



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRINDUSTRIAL Y
COMERCIO EXTERIOR**

**“EFECTO DE LA PROPORCION DE MUCILAGO EN POLVO DE
SEMILLAS DE CHÍA (*Salvia Hispanica L.*) Y MEMBRILLO (*Cydonia
Oblonga*) EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE UN GEL”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

AUTOR:

ALFREDO ALONSO LEÓN SÁNCHEZ

ASESOR:

ING. SANDRA PAGADOR FLORES

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

PROCESOS AGROINDUSTRIALES

TRUJILLO – PERÚ

2018

PAGINAS DEL JURADO

El presidente y los miembros del Jurado Evaluador designado por la escuela de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior.

La tesis denominada:

“EFECTO DE LA PROPORCION DE MUCILAGO EN POLVO DE SEMILLAS DE CHÍA (Salvia Hispanica L.) Y MEMBRILLO (Cydonia Oblonga) EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE UN GEL”

Presentado por:

.....

León Sánchez Alfredo Alonso

Aprobado por:

.....

Mg. Luis Alfonso Lescano San Martín

Presidente

.....

Mg. Leslie Cristina Lescano Bocanegra

Secretario

.....

Mg. Sandra Pagador Flores

Vocal

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad y la vida de cumplir con una mis metas trazadas, dándome la fortaleza y perseverancia para lograr ser un profesional de éxito.

A mis padres Gerardo Alfredo León Abanto y Consuelo Haydeé Sánchez Díaz, que con su apoyo incondicional son el cimiento de la construcción de mi vida profesional, sentaron en mi la confianza, responsabilidad y deseos de superación.

A mi familia, amigos y futuros colegas por el apoyo en mis años de formación académica, con quienes aprendí mas de la vida y me ayudaron a ser una mejor persona.

A mi asesora la Ingeniera Sandra Pagador Flores, por sus enseñanzas, paciencia y por el respaldo incondicional en esta investigación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad César Vallejo, mi alma Mater, por aportar en mi desarrollo y crecimiento profesional durante estos 5 años, a mis docentes y a mi asesora M.Sc. Sandra Pagador Flores, por su apoyo incondicional y su motivación durante el desarrollo de esta investigación.

Al laboratorio de Procesos Industriales de la Universidad Cesar Vallejo por brindarme la disponibilidad de sus equipos y el ambiente necesario para poder realizar los ensayos y análisis necesarios en esta investigación.

Al Dr. Guillermo Linares que me brindó su apoyo de manera desinteresada, aportándome sus conocimientos y la orientación adecuada para el desarrollo y la culminación de esta investigación.

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo Alfredo Alonso León Sánchez, con DNI N° 76173445, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior, declaró bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos de información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

13 de diciembre del 2018

PRESENTACIÓN

Señores del Jurado:

En cumplimiento del reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “EFECTO DE LA PROPORCION DE MUCILAGO EN POLVO DE SEMILLAS DE CHÍA (*Salvia Hispanica L.*) Y MEMBRILLO (*Cydonia Oblonga*) EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE UN GEL”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de la carrera de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior.

El Autor.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRAC	2
I. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Realidad Problemática:.....	3
1.2. Trabajos Previos:	4
1.3. Teorías Relacionadas al Tema:	7
1.3.1. Chía (<i>Salvia Hispanica L.</i>)	7
1.3.2. Membrillo.....	12
1.3.3. Comportamiento Reológico:.....	15
1.3.4. Mucílago:	28
1.4. Formulación al Problema:	29
1.5. Justificación del Estudio:.....	29
1.6. Hipótesis:.....	30
1.7. Objetivos:	31
1.7.1. Objetivo general:	31
1.7.2. Objetivos específicos:	31
II. MÉTODO	32
2.1. Diseño de Investigación:	32
2.1.1. Esquema Experimental:	32
2.1.2. Diagrama de flujo del proceso experimental para la obtención del mucilago:	33
2.1.3. Diagrama de Flujo de la preparación del gel:	35
2.2. Variables y Operacionalización:	36
2.2.1. Variables:	36
2.2.2. Operacionalización de Variables:	37
2.3. Población y Muestra:	39
2.3.1. Población:	39
2.3.2. Muestra:.....	39
2.4. Técnica e Instrumentos de Validación de Datos, Validez y Confiabilidad:	39
2.4.1. Clasificación Reológica, tensión de fluencia, índice de consistencia y comportamiento:	39
2.4.2. Energía de Activación:	39

2.5.	Método de Análisis de Datos:.....	39
2.6.	Aspectos Éticos:	40
III.	RESULTADOS	40
3.1.	Características Reológicas:.....	40
3.1.1.	Tensión de Fluencia (To).....	41
3.1.2.	Índice de Comportamiento (n).....	42
3.1.3.	Índice de Consistencia (k)	43
3.1.4.	Clasificación del Fluido:.....	45
3.2.	Energía de Activación:	46
IV.	DISCUSIONES	47
V.	CONCLUSIONES	49
VI.	RECOMENDACIONES	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:	51
	ANEXOS	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Jerarquía taxonómica de la chía	8
Cuadro 2.	Composición química de 100g. de chía.....	9
Cuadro 3.	Jerarquía taxonómica del membrillo	13
Cuadro 4.	Composición química de 100g. del membrillo	14
Cuadro 5.	Operacionalización de las variables	37
Cuadro 6.	Resultado reológicos de los cinco geles a base de mucilago de chia y membrillo	40
Cuadro 7.	Análisis de Varianza de tensión de fluencia (T ₀)	41
Cuadro 8.	Análisis de Varianza del índice de comportamiento (n)	42
Cuadro 9.	Análisis de Varianza del índice de consistencia (k)	43
Cuadro 10.	Energía de Activación de los geles a base de mucilago de chía y membrillo	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semillas de chía	8
Figura 2. Bondades nutricionales de la chía	10
Figura 3. Semillas de membrillo	12
Figura 4. Clasificación de fluidos existentes en la reología	17
Figura 5. Modelo de Maxwell	23
Figura 6. Esquema experimental de las diferentes proporciones de mucilago de chía y membrillo .	32
Figura 7. Diagrama de Flujo para la Obtención de Mucilago de Chía y Membrillo	33
Figura 8. Diagrama de Flujo para la preparación del gel	35

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Clasificación de fluidos según su comportamiento reológico	18
Gráfico 2. Comportamiento de fluidos tixotrópicos	22
Gráfico 3. Comportamiento de fluidos reopécticos	22
Gráfico 4. ANOVA MULTIFACTORIAL de tensión de fluencia (T_0)	42
Gráfico 5. ANOVA MULTIFACTORIAL del índice de comportamiento (n)	43
Gráfico 6. ANOVA MULTIFACTORIAL del índice de consistencia (k)	44
Gráfico 7. Reograma de los cinco geles de mucilago de chía y membrillo	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01: Clasificación Reológica (T_0 , n y k) mediante la ecuación de Casson	53
Anexo 02: Energía de Activación	54
Anexo 03: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 100% Chía	55
Anexo 04: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 75% chía y 25% membrillo	56
Anexo 05: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 50% chía y 50% membrillo	57
Anexo 06: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 25% chía y 75% membrillo	58
Anexo 07: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 100% membrillo	59
Anexo 08: Grafico de Medias y Fisher LSD – Tensión de Fluencia (T_0)	60
Anexo 09: Grafico de Medias y Fisher LSD – Índice de Comportamiento (n)	60
Anexo 10: Grafico de Medias y Fisher LSD – Índice de Consistencia (k)	61
Anexo 11: Características de Flujo de algunos alimentos	61
Anexo 12: Grafico de energía de Activación $\ln(k)$ vs $1/T$	62

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la proporción de mucilago en polvo de semillas de chía (*salvia hispanica* L.) y membrillo (*cydonia oblonga*) en las características reológicas de un gel. El diseño que se trabajó fue experimental - índice creciente, en el cual se utilizó semillas de chia y membrillo para ser convertidas en mucilago en polvo y ser caracterizadas reológicamente a cinco proporciones de mezcla de un gel (100%Chía, 75%Chía y 25%Membrillo, 50%Chía y 50%Membrillo, 25%Chía y 75%Membrillo y 100%Membrillo). En el análisis de varianza reporto un efecto significativo entre todas las proporciones, con respecto a tensión de fluencia (T_o), índice de comportamiento (n) e índice de consistencia (k), sin embargo todos los geles tuvieron un mismo comportamiento reológico (n entre 0.6404 y 0.8337) clasificándolo como un fluido no newtoniano de tipo plástico general ($n < 1$). Se determinó que el gel con mayor viscosidad fue el de 100% membrillo $k = 18.5112$, esto debido al mayor contenido de solidos totales y el de mayor umbral de fluencia fue el 100% Chía con un $T_o = 3.33$.

Se determinó la Energía de Activación (E_a) de las cinco proporciones, reportando la más alta la de 100% Chía siendo 6936.52 caloría/mol.

Palabras Clave: Mucilago, Chía (*salvia hispanica* L.), Membrillo (*cydonia oblonga*), características reológicas, Tensión de fluencia (T_o), Índice de comportamiento (n) e Índice de consistencia (k), Gel.

