancia es menor al 5%, tenemos que para ambas variables tienen una significancia menor al 0.01, por lo que volvemos aseverar que existe una correlación alta (0.954) entre el comportamiento reológico del yogurt natural y el yogurt parcialmente sustituido con extracto de chocho para la formulación I. De la misma manera se repite la respuesta con la formulación III.

**5.3 Otro tipo de resultados estadísticos**

De los resultados obtenidos anteriormente, se podría afirmar que la sustitución parcial con otra semilla o grano como la quinua, soja, etc puede afectar las características reométricas del yogurt.



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

El yogurt proteico formulado con añadidura de extracto del chocho (*Lupinus mutabilis*), tiene un comportamiento reológico de un fluido pseudoplástico y el modelo que mejor se ajusta es el de Ostwald de Waele.

Esta afirmación resulta ser verdadera como se demuestra experimentalmente la figura 24, mostrando las tres curvas con comportamiento pseudoplástico.

De la ecuación de Ostwald, el parámetro  $n$  es menor a 1 en las tres curvas lo que demuestra también que se ajusta a este modelo por ser un fluido pseudoplástico.

### 6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

\* A pesar de trabajar con fluidos diferentes, el presente trabajo coincide con las tendencias de resultados planteado por Fernández M. (2018); en su trabajo de tesis de pregrado *Comportamiento Reológico de Salsas y Pastas de Tomate Presentes en el Mercado Ecuatoriano* (Fernández, 2018), analizó diferentes marcas comerciales de salsas, aderezos y concentrados de tomate cuyo objetivo principal fue comparar las características reológicas de cada uno de ellos utilizando un viscosímetro rotacional de cilindro concéntricos marca FUNGILAB (modelo EVO Expert) las muestras se analizaron a una velocidad constante de 0.5 rpm a temperaturas de 21°C, 25°C y 30°C con tiempos de medición de 300s, 500s y 700s. La caracterización del tipo de fluido se hizo estableciendo la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, concluyendo su comportamiento pseudoplásticos basándose en el modelo reológico de Herschel–Bulkley.



\*Existe coincidencia con Tinoco L. (2016), quien en su trabajo de tesis de pregrado *Efecto de la Temperatura y concentración en el perfil reológico de la pulpa de melón*, (Tinoco, 2016), evaluó muestras en 4 concentraciones 6,4 °Brix, 10°Brix, 20 °Brix y 30 °Brix, asimismo se determinó a 4 temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C y 50°C utilizando un viscosímetro rotacional Brookfield, concluyo que la pulpa de melón muestra un comportamiento no newtoniano ajustándose al modelo de Otswald De Waele, puesto que, ambos llegamos al mismo modelo para comportamiento pseudoplástico.

### **6.3 Responsabilidad ética**

El autor declara conocer los reglamentos y procedimientos vigentes establecidos por la Universidad Nacional del Callao y se responsabiliza por la información emitida en el presente proyecto de investigación “ FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN YOGUR CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LECHE CON EXTRACTO DE CHOCHO (*Lupinus muatabilis*) A FIN DE ELEVAR SU GRADO PROTEICO ” ; la cual se desarrolló verificando el cumplimiento de los aspectos éticos, metodológicos, administrativos, legales y de propiedad intelectual, sometiéndome a ser sancionado si se ha actuado en contra de lo establecido.

El presente estudio no realizó ninguna intervención de compromiso a la integridad física y/o psicológica de las personas. El investigador tuvo acceso únicamente a la información necesaria para realizar la investigación.