ABSTRAC

The objective of the present work was to evaluate the effect of the proportion of powdered mucilage of chia seeds (*salvia hispanica* L.) and quince (*cydonia oblonga*) on the rheological characteristics of a gel. The design that was made was experimental, increasing index, in which the seeds of the blood and the body have been converted to powder and be characterized in the five proportions of the mixture of a gel (100% Chia, 75 % Chia and 25% quince, 50% Chia and 50% Quince, 25% Chia and 75% Quince and 100% Quince). In the variance analysis report a significant effect between all the proportions, with respect to the yield stress (σ), behavior index (n) and consistency index (k), however all the gels had a same rheological behavior (n between 0.6404 and 0.8337) classified as a non-Newtonian fluid of general plastic type ($n < 1$). It was determined that the gel with the highest viscosity produced 100% membership $k = 18.5112$, this is due to the higher content of total solids and the highest flow threshold was 100% Chía with a $T_o = 3.33$.

The Activation Energy (E_a) of the five proportions was determined, reporting the highest of the 100% Chía being 6936.52 calorie / mol.

Keywords: Mucilago, Chia (*salvia hispanica* L.), Quince (*cydonia oblonga*), rheological characteristics, Flow stress (T_o), Index of behavior (n) and Index of consistency (k), Gel.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática:

En la actualidad, hablar de alimentos procesados, significa que estos han sido realizados óptimamente y con el diseño adecuado para su transformación. Al procesar un alimento, lo sometemos a un movimiento constante; es aquí donde la importancia de la viscosidad del alimento se convierte en un aspecto fundamental. Los Mucilagos que son una sustancia vegetal viscosa están siendo utilizados en la agroindustria hoy en día, ya sea como clarificantes, espesantes o como constituyente de fibra dietética soluble; estos mucilagos los encontramos en algas y diferentes tipos de semillas como: malva, liquen, nopal, linaza, membrillo y chía, estas tres últimas presenta gran potencial como ingrediente nutricional en aplicaciones en la industria. (Juan Ramírez, 2006)

El mucilago en las semillas de Chía y de Membrillo, tiene un elevado peso molecular y es un polisacárido presente en las tres primeras capas de las semillas y posee propiedades espesantes, gelificantes, estabilizantes; debido a su elevada retención de y solubilidad, han proporcionado un interés de estudio en investigaciones para innovación tecnológica alimentaria. (M. Capitani, et al, 2014).

En el ámbito de los alimentos, la reología es una extensa área de estudio, por ello se han hecho investigaciones relevantes y se han usado distintas herramientas para examinar y ajustar la conducta reológica de los alimentos. La reología se usa, al momento de fabricar alimentos, así como también en productos ya terminados, para realizar una inspección de la materia prima, entregando de esta forma, valiosa información indispensable para el control de proceso. Además, es considerablemente ventajoso para el diseño y la construcción de maquinaria como: tolvas, mezcladores, bombas, tuberías, extrusores, intercambiadores de calor, etc., debido a que previene sobredimensionamientos que harían el proceso más caro. Por consiguiente, la reología

de fluidos alimenticios es un valioso instrumento de ingeniería de procesos, especialmente en las operaciones unitarias que implican cantidad de movimiento y transferencia de calor (Barbosa-Cánovas et al., 1993).

Es importante mencionar que para justificar el estudio del comportamiento reológico existen cuatro motivos fundamentales. En primer lugar, ayuda a conocer la estructura; por ejemplo: la relación entre la forma y el tamaño molecular de las sustancias en disolución y su viscosidad; en segundo lugar, la reología se usa en la industria de los alimentos, porque controla las materias primas y los productos en elaboración durante los procesos. En tercer lugar, durante el diseño de máquinas, la reología es de gran ayuda y finalmente las características reológicas influyen de un modo considerable en la aceptación de un producto (SGS España, 2011).

1.2. Trabajos Previos:

Solorza (2007), realizó la caracterización reológica de la goma de mucilago del café, en la que determinó que presentaba un comportamiento no newtoniano (Plástico General) y que el índice de consistencia “k” es fuertemente afectado por la concentración y la temperatura, respecto a la concentración, “k” asciende cuando el contenido de goma se incrementa, por otra parte el valor de “k” presenta una relación inversa con la temperatura, este fenómeno fue explicado con el modelo de Arrhenius obteniendo valores de energía de activación, E_a 8523,34 y 2642,87 Caloría/mol.

García Cruz (2011), realizó una investigación sobre la optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya en función de sus propiedades reológicas en la que concluyó que el mucílago de pitahaya secado por aspersión, y reconstituido al 3 y 6% (p/v), presenta un comportamiento no newtoniano del tipo de adelgazamiento a la cizalla (plástico general), y los datos experimentales se ajustan adecuadamente al modelo de Casson.

Carhuallanqui (1999), realizó una investigación sobre el estudio del comportamiento reológico del Carboxi Metil Celulosa (CMC) en la Formulación Óptima de la Salsa de Alcachofa, en la que determinó que el comportamiento reológico de la salsa de alcachofa es un fluido no newtoniano con un índice reológico $n=0,77$ y un coeficiente de consistencia $m=25,20 \text{ dina-s/cm}^2$

Leslie Farela, (2017) en su investigación sobre la caracterización de mucilago de chíá como espesante en mermelada de fresa, evaluó la tensión de fluencia a diferentes proporciones de mucilagos de chíá 0. 10%, 0.15% y 0.20% en la cual al calcular su umbral de fluencia concluyo que a mayor porcentaje de chíá la tensión de fluencia es mayor, esto es debido a su alto poder espesante y gomosidad, para cada uno de los tratamientos utilizo coeficientes de determinación superiores a 0,93, para verificar que la correlación de los datos sea el indicado.

Sánchez (2007), realizó un trabajo en Purés de Guayaba (*Psidium guajabal*), donde evaluó la influencia del calor en las características reológicas de dicho alimento. Para esto fue necesario usar un reómetro oscilatorio en baño termo-estático, observando que se mostraba una conducta de fluido no newtoniano en los purés de guayaba, el cual se ajustaba a la ley de potencia ($\text{esfuerzo} = k * \text{velocidad de cizalla}$, donde n es índice de comportamiento de flujo y k es índice de consistencia), y presentaron una conducta tixotrópica y pseudoplástica, mostrando que el índice de consistencia disminuyó al incrementarse la temperatura mientras que aumentó el índice de comportamiento de flujo.

Acosta (2009), Realizó un estudio sobre el efecto del calor y la concentración en las propiedades reológicas de la pulpa de carambola (*Averrhoa carambola*)”, concluyendo que el comportamiento reológico de la carambola, es considerado como pseudoplástico, dentro del rango de temperaturas y concentraciones estudiadas, y se

describe según el modelo de la ley de la potencia. Todas las muestras que se analizaron tuvieron una disminución de su viscosidad aparente, mientras que aumentaba su concentración de sólidos solubles y temperatura.

Colato et al., (2009), realizaron un estudio del comportamiento reológico de Blue Berry (*Vaccinium myrtillus*) fruta producida en Brasil, analizaron a temperaturas de 5°C, 25°C, 45°C y 65°C en un reómetro de platos, con el objetivo de observar la influencia de la temperatura en las propiedades reológicas, presentando un comportamiento pseudoplástico, descrito por los modelos Ostwald de Waele (ley de la potencia), Herschel – Bulkley (HB) y Mizhari Berk. El índice del comportamiento al flujo se incrementa con la temperatura de 5°C, 25°C y 45°C; por otro lado, se observó lo opuesto a una temperatura de 65°C; la viscosidad decrece con el conforme aumenta la temperatura, lo cual se describe adecuadamente con la ecuación de Arrhenius para la energía de activación.

Torres et al., (2010), realizaron un trabajo sobre la influencia de la temperatura en la conducta reológica de la pulpa de zapote (*Calocarpum Sapota Merr*), concluyendo que el comportamiento reológico de la pulpa de zapote en las temperaturas de 10°C a 65°C está representado por la ley de la potencia, mostrando la conducta de un fluido no newtoniano con propiedades pseudoplásticas, más no tixotropía, la pulpa de zapote pierde pseudoplasticidad y disminuye su consistencia, esto debido a que sus características reológicas son dañadas por la temperatura, donde el índice de conducta del flujo se ve dado por un modelo lineal ($y=a+bx$) y el índice de consistencia (k) por el modelo de Arrhenius con una energía de activación de 23952,5 J/mol.

1.3. Teorías Relacionadas al Tema:

1.3.1. Chía (*Salvia Hispanica L.*)

A. Origen:

La Chía (*Salvia hispánica L.*) es una planta que germina, florece y fecunda en el curso de un año, crece en verano, y pertenece a la familia de las Lamiaceae; es procedente de México, principalmente se encuentra en áreas montañosas. Era conocida como una valiosa medicina/alimento desde el año 3500 a.C., aunque actualmente es un producto novedoso en nuestro mercado. Durante la época precolombina, para los mayas estuvo dentro de sus cultivos principales destinados a su alimentación; junto al poroto, el maíz y el amaranto. Conforme el tiempo avanzó, la chía tuvo una caída en su uso y terminó olvidada, no fue hasta finales del siglo anterior que el interés por este alimento volvió a surgir, debido a que se la consideró una excelente fuente de proteína, fibra dietaria y antioxidantes. Sus propiedades fueron reconocidas en el año 1991 y de esta forma se volvió a cultivar gracias a un programa de investigación y desarrollo de la Universidad de Arizona, el cual promovió la recuperación de la chía en Argentina, México y EEUU.

La chía era utilizada por los mayas y aztecas en diferentes preparaciones medicinales y nutricionales, además de la elaboración de ungüentos cosméticos. Al combinarlo con el maíz, estas civilizaciones consideraban a la chía una fuente de energía para viajes prolongados y alimento para los guerreros. Además, la harina de chía tostada era utilizada para elaborar una bebida tradicional, nutritiva y refrescante, conocida como “chía fresca”, bebida que se volvió costumbre popular y que hoy sigue vigente en Centroamérica, se preparaba a base de agua limón y chía. El aceite de chía era utilizado en la elaboración de pinturas y barnices, por los ceramitas y pintores, este aceite hacía que los trabajos tuvieran más brillo además de resistir al envejecimiento, debido a su alto poder antioxidante (R. Ayerza, et al, 2006).

Figura 1. Semillas de Chía



B. Generalidades y Taxonomía:

La planta de chía mide entre 1 a 1.5 m de alto, tiene tallos con ramas de forma cuadrada y vellosidad corta y blanca. Tiene hojas que miden de 0.8 a 1m de largo, con bordes aserrado y 0.4 a 0.6 cm de anchura. Esta planta tiene flores de color azul intenso o blancas, las cuales se producen en espigas terminales. Las semillas tienen entre 1,5 y 2,0 mm de largo y son suaves, ovaladas y brillantes. Según la variedad, su color puede ser blanco o negro grisáceo con manchas irregulares que tienden a un color rojo oscuro. (R. Ayerza, et al, 2006).

Cuadro 1. Jerarquía Taxonómica de la Chía

Jerarquía	Descripción
Reino	Plantae – Planta
Subreino	Tracheobionta – Planta Vascular
División	Magnoliophyta – Angiosperma
Clase	Magnoliopsida - Dicotiledónea
Subclase	Asteridae
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae – Menta
Género	Salvia L. – Salvia
Especie	Salvia Hispanica L.

Fuente: R. Ayerza, et al

C. Composición Química de la Chía:

Uno de los alimentos que más contienen Omega 3, son las semillas de Chía. El cual, es un ácido graso esencial para el organismo debido a sus propiedades antiinflamatorias, antiarrítmicas y antirombóticas. Las semillas de chía tienen que ser molidas o masticadas para que el organismo pueda asimilar de manera correcta el Omega 3.

La Chía, además por contener fibra soluble puede ser usado como suplemento de la misma, con una reacción de prebiótico para el microbiota intestinal, es decir, ayuda a evitar el estreñimiento y reducir los niveles de colesterol. Al ser una semilla, tiene un elevado aporte de vitaminas y minerales como el ácido fólico, el calcio, magnesio, sustancias vegetales y antioxidantes.

Cuadro 2. Composición Química de 100 g de Chía

Nutriente	Contenido
Energía (Kcal)	486
Glúcidos (g)	42,12
Proteínas (g)	16,54
Grasas (g)	30,74
Omega 3 (g)	17,8
Fibra (g)	34,4
Ácido Fólico (mcg)	114
Calcio (mg)	631
Magnesio (mg)	335
Fosforo (mg)	860
Potasio (mg)	407
Hiero(mg)	7,72
Zinc (mg)	4,58
Cobre (mg)	1,66
Sodio (mg)	16

Fuente: Botanical

D. Propiedades y Bondades Nutricionales:

Figura 2. Bondades Nutricionales de la Chía



Fuente: SOLCHEM

Propiedades hipolipidimiantes:

En estudios previos se observó que la adición de las semillas de chía en la alimentación, ayudan notablemente en la reducción del nivel de triglicéridos y colesterol malo o lipoproteínas de baja densidad (LDL). Por otro lado, el consumo de estas semillas produce un aumento del colesterol bueno o proteínas de alta densidad (HDL) y los niveles de ácidos grasos poliinsaturados ω -3.

Propiedades hipoglucemiantes:

Está comprobado que existe una correlación entre las enfermedades cardiovasculares, el síndrome metabólico y la diabetes, con la ingesta de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). Asimismo, existen estudios que indican que la adición de semillas de chía a la alimentación presenta influencias cardioprotectoras en mujeres.

Propiedades antioxidantes:

La popularidad de la chía ha aumentado recientemente al ser una de las primordiales fuentes de ácidos grasos poliinsaturados. Este alimento es extensamente cultivado y comercializado actualmente por su contenido ácido

alfa-linolénico y sus propiedades antioxidantes. Anteriormente era cultivado por los pueblos indígenas de México y Guatemala.

Propiedades antiinflamatorias:

La inflamación es un proceso que se origina como consecuencia de reacciones mediadas por moléculas inflamatorias. La incorporación de aceite de chía a la dieta reduce las reacciones pro-inflamatorias, ya que compite con los mediadores pro-inflamatorios y por tanto se induce un menor grado de inflamación al reducir la inducción de la cascada de reacciones inflamatorias. Además, las semillas de chía son otra alternativa que puede brindar Omega 3 a un grupo con otros requerimientos nutricionales, como lo son las personas alérgicas a los mariscos o al pescado; también para los vegetarianos y veganos.

E. Usos y Aplicaciones:

Aceites:

Una forma de utilizar la chía es tomar sus semillas, cultivarlas en forma orgánica y presarlas en frío, para obtener de ellas el aceite necesario, sin proceso de refinado. Este aceite contiene un alto porcentaje de Omega 3, y es suficiente consumir unos pocos gramos en crudo (una cucharadita), para cubrir las necesidades diarias de ácido linolénico de una persona en promedio. Por otro lado, otro de sus beneficios es que debido a su bajo contenido de Omega 6, al ser mezclado con el aceite de girasol, da un alimento equilibrado con una perfecta relación entre los omegas 6 y 3 de 4 a 1. Estos aceites, al tener delicados principios nutricionales, deben ser consumidos es frío sin ningún proceso de cocción.

Semillas:

Para obtener un mayor beneficio de Omega 3, se puede consumir las semillas de chía de manera directa, en forma de harina o incluso después de ser prensada para ceite. La chía, debido a su alta riqueza nutricional, es un alimento usado

en preparaciones culinarias, y en productos de panificación. Son agregados a los suplementos dietéticos, usados para producción de carne y huevos, en dietas de vacas y hasta en barras energéticas. Para una correcta metabolización de este alimento, conviene consumir la semilla molida, como harina p muy bien masticada. Además, es bueno consumirla para la digestión, debido a que en unión con el aquenio forma un alimento nutritivo, solo cuando se encuentra en estado acuoso, al quedar protegida por un polisacárido mucilaginoso.

1.3.2. Membrillo

A. Origen:

Originario del sudoeste de Asia, de la región del Cáucaso. Su nombre científico le fue dado debido a que la civilización griega ya tenía conocimiento de una variedad de membrillero obtenida en Creta. La característica de sus ramas dio origen a su nombre en castellano “membrillo”, debido a que son tiernas, flexibles y tenaces como el mimbre. (Alain, 2000).

Figura 3. Semillas del Membrillo



B. Generalidades y Taxonomía:

La planta es de tamaño regular (pequeño a mediano). Su fruto es de un reluciente color amarillo-dorado y cuando está en estado óptimo de madurez, mide de 70 a 120 mm de largo por 60 a 90 mm de anchura; además de tener una pulpa dura y con bastante aroma. Cuando la fruta está inmadura es de color verde, y va perdiendo su color antes de fructificar. Posee hojas ubicadas de manera alternada; de 6 a 11 cm de longitud, con un área muy cargada de pelos finos blancos. Poseen flores blancas de 5 pétalos con tonalidades rojas y solo florecen en primavera (FEN, 2013).

Cuadro 3. Jerarquía Taxonómica del Membrillo

Jerarquía	Descripción
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Género	Cydonia
Especie	Cydonia Oblonga L.

Fuente: MINAG

C. Composición Química del Membrillo:

Es una fruta que contiene una baja concentración de azúcar, normalmente es consumido como dulce de membrillo, por lo que al agregarle azúcar, produce un disparo un elevado aumento de las calorías de este producto.

En su composición nutricional, resaltan las vitaminas y minerales, excepto el potasio y cantidades discretas de vitamina C. Debido a su alto contenido de fibra, tiene propiedades saludables (pectina y mucílagos) y taninos, sustancias que le dan propiedades astringentes. Además, está compuesto por ácido málico, ácido

orgánico que proporciona sabor a la fruta, con propiedad desinfectante y que ayuda a la eliminación de ácido úrico.

En estudios previos ha quedado demostrado que las hojas y el fruto del membrillo, tiene influencias positivas en condiciones médicas, por ejemplo. Enfermedades cardiovasculares, asma bronquial, hemorroides y tos. Además. Se ha demostrado que las hojas pueden tener un efecto tranquilizante (Yildirim et al., 2001).

Cuadro 4. Composición Química de 100 g de Porción Comestible del Membrillo

Nutriente	Contenido
Energía (Kcal)	42
Proteínas (g)	0.4
Hidratos de Carbono (g)	6.8
Agua (g)	86.4
Fibra (g)	6.4
Calcio (mg)	14
Magnesio (mg)	6
Hiero(mg)	0.4
Sodio (mg)	3
Potasio (mg)	200
Fosforo (mg)	19

Fuente: FEN (Fundación Española de Nutrición)

D. Propiedades y Bondades Nutricionales:

El membrillo es una fruta que tiene propiedades astringentes y tónicas obre la mucosa intestinal, es por ello que se emplea en dietoterapia. Este fruto contiene pepas con abundante mucílago, las cuales están compuestas por fibra soluble, y es usado en la industria cosmética y farmacéutica. La pulpa de este fruto contiene pectina, otro tipo de fibra soluble que efectúa diferentes funciones orgánicas; es por ello que es objeto de estudio interesante en diferentes enfermedades o situaciones. La pectina retiene agua y reduce el tránsito intestinal, siendo beneficiosa en casos de diarrea. Además, es una fruta rica en taninos, lo que la

convierte en un fruto astringente y antiinflamatorio. Por otro lado, el consumo de membrillo ayuda en casos de trastorno gástrico, debido a que la pectina disminuye la acidez (aumenta el ph), al neutralizar este ácido con los alimentos y la fibra (Alain, 2000).