## VII. CONCLUSIONES

- En este trabajo de investigación se determinó el comportamiento reológico asociado al yogurt proteico con adición del extracto de chocho (*Lupinus mutabilis*) a concentraciones de 2%, 4% y 6%, mostrando un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico. La data se ajustó al modelo de Ostwald de Waele, demostrándose que la viscosidad del yogurt con añadidura de extracto de chocho decrece conforme aumenta la velocidad de corte.
- Se identificó como característica fisicoquímica fundamental del extracto del chocho (*Lupinus mutabilis*) un grado proteico que oscila alrededor del 5%, lo cual incrementó el valor nutricional en el nuevo yogurt, logrando una formulación óptima con características organolépticas aceptables.
- Se determinó los parámetros reológicos del modelo de Oswald, al yogurt con extracto de chocho a concentraciones de 2%, 4% y 6%, y a temperatura ambiente, logrando evidenciar que el índice de consistencia (k) así como el índice de comportamiento de flujo (n) reflejan influencia significativa debido a la cantidad de extracto de chocho añadido. Dichos ajustes reflejan que la concentración del extracto afecta de manera directa la estructura y comportamiento del yogurt.
- Se obtuvieron los reogramas asociados al yogurt formulado con añadidura de extracto de chocho con concentraciones de 2%, 4% y 6%, y a temperatura ambiente. Dichos reogramas nos proporcionan las curvas características respecto a su comportamiento en cada caso.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (INEI), I. N. (2023). *Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2023*. Lima: INEI.
- AMARANTO LEIVA, I., & LOPEZ DABA, G. (2016). *Caracterización reológica de la jalea elaborada a base de sábila (Aloe vera), membrillo (Cydonia oblonga) y mango (Mangífera indica L.)*. Chimbote: Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa.
- AÑAHUARI, E. (2013). *Caracterización morfológica y componentes del rendimiento de compuestos avanzados del tarwi (Lipinus mutabilis) en dos localidades del Valle del Mantaro*. Huancayo-Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- ASTO RAMOS, A. S. (2013). *comportamiento reológico de la pasta de ají jalapeño (Capsicum annum) a diferentes concentraciones de goma xantana*. Tarma: Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro.
- CEDEPAS. (2016). *Manual de producción de derivados lácteos*. Trujillo: Ministerio de la Producción.
- CHHABRA, R. (2008). *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology*. Butterworth-Heinemann.
- CODEX. (2022). *nORMA PARA LECHES FERMENTADAS CXS 243-2003*.
- CORONEL FEIJO, M. (. (2018). *Estudio de las características físico-químicas y sensoriales de yogurt enriquecido con quínoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Badajoz: Tesis de doctorado, Universidad de Extremadura.
- EARLY, R. (1998). *Tecnología de los productos lácteos*. Zaragoza: Acribia.
- FARINANGO MATUTE, A., & QUIZHPI MOGROVEJO, j. (2015). *Preparación de un suplemento protéico elaborado a partir de Lupinus mutabilis "chocho" y su*



*valoración bromatológica*. Ecuador-Ecuador: Título profesional-Universidad de Cuenca.

FERNÁNDEZ GÓMEZ, M. (2018). *Comportamiento reológico de salsas y pastas de tomate presente en el mercado ecuatoriano*. Cuenca: Universidad de Azuay.

GROSS, R. (1982). *El cultivo y la utilización del Tarwi*. California: Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación.

GUTIERREZ LARA, J. (2013). *Efecto del tipo de carnaza sobre las propiedades reológicas del licor de la gelatina pura de origen bovino*. Ambato: Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato.

JACOBSEN, S., & MUJICA, A. (2006). *El tarwi (Lupinus mutabilis Sweet.) y sus parientes silvestres*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.

LIMONES ACOSTA, K., & GARCÍA ARRIETA, M. (2011). *Elaboración de sopa instantánea a partir de harina de chocho (Lupinus mutabilis skeet)*. Guayaquil-Ecuador: Tesis pre-grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

MANOTOA, B. A. (2023). *Efecto del uso de harinas de cultivos andinos de papa china (Colocasia esculenta) y chocho (Lupinus mutabilis) en la producción de yogurt entero*. Ambato-Ecuador: PRE.GRADO- Universidad técnica de Ambato.

MARQUEZ VILLACORTA, L., PRETELL VASQUEZ, C., & SICHE JARA, R. (2016). *Efecto de la temperatura y concentración de sólidos solubles sobre las propiedades reológicas de la pulpa de guanábana (Annona muricata L.)*. Trujillo-Perú: Pueblo Continente.

<https://journal.upao.edu.pe/index.php/PuebloContinente/article/view/356>

MOTT, R. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Edo. de Mexico: Prentince Hall.



- PASCUAL GUTIERREZ, E. (2016). *Estudio del comportamiento reológico de un fluido reo-espesante*. Madrid: Tesis pregrado, Universidad Carlos III de Madrid.
- RAMIREZ NAVAS, J. (2006). *Fundamentos de la reología de alimentos*. Cali: JSR e-books.  
<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Fundamentos%20de%20Reologia.pdf>
- RAMIREZ NAVAS, J. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos*. Cali: Universidad del Valle.  
[https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n\\_a\\_la\\_Reolog%C3%ADa\\_de\\_los\\_alim/IVCAQal\\_ePkC?hl=es&gbpv=1&dq=reolog%C3%ADa+pdf&pg=PA46&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_Reolog%C3%ADa_de_los_alim/IVCAQal_ePkC?hl=es&gbpv=1&dq=reolog%C3%ADa+pdf&pg=PA46&printsec=frontcover)
- ROCABADO FLORES, J. e. (2011). Transformación de granos andinos (quinua, cañahua, amaranto y tarwi) en harinas altamente nutritivas en el departamento de Potosí. Todo sobre la quinua. Retrieved 2024, from Todo sobre la quinua.
- SALVATIERRA, M. e. (2004). *Evaluación del efecto de cultivos probióticos presentes en el yogurt Staphylococcus aureus*. Archivos latinoamericanos de producción.
- SVEN, J., & MUJICA, A. (2006). *El tarwi (Lupinus mutabilis Sweet.) y sus parientes silvestres*. Puno: Universidad Mayor de San Andres.
- TAPIA, M. (2015). *El Tarwi, Lupino andino*. Huaylas: Fondo Italo Peruano.
- TAPIA, M., & FRIES, A. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos* (Primera edición ed.). Lima: FAO. <https://www.fao.org/4/ai185s/ai185s.pdf>



TINOCO OSCANOVA, L. (20216). *Efecto de la temperatura y concentración de perfil reológico de la pulpa de melón (cucumis melo)*. Tarma: Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú.