1.3.3. Comportamiento Reológico:

A. Conceptos Básicos:

La reología es una ciencia que se encarga de estudiar la deformación o cambios de la materia, especialmente la deformación de los cuerpos coherentes y continuos, pero a menudo, trata también de la fricción entre sólidos, del flujo de polvos, e incluso de la reducción a partículas o molturación. (Muller, 1973).

La reología de los alimentos estudia el transporte de las materias primas, los productos en proceso y los productos terminados de la industria de los alimentos. Por consiguiente, se encarga de la deformación de los objetos bajo la influencia de fuerzas aplicadas a ellos (Lewis, 1993).

La reología de fluidos se encarga de estudiar la relación existente entre la fuerza motriz que provoca el movimiento (esfuerzo cortante, σ) y la velocidad de flujo que se origina (el gradiente del perfil de velocidades, γ) (Franco, 1996)

1. Esfuerzo Cortante “ σ ”:

Es la fuerza aplicada de forma paralela al desplazamiento, por cada unidad de área (cortante). Su unidad es la fuerza dividida por superficie, en el SI se mide en $N.m^{-2}$. Es homogéneo con la unidad de presión, Pa. Sin embargo, a diferencia de esta, el esfuerzo cortante es una magnitud vectorial.

El esfuerzo cortante es una magnitud microscópica ya que cambia de velocidades en cada punto del perfil.

2. Velocidad de Corte “ γ ”:

El esfuerzo de corte hace que exista un movimiento ordenado de los elementos de un fluido, estos alcanzan unas velocidades relativas estacionarias denominadas $V(x)$. La velocidad de corte está definida como el gradiente (velocidad espacial de cambio) del perfil de velocidades.

$$\gamma = \frac{dx}{dv}$$

La velocidad de corte es medida en tiempo. Pero normalmente, se representa solo con una componente, γ es una magnitud vectorial.

B. Clasificación Reológica:

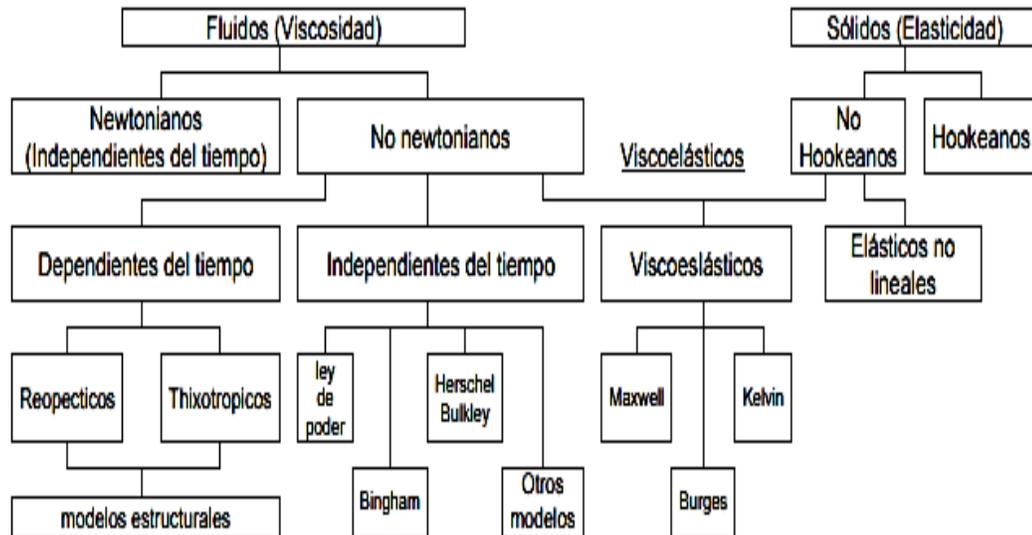
La clasificación de los alimentos fluidos se describe mediante la ley de Newton de la viscosidad. Existen los fluidos newtonianos, donde la viscosidad es constante. Por otro lado, están también los fluidos no newtonianos, en los cuales la viscosidad ya no es constante; lo que permite clasificarlos en fluidos no newtonianos dependientes e independientes del tiempo. En los fluidos no newtonianos, la relación entre el esfuerzo aplicado y la velocidad de deformación ya no es constante, es por ello que aquí ya no se puede hablar de viscosidad (Albert Ibarz, 2005).

Se conocen tres tipos de fluidos: Newtonianos (existe relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); No Newtonianos (no existe relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); y los Viscoelásticos (presentan propiedades de ambos debido a que se comportan como sólidos y líquidos) (Juan Ramírez, 2006).

Ramírez, (2006), Plantea la Siguiete Clasificación:

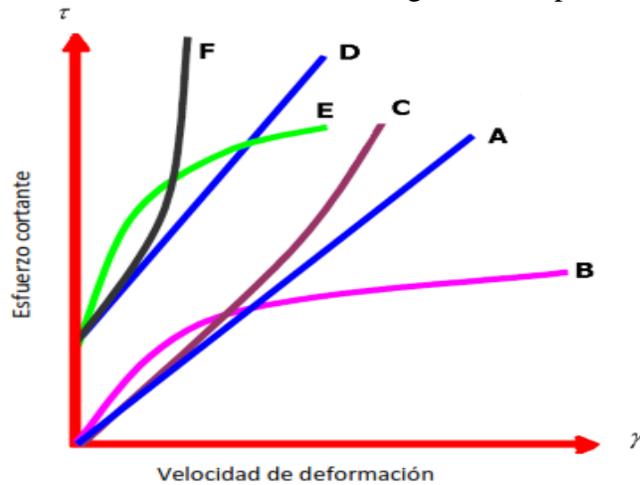
- Fluidos newtonianos
- Fluidos no newtonianos
 - Independientes del tiempo
 - Fluidos Plásticos Generales
 - Fluidos de Ley de Potencia (dilatantes y pseudoplásticos).
 - Fluidos de Bingham
 - Dependientes del Tiempo
 - Fluidos Tixotrópicos
 - Fluidos Reopécticos
- Comportamiento Viscoelástico

Figura 4. Clasificación de Fluidos existentes en la Reología



Fuente: Introducción a la Reología – Juan Ramírez.

Gráfico 1. Clasificación de Fluidos según su comportamiento reológico.



- A: Newtoniano
- B: Pseudoplástico
- C: Dilatantes
- D: Fluido de Bingham
- E: Plástico General con umbral de fluencia
- F: Dilatante con umbral de fluencia

Fuente: Introducción a la Reología – Juan Ramirez.

B.1. Fluidos Newtonianos

Obtuvieron su nombre, debido a que Isaac Newton describió el flujo viscoso. Los fluidos newtonianos son isotrópicos, incomprensibles y sin estructura, por lo tanto, no tiene propiedades elásticas y así como el sólido de Hooke, no existe en la realidad. No obstante, existen otros líquidos reales que presentan un comportamiento newtoniano en un amplio rango de esfuerzos cortantes. (Muller, 1973). Los líquidos mencionados anteriormente han sido estudiados por los reólogos y se consideran líquidos newtonianos, representados algebraicamente por la ecuación:

$$\tau = \gamma \cdot \mu$$

Dónde:

τ = Tensión de cizallamiento esfuerzo cortante (Pa)

γ = Tasa de deformación o velocidad de deformación (s^{-1})

μ = Viscosidad (Pa.s.)

En los fluidos newtonianos, el desplazamiento relativo de los elementos del fluido circular uno sobre otro es proporcional al esfuerzo cortante sobre el fluido. (Juan Ramírez, 2006).

➤ Alimentos Newtonianos:

- Leche (29.1% de sólidos totales).
- Jugos de naranja filtrados (10 – 18 °Brix)
- Jugos de Uva (15 – 50 °Brix)
- Jugo de Manzana (15 – 75 °Brix)
- Yema de huevo
- Huevo entero sin congelar

B.2. Fluidos No Newtonianos:

Los fluidos no newtonianos son aquellos en los que existe una relación no lineal entre la fuerza de cizalla y el gradiente de cizalla. Estos fluidos no newtonianos tienen soluciones con concentración de macromoléculas como almidones, gomas y proteínas; además de materia coloidal como pastas, emulsiones y suspensiones (Lewis, 1993).

La viscosidad y la acción cizallante dependen de una serie de factores como son los siguientes:

- La naturaleza de las etapas continúa y dispersa.
- Las interacciones partícula- solvente y partícula-partícula.
- La forma de las partículas. También su tamaño, concentración y composición química.

Los fluidos no newtonianos, son aquellos en los que la relación $\gamma\tau$, no se ajusta a la viscosidad de newton. Estos fluidos son complejos a nivel microscópico, por ello tienen una conducta diferente. Los fluidos no newtonianos normalmente son líquidos poliméricos o están conformados por dispersiones de partículas sólidas en el seno de un líquido. Además puede darse casos de emulsiones de dos fases líquidas inmiscibles (Aguado, 1999).

$$\mu_A = \gamma / \tau$$

Dónde:

τ = Tensión de cizallamiento (Pa)

γ = Tasa de cizallamiento (s^{-1})

μ_A = Viscosidad aparente (Pa.s)

Los Fluidos No Newtonianos se clasifican en:

B.2.1. Independientes del Tiempo:

➤ Plásticos General:

Este tipo de fluidos son más sencillos debido a que solo se diferencian de los newtonianos porque su relación lineal no pasa por el origen. Para iniciar el flujo es necesario un límite de fluidez; es decir, se requiere de cierto grado de esfuerzo cortante, en N/m^2 . (Geankoplis, 1998).

➤ Pseudoplásticos

Al ser sometidos a altas velocidades de deformación, estos líquidos son menos espesos que cuando son movidos lentamente. La viscosidad aparente es dependiente de la velocidad de deformación, más no lo es del tiempo al que esté sometido el fluido a la tensión cizallante (Lourdes Quintáns, 2009).

➤ Dilatantes:

Es un fenómeno que se da a elevadas velocidades de deformación, es un espesamiento independiente del tiempo. Este fenómeno es completamente opuesto a la pseudoplasticidad (Lourdes Quintáns, 2009).

Los fluidos dilatantes se caracterizan porque la viscosidad aparente es directamente proporcional al aumento de la pendiente de velocidad. Este ejemplo de conducta es raro e inusual, presentándose en suspensiones con una alta aglutinación de sólidos, de forma que la aplicación de la tensión tangencial origina la eliminación del líquido ubicado entre las partículas sólidas decreciendo la lubricación y aumentando el rozamiento (Aguado, 1999).

B.2.2. Dependientes del Tiempo:

Este tipo de fluidos se dividen en dos: los fluidos tixotrópicos, en los que conforme aumenta la aplicación de esfuerzo cortante, la viscosidad disminuye, recuperando su forma inicial después de un reposo largo; y los fluidos reopécticos en los cuales, al incrementar el tiempo de aplicación de la fuerza, la viscosidad aumenta y vuelven a su estado original tras un tiempo de reposo (Juan Ramírez, 2006).

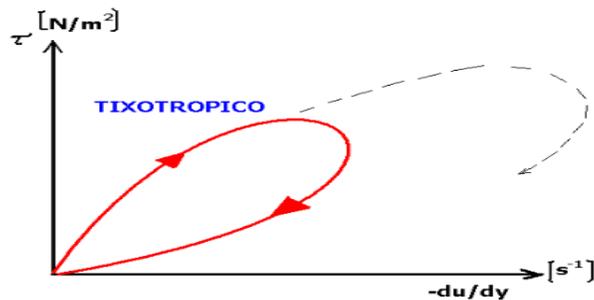
➤ Fluidos Tixotrópicos:

Los Fluidos tixotrópicos se caracterizan por un diferencial de su estructura interior al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de sus moléculas conformadas por largas cadenas (Juan Ramírez, 2006).

Estos fluidos tienen un comportamiento en el que el esfuerzo de corte y la viscosidad aparente cuando están a velocidad de deformación constante, disminuyen ocasionado por un cambio en su estructura; el cual puede ser reversible o irreversible. Cuando existe una ruptura continua o una reorganización de la estructura, se indica una tixotropía, que da como resultado una caída de la resistencia al flujo (Rha, 1978).

El comportamiento del fluido tixotrópico es similar al de pseudoplásticos y dilatantes, aunque estos fluidos presentan un comportamiento viscoso dependiente del tiempo. El fluido será tixotrópico si la viscosidad decrece al aplicarle la tensión cortante. (García, 2006).

Gráfico 2. Comportamiento de Fluidos Tixotrópicos



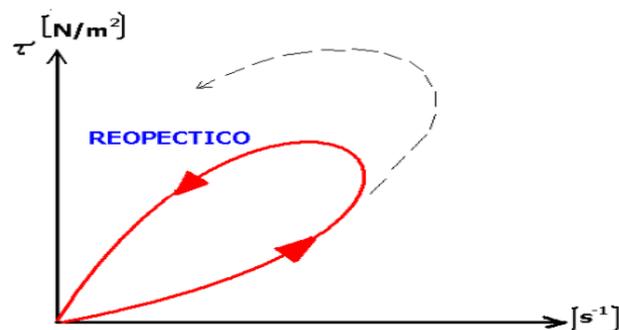
Fuente: García, 2006

➤ Fluidos Reopécticos:

Son conocidos por tener características opuestas a los tixotrópicos. Por lo tanto, su viscosidad crece con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada y presentan una histéresis inversa a estos últimos. (Juan Ramírez, 2006).

En los fluidos reopécticos, la viscosidad va creciendo progresivamente a medida que se agita, lo que implica que para mantener un mismo gradiente de velocidad va a ser necesario incrementar la fuerza de cizalladura o tensión cortante (García, 2006).

Gráfico 3. Comportamiento de Fluidos Reopécticos



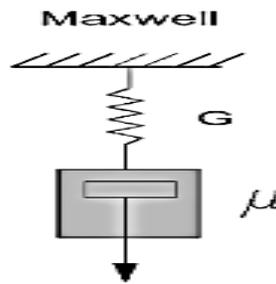
Fuente: García, 2006

B.2.3. Fluidos Viscoelásticos:

Son aquellos fluidos que presentan al mismo tiempo características elásticas y viscosas. Estos fluidos pueden tener estas características debido a la presencia de moléculas flexibles y largas en el líquido, además, a la existencia de sólidos dispersos o partículas líquidas. Como por ejemplo: helados y nata de gelatina (Juan Ramírez, 2006).

Los productos viscoelásticos pueden ser sólidos con características viscosas (modelo de Kelvin-Voigt) o líquidos viscosos que presentan características elásticas (modelo de Maxwell) (Muller, 1973).

Figura 5. Modelo de Maxwell



Fuente: Introducción a la Reología - Juan Ramírez

C. Importancia de la Reología:

La reología de los alimentos es trascendental, debido a que es una rama que ha hecho posible que sea viable establecer varios parámetros objetivos claramente conectados con las propiedades sensoriales y subjetivas que definen la textura de un alimento, ya que se ha establecido que el hombre es el único ser capaz de describir, cuantificar e integrar la textura, es necesaria la evaluación sensorial, abarcando en su apreciación parámetros mecánicos, geométricos y de superficie, por lo que el método adecuado es el análisis sensorial, asimismo manifiesta que cada alimento, como sistema mecánico de complejidad elevada, ofrece un comportamiento reológico distinto al ser sometido a una fuerza o sistema de fuerzas, por lo tanto puede caracterizarse mediante dichos parámetros reológicos (Costell y Duran, 1981)

La mayoría de los equipos y maquinarias usadas en el procesamiento de alimentos (bombas, mezcladores, intercambiadores de calor, etc.) son diseñados según las características específicas de cada producto, porque las características reológicas de cada alimento son variantes y complicadas. Por ello, está la incógnita para determinar qué etapa del proceso en la industria será la que necesitará más atención para determinar las características reológicas de los alimentos. ESCHER (1983) indica que son:

- Debe utilizarse para diseñar los equipos usados en planta, como tuberías, bombas, válvulas, operadores de mezcla, etc. Todo lo que abarca la ingeniería de procesos para calcular la transferencia de momentum, masa y calor.
- Debe existir una verificación con instrumentos de la calidad con la que ingresa la materia prima al proceso; así como también de la calidad con la que se encuentra el producto ya terminado.
- Las mediciones reológicas deben ser usadas como parte de las pruebas sensoriales a los consumidores para poder evaluar su relación con la calidad del alimento.
- Otra aplicación es en el análisis de los cambios que presentan los alimentos en su estructura durante su procesamiento.

Además, se tiene que saber que durante su aplicación a la industria alimenticia, la reología no está libre de dificultades o problemas. Como todas las ciencias existentes, la reología presenta ventajas y desventajas. Lograr una identificación clara de las características reológicas de un alimento puede presentar los siguientes problemas (ESCHER, 1983):

- Para simular los parámetros de proceso de un alimento en los que se aplican la medición de los datos reológicas, se incrementa la dificultad. Por ejemplo, si consideramos una moderna y grande empresa láctea, con la distancia que recorren sus fluidos al ser transportados, usando una gran cantidad de válvulas controladas de manera individual, con tuberías unidas, intercambiadores de

calor, etc. Predecir por reología el esfuerzo de corte que se está aplicando sobre la leche y el yogurt sería prácticamente imposible. En casos como este, que no son seguros, se opta por realizar una medición simple del esfuerzo de corte-velocidad de deformación, debido a que estos experimentos al ser considerados a gran escala encarecen el proceso y gastan tiempo.

- Cuando usamos la reología en la ingeniería de procesos, debe tenerse en cuenta un rango de exactitud, para proteger los datos. Este rango cambia según la condición presente. Por ejemplo, para diseñar un mezclador, teniendo una descripción cercana de las variables descritas, se puede conocer la conducta del flujo. En cambio, cuando esterilizamos alimentos que tienen sensibilidad al calor, se debe tener mucho cuidado para no dañar la calidad que acepta el consumidor, en casos como este se debe determinar el movimiento del flujo con mucha exactitud, para deducir adecuadamente la transferencia de calor, y de esta forma, conocer la dimensión de los intercambiadores y el tiempo de proceso.

D. Modelos Reológicos:

Para poder expresar el Comportamiento Reológico de fluidos se han desarrollado numerosas ecuaciones, estos modelos reológicos permiten relacionar diferentes propiedades reológicas (índice de maduración, concentración, etc.) para su uso en la agroindustria. (Lourdes Quintáns, 2009).

Los modelos reológicos más utilizados son:

D.1. Modelo de Ostwald de Waele:

A menudo recibe el nombre de “Ley de la Potencia”. Este modelo sirve para el comportamiento de fluidos pseudoplásticos y dilatantes. Tiene dos parámetros: el índice de consistencia de flujo (k) y el índice de comportamiento de flujo (n). (Juan Ramírez, 2006).