## ANEXOS



## Anexo 1. Matriz de consistencia

**TEMA:** FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN YOGURT CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LECHE CON EXTRACTO DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis*) A FIN DE ELEVAR SU GRADO PROTEICO.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál será el comportamiento reológico que mejor se asocie al yogurt con adición del extracto de chocho ( <i>Lupinus mutabilis</i> )?	Determinar el comportamiento reológico asociado al yogurt proteico con adición del extracto de chocho ( <i>Lupinus mutabilis</i> )	El yogurt proteico formulado con añadidura de extracto del chocho ( <i>Lupinus mutabilis</i> ), tiene un comportamiento reológico de un fluido pseudoplástico y el modelo que mejor se ajusta es el de Ostwald de Waele	Y= Reología del yogurt batido, con sustitución parcial de leche con extracto de chocho .	Viscosidad	Pa	- Estadístico
PROB. ESPECÍFICOS	OBJ. ESPECÍFICOS	HIP. ESPECÍFICAS	VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a. ¿Cuáles serán las características fisicoquímicas del extracto de chocho ( <i>Lupinus mutabilis</i> ) a incrementar en la elaboración de un yogurt nutricional?	a. Identificar las características fisicoquímicas del extracto del chocho ( <i>Lupinus mutabilis</i> ) a incrementar en la elaboración del yogurt nutricional	a. Los parámetros reológicos a controlar en el yogurt con añadidura de extracto de chocho son k y n .	X <sub>1</sub> = Parámetros reológicos	k		Reométrico
				n		Reométrico
b. ¿Cómo será la correlación no lineal de los datos experimentales orientadas a obtener los parámetros reológicos asociados al yogurt formulado con la añadidura del extracto de chocho a diferentes concentraciones y a temperatura ambiente?	b. Determinar los parámetros reológicos del modelo asociado al yogurt con extracto de chocho a diferentes concentraciones y a temperatura ambiente	b. El grado proteico del yogurt con añadidura de extracto de chocho se incrementa en un 5%	X <sub>2</sub> = Característica nutricionales del extracto de chocho	Proteína	%	Kjeldahl
c. ¿Cómo serán los reogramas asociados al yogurt formulado con añadidura de extracto de chocho con diferentes concentraciones y a temperatura ambiente	c. Determinar los parámetros reológicos del modelo asociado al yogurt con extracto de chocho a diferentes concentraciones y a temperatura ambiente					

## Anexo 2. Base de datos

CENTRO DE ACOPIO: COANI

FECHA: 22 de Junio de 2009

**TABLA 51 : RESULTADOS DE LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS**

Numero	Código de Productor	Prueba de alcohol	Acidez Titulable [% Acido láctico]	pH	Densidad [g/mL.]	Materia Grasa [g%]	SNG [%]	ST [%]	Cenizas [%]	Lactosa [%]	Proteína [%]
1	6533	NEG	0,163	6,70	1,029	3,53	10,1	13,6	0,72	-----	-----
2	9068	NEG	0,173	6,70	1,030	4,01	10,1	14,1	0,74	-----	-----
3	68	NEG	0,170	6,74	1,031	3,55	10,0	13,6	0,76	-----	-----
4	287	NEG	0,182	6,68	1,032	3,99	10,0	14,0	0,74	-----	-----
5	7	NEG	0,173	6,72	1,029	3,69	10,1	13,8	0,78	-----	-----
6	6486	NEG	0,157	6,76	1,032	3,65	10,1	13,8	0,77	-----	-----
7	9067	NEG	0,167	6,68	1,031	3,27	10,0	13,3	0,79	-----	-----
8	6454	NEG	0,165	6,68	1,029	4,19	10,1	14,3	0,76	-----	-----
9	9032	NEG	0,180	6,65	1,027	3,66	10,1	13,7	0,78	-----	-----
10	Contenedor 1	NEG	0,177	6,62	1,029	3,26	10,0	13,3	0,76	4,98	3,50
11	Contenedor 2	NEG	0,172	6,75	1,030	3,99	10,0	14,0	0,78	5,20	3,75
12	Contenedor 3	NEG	0,162	6,61	1,032	3,97	10,0	14,0	0,78	5,25	3,65
<b>PROMEDIO</b>			0,170	6,69	1,030	3,73	10,1	13,79	0,76	5,14	3,7
<b>DESVIACION ESTANDAR</b>			0,007588	0,047527	0,001494	0,301950	0,040514	0,313376	0,021034	0,143643	0,070711