Se representa por la siguiente ecuación:

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

Donde:

τ = Esfuerzo Cortante

κ = Índice de Consistencia

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de Deformación

n = Índice de Comportamiento al flujo

Cuando $n < 1$ el modelo predice un comportamiento pseudoplástico, y cuando $n > 1$ da un comportamiento dilatante. Cuando $n = 1$, el modelo se reduce a la ley de Newton de la viscosidad con $\mu = \kappa$.

Un problema presente en este modelo es que infiera valores de viscosidad aparente infinitos para líquidos de alta velocidad de cizalla. Mientras que para líquidos pseudoplásticos, arroja valores nulos. Por ello, se decidió usar la ley de potencia truncada para evitar problemas. (Lourdes Quintáns, 2009).

D.2. Modelo de Bingham (Plásticos Ideales)

Es un modelo que se aplica a fluidos con esfuerzo umbral, el material no fluye hasta que no se aplica un esfuerzo superior al umbral. (Lourdes Quintáns, 2009).

Tiene dos parámetros: umbral de fluencia (τ_0) y su viscosidad plástica (η_p) relacionada con la viscosidad aparente. Su ecuación modelizada es:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma}$$

D.3. Modelo de Eyring:

Este modelo está basado en la teoría cinética de los líquidos, la cual permite predecir el comportamiento pseudoplástico para valores finitos de τ y tiende asintóticamente a la ley de la viscosidad de Newton cuando la velocidad de la cizalla tiende a cero. (Lourdes Quintáns, 2009).

Su ecuación está formada entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizalla:

$$\tau = \eta_0 * \operatorname{arcsenh} \left(\frac{\dot{\gamma}}{B} \right)$$

D.4. Modelo de Casson:

El ejemplo más importante en la agroindustria sobre este modelo es que la oficina internacional del Cacao y Chocolate ha tomado este modelo como oficial para representar la conducta de flujo del Chocolate. (Juan Ramírez, 2006).

El modelo de Casson se ha utilizado para los alimentos, en particular para la estimación de k_{oc} (la tensión inicial), para el modelo de Casson, la curva de esfuerzo de cizallamiento frente a velocidad de cizallamiento se puede transformar en una línea recta por el trazado de la raíz cuadrada de la tensión de cizallamiento frente a la raíz cuadrada de la velocidad de cizalla. (Branco, 2001).

El modelo describe el flujo de fluidos viscoplásticos que se puede describir matemáticamente de la siguiente manera:

$$\tau^{1/2} = k_{oc} + k_c * \dot{\gamma}^{1/2}$$

Dónde:

$\dot{\gamma}$ = tasa de deformación (1/s)

τ = tensión de cizallamiento (Pa)

k = tensión inicial (Pa)

k = Viscosidad plástica de Casson (Pa.s)

1.3.4. Mucílago:

A. Definición:

Son polisacáridos hidrosolubles con la capacidad de absorber agua hasta desde 60 hasta 100 veces su peso, formando geles. Existen mucílago extraídos de vegetales terrestres, los cuales son diferentes a los extraídos de algas. Por ejemplo, los sulfoazúcares en las carregeninas y la agarobiosa en el agar; los cuales son muy usados en la industria alimenticia (Matos y Chambilla, 2010).

Se le denomina Mucilago al licor viscoso indisoluble en alcohol y soluble en agua, que es una sustancia insípida e inodora que se hincha con el agua, se suele decir que goma es igual que mucilago pero la única diferencia es en su consistencia pues la goma se convierte en mucilago disolviéndola en agua y el mucilago se reduce a goma desecándolo o privándolo de la humedad. (Víctor Barrera, et al, 1993).

B. Propiedades Nutricionales:

La fibra mucilaginososa evita la absorción del colesterol intestinal producido durante la digestión de los alimentos, por lo tanto, ayuda a disminuir la cantidad de colesterol en la sangre. Estos mucílago tienen la capacidad de actuar en el intestino formando un gel que es capaz de atrapar el colesterol de los alimentos y de la bilis, de tal forma que no le permite ser reabsorbido, sino que lo expulsa del tracto digestivo. Por ello, permite la disminución de los niveles de colesterol, reduciendo de la misma forma el riesgo de sufrir enfermedades vasculares (Jaramillo, 2013).

C. Importancia en la Agroindustria:

Según Sáenz, (2006) los Mucílagos son importantes en la Agroindustria por:

- Sus hidrocoloides que actúan como agente espesante.
- Su poder viscosante en el control de calidad.
- Su poder como reemplazante de grasas en diversos alimentos.
- Su capacidad como agente emulsionante.
- Su capacidad para mejorar su textura.

1.4. Formulación al Problema:

¿Cuál es el efecto de la proporción de mucilago en polvo de semillas de chía (*Salvia Hispanica L.*) y membrillo (*Cydonia Oblonga*) en las características reológicas de un gel?

1.5. Justificación del Estudio:

La Reología (estudio de los fluidos) es una ciencia muy amplia e importante a investigar, las nuevas tendencias y tecnologías emergente en la agroindustria buscan cada vez tener productos con el mayor estándar de calidad posible; es aquí donde saber el comportamiento reológico del alimento a elaborar es muy importante ya que nos brindaría información fundamental sobre la organización estructural de los alimentos, porque la respuesta reológica de un material está basada en sus interacciones moleculares, así pues, los parámetros reológicos medidos en los alimentos son sensibles a variaciones de su estructura molecular, bajo la aplicación de tensiones, deformaciones, mecánicas químicas y bioquímicas.

Mediante un estudio reológico la medición de flujo es uno de los principales ejes en cuanto a predicción de procesos industriales se refiere. Ninguna otra ciencia en la industria alimentaria tiene tanta confiabilidad e importancia como esta, ya que, sin mediciones de flujo, no será posible determinar el balance de materiales, el control de calidad y la operación de procesos continuos. Además el análisis y la cuantificación del comportamiento reológico de los alimentos es importante para establecer relaciones entre la estructura y flujo, así como correlacionar los parámetros físicos.

Por otro lado, la medición de características reológicas, desempeña un rol importante que brinda ayuda en el diseño y elaboración de equipos y procesos en la industria, como por ejemplo los sistemas de bombas y tuberías. Esto es debido a que tanto las materias primas, como los productos en proceso y terminados tienen que tener una medición de sus parámetros reológicos. Además durante los procesos de concentración y evaporación, la viscosidad es un parámetro crítico que es necesario tener en cuenta para lograr mejoras en la eficiencia de los mismos.

1.6. Hipótesis:

En las diferentes proporciones de mezclas de mucilagos habrán diferencias reológicas significativas, ya que al tener diferentes proporciones de mezcla homogenizada, afectara a su viscosidad por ende su índice de consistencia “k” no será el mismo.

1.7. Objetivos:

1.7.1. Objetivo general:

- Evaluar el efecto de la proporción de mucilago en polvo de semillas de Chía (Salvia Hispanica L.) y Membrillo (Cydonia Oblonga) en las características reológicas de un gel.

1.7.2. Objetivos específicos:

- Obtener mucilago en polvo de semillas de Chía (Salvia Hispanica L.).
- Obtener mucilago en polvo de semillas de Membrillo (Cydonia Oblonga).
- Obtener un gel de mucilago hidratado en diferentes proporciones de semillas de Chía (Salvia Hispanica L.) y Membrillo (Cydonia Oblonga).
- Determinar las características reológicas de las diferentes proporciones de mucilago hidratado de Chía (Salvia Hispanica L.) y Membrillo (Cydonia Oblonga): clasificación del fluido, índice de consistencia, índice del comportamiento, tensión de fluencia y energía de activación.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de Investigación:

Para la investigación se utilizó un diseño experimental – índice creciente, en la cual se trabajó con cinco proporciones diferentes de mezcla para obtener un gel por cada proporción y se analizó sus características reológicas de cada gel con tres repeticiones por tratamiento.

2.1.1. Esquema Experimental:

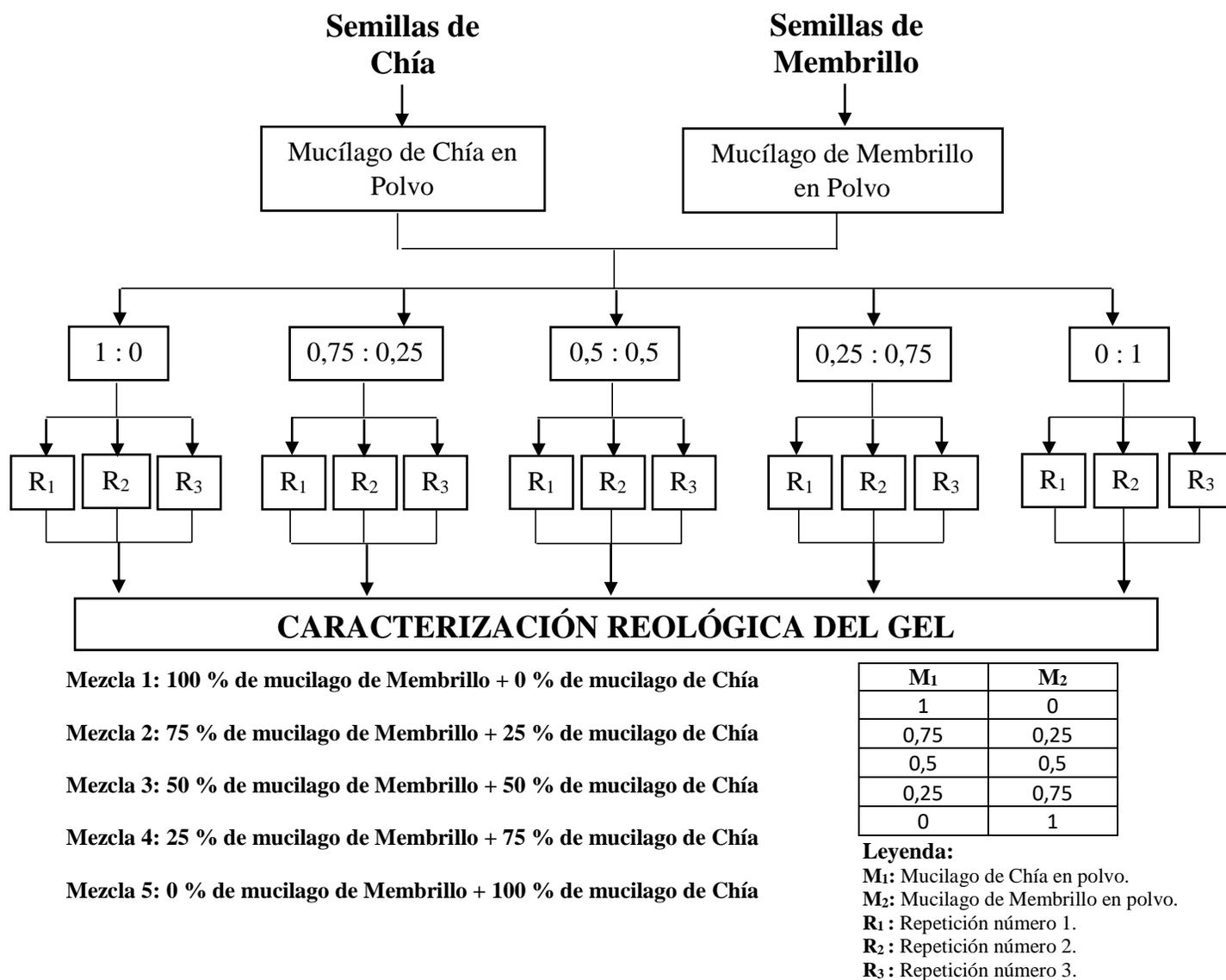


Figura 6: Esquema Experimental de las diferentes Proporciones de Mucilago de Chía y Membrillo

Fuente: Elaboración Propia

2.1.2. Diagrama de flujo del proceso experimental para la obtención del mucílago:

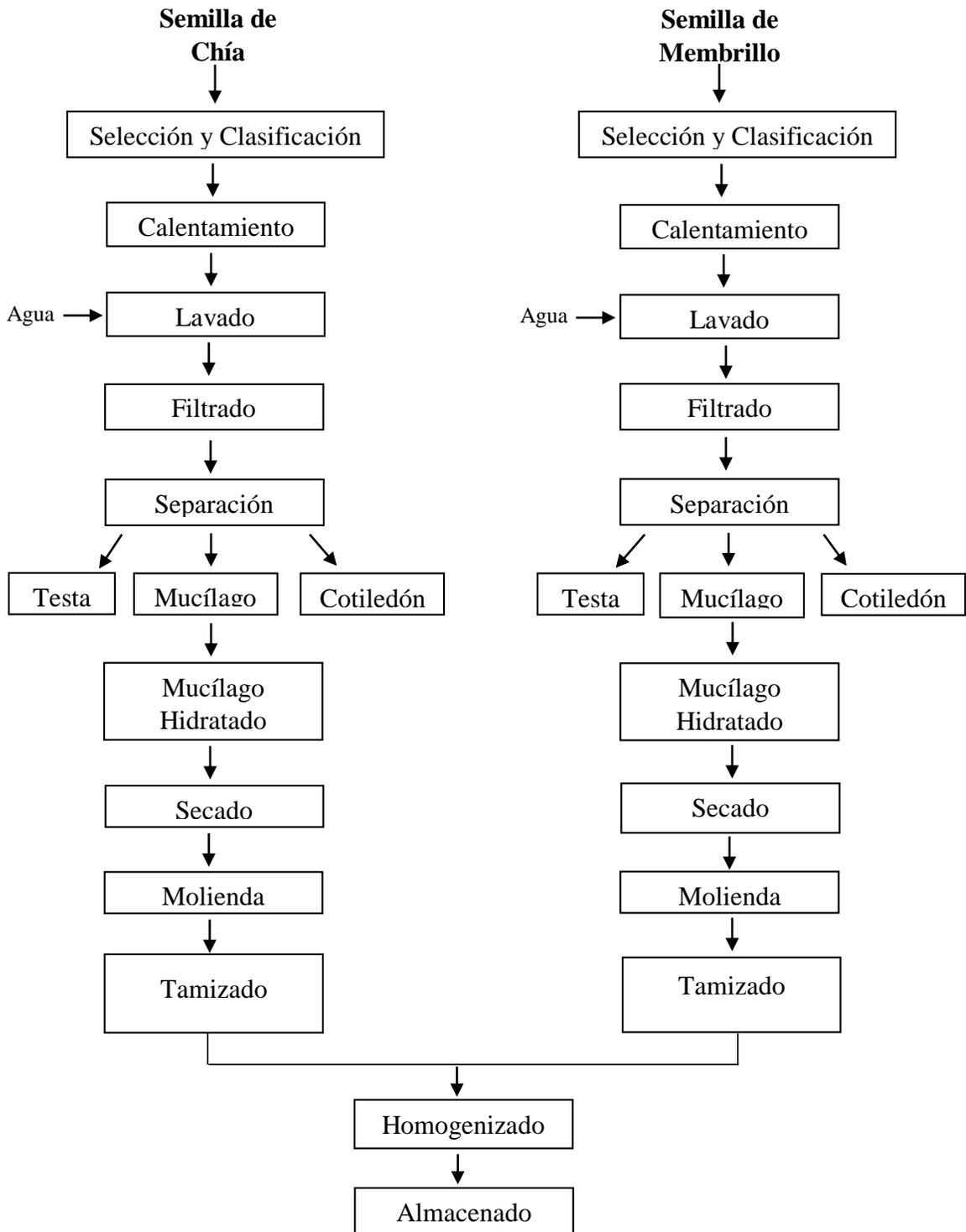


Figura 7: Diagrama de Flujo para la Obtención de Mucílago de Chía y Membrillo

Fuente: Cárdenas, 2001

Según Cárdenas, (2001), los mucílagos están presentes en muchas raíces y semillas, la mayoría de sus propiedades son extraídas de manera rápida al someterlas a agua hirviendo. Este autor plantea un flujograma para obtención de mucilago a partir de semillas de algarrobo, que se tomara como modelo para la obtención de nuestro mucilago en polvo de semillas de Chía (*Salvia Hispanica L.*) y Membrillo (*Cydonia Oblonga*).

- A. Selección y Clasificación: Se recepcionó y seleccionó de forma manual de manera que se elimine cualquier semilla que presente daño físico y no cumpla las características idóneas para su producción.
- B. Calentamiento: Se calentó las semillas a 75°C y se adiciono agua en proporción 1/10 (100 gr de semilla por 1000 ml de agua) con agitación constante por una hora hasta obtener una solución acuosa de mucílagos.
- C. Lavado: Las semillas se lavaron con abundante agua potable para eliminar el álcali.
- D. Filtrado: Se pasó a filtrar la solución acuosa de mucilago en un colador.
- E. Separación: El agua sobrenadante se eliminó y se separaron testa, mucílagos y cotiledón
- F. Mucilago Hidratado: Con el paso anterior se obtuvo mucilago hidratado.
- G. Secado: El mucilago obtenido se secó en estufa a 35°C por 36 horas
- H. Molienda: Se procedió a moler la pasta de mucilago para reducirla a polvo.
- I. Tamizado: Para lograr uniformidad y una misma granulometría para la preparación de los geles, se tamizó con mallas de luz de 80 a los mucilagos de chí y membrillo.
- J. Homogenizado: Los polvos de mucilago se mezclaron a cinco proporciones diferentes, para la formación del gel a analizar
- K. Almacenado: Se almacenó en bolsas de polietileno a Temperatura ambiente.

2.1.3. Diagrama de Flujo de la preparación del gel:

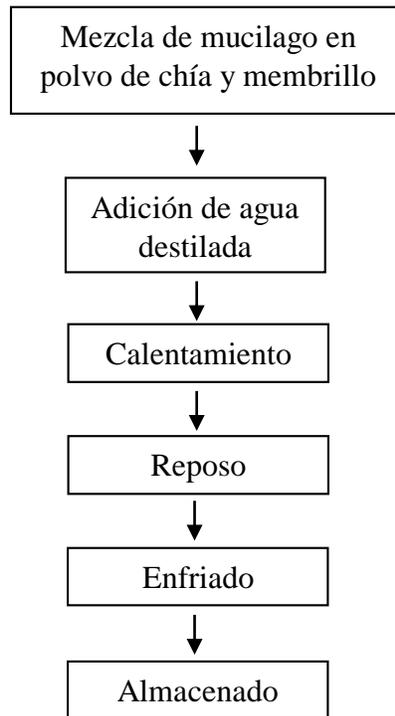


Figura 8: Diagrama de Flujo para la preparación del gel.

Fuente: AOAC

Para la preparación del gel se realizó mediante el procedimiento establecido por la AOAC 948.21 (preparación de geles), la cual nos dice que la proporción adecuada para la elaboración de un gel es de al 6.67 % p/v de 100ml. (AOAC).

- 100%Chia: 6,67 g. de mucilago de chíá y 93,33 g. de agua destilada
- 75%Chia y 25%membrillo: 5,0025 g. de mucilago de chíá / 1,6675 g. de mucilago de membrillo y 93,33 g. de agua destilada.
- 50%Chia y 50%membrillo: 3,335 g. de mucilago de chíá / 3,335 g. de mucilago de membrillo y 93,33 g. de agua destilada.
- 25%Chia y 75%membrillo: 1,6675 g. de mucilago de chíá / 5,0025 g. de mucilago de membrillo y 93,33 g. de agua destilada.

- 100%Membrillo: 6,67 g. de mucilago de membrillo y 93,33 g. de agua destilada.

- A. Mezcla de mucilago en polvo de chía y membrillo: Se tuvo listo las proporciones de mezcla de mucilago en polvo de chía y membrillo, descrito anteriormente.

- B. Adición de agua destilada: Se adicionó agua destilada a los mucilagos en polvo hasta alcanzar 100 ml de gel.

- C. Calentamiento: Se calentó el gel hasta alcanzar los 60°C en constante agitación.

- D. Reposo: Se dejó reposar por 30 minutos.

- E. Enfriado: Se refrigeró por 17h a 10°C para gelificar la solución.

- F. Almacenado: Se almacenó el gel ya formado a T° ambiente.

2.2. Variables y Operacionalización:

2.2.1. Variables:

Variable Independiente:

- Proporción de mezcla homogenizada de mucílago de Chía y Membrillo.

Variables Dependientes:

Características Reológicas:

- Clasificación del fluido.
- Índice de consistencia.
- Índice del comportamiento.
- Tensión de fluencia.
- Energía de activación.

2.2.2. Operacionalización de Variables:

Cuadro 5. Operacionalización de las variables

	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición
Independiente	Proporción de mezcla homogenizada de mucílago de Chía y Membrillo.	Combinación uniforme de mucílago de chia y membrillo a diferentes concentraciones.	Mezcla homogénea de dos sustancias	Concentración (Peso)	Cuantitativa de razón o tasa
Dependiente	Clasificación del Fluido	Un fluido varía o cambia significativamente debido a que sufren una alteración en la consistencia y la composición del material. Normalmente se alteran en etapas del proceso: enfriamiento, calentamiento, homogenización, cristalización, etc. Lo que provoca un cambio en la viscosidad. (Lewis, 1993).	<ul style="list-style-type: none"> -Fluidos newtonianos -Fluidos no newtonianos Independientes del tiempo: <ul style="list-style-type: none"> - Plásticos de Bingham - Ley de potencia - Plásticos Generales Dependientes del Tiempo: <ul style="list-style-type: none"> - Tixotrópicos - Reopéticos Viscoelásticos 	Tipo de Fluido	Cualitativa

	Índice de Consistencia	Característica de los fluidos que se refiere la resistencia de una partícula al movimiento causado por los choques entre fluidos que se deslazan a distintas velocidades.	Modelo de Reológico de Casson	k	Cuantitativa
	Índice de Comportamiento	Es el movimiento que ejerce el fluido al cambio de velocidades durante el tiempo.	Modelo de reológico de Casson	n	Cuantitativa
	Tensión de Fluencia	Es el movimiento ordenado de los elementos del fluido, que alcanzan unas velocidades relativas estacionarias que se define como el cambio del perfil de velocidades.	Modelo de reológico de Casson	T_0	Cuantitativa
	Energía de Activación	Energía que un sistema necesita para empezar con una determinada acción. Dicha energía puede ser usada para denominar a la energía mínima necesaria para crear una reacción.	Ecuación de Arrhenius	E_a	Cuantitativa

Fuente: Elaboración Propia

2.3. Población y Muestra:

2.3.1. Población:

Las semillas de membrillo se obtendrán de la comunidad de agricultores de Sinsicap en la provincia de Otuzco, los cuales son los mayores productores de la región de este fruto.

Las semillas de Chía se obtendrán del valle de Viru donde existe una producción constante todo el año.

2.3.2. Muestra:

4 kilogramos de semillas de Chía y 2 kilogramos de semillas de Membrillo se procesaran para la obtención de mucilago y así poder caracterizarlo reológicamente.

En lo que respecta a la semilla de chía no se tuvo ningún problema ya que viene obtiene en es esa misma presentación, pero en lo que respecta a la semilla del membrillo se tuvo que comprar la fruta para cortarla y despepitarla para obtener la semilla. Se compró alrededor de 240 kg, ya que por cada 80 kg de fruto se obtenía 500g. de semillas de membrillo aproximadamente.

2.4. Técnica e Instrumentos de Validación de Datos, Validez y Confiabilidad:

La caracterización reológica de las variables se realizara de la siguiente manera:

2.4.1. Clasificación Reológica, tensión de fluencia, índice de consistencia y comportamiento:

Mediante el modelo de reológico de Casson, Mostrado en el anexo 01.

2.4.2. Energía de Activación:

Mediante la ecuación de Arrhenius, Mostrado en el anexo 02.

2.5. Método de Análisis de Datos:

Para el procesamiento de los resultados de nuestras variables (clasificación del fluido, índice de consistencia, índice del comportamiento, tensión de fluencia y energía de

activación) se realizará mediante un análisis de varianza (ANOVA MULTIFACTORIAL) con un nivel de confianza del 95%.

2.6. Aspectos Éticos:

Se garantiza la plena veracidad de las pruebas, análisis y resultados obtenidos, sin alteración alguna. Las pruebas fueron realizadas respetando la información de los antecedentes, referenciando adecuadamente a los autores y utilizando apropiadamente los materiales y reactivos cuidando el medio ambiente y los alrededores.

III. RESULTADOS

3.1. Características Reológicas:

Cuadro 6. Resultados reológicos de los cinco geles a base de mucilago de chíá y membrillo.

PROPORCIONES	T_0 (Pa)	DS	n (adimensional)	DS	k (Pa.s ⁿ)	DS
P1	3.33	0.0710	0.6404	0.01107	1.1473	0.1003
P2	2.59	0.9704	0.7198	0.09136	1.9381	0.4309
P3	1.75	0.1651	0.7587	0.04717	2.9451	0.7080
P4	0.11	0.0331	0.7338	0.03286	6.5906	0.2195
P5	0.05	0.0181	0.8337	0.03716	18.5112	2.3131

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro 6, se muestra los resultados obtenidos de tensión de fluencia (T_0), índice de comportamiento (n) e índice de consistencia (k) de las diferentes proporciones de mezcla de mucilago (100% chíá, 75% chíá y 25% membrillo, 50% chíá y 50% membrillo, 25% chíá y 75% membrillo y 100% membrillo) respectivamente, además sus respectivos coeficientes de desviación estándar (DS)

3.1.1. Tensión de Fluencia (T_o)

Cuadro 7. Análisis de Varianza de tensión de fluencia (T_o)

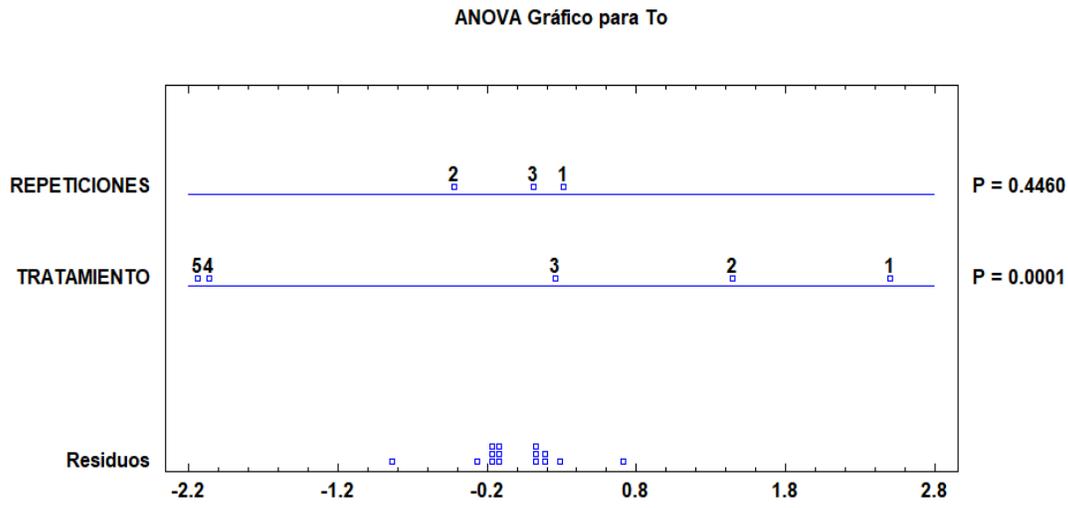
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TRATAMIENTO	25.826	4	6.4565	32.40	0.0001
B:REPETICIONES	0.356607	2	0.178304	0.89	0.4460
RESIDUOS	1.59416	8	0.19927		
TOTAL (CORREGIDO)	27.7768	14			

Fuente: STATGRAPHIC CENTURION

En el cuadro 7, se presenta el análisis de varianza (ANOVA MULTIFACTORIAL) para la tensión de fluencia (T_o), donde se puede observar que el valor de la significancia es $p=0.0001$ presentando diferencia significativa ($p<0.05$) entre los tratamientos, mientras que en las repeticiones no hubo variabilidad en los datos, tal como se puede observar en el gráfico 4.

Con el gráfico de Fisher LSD (anexo 08) podemos deducir que las medias de los tres primeros tratamientos (100% chía, 75% chía y 25% membrillo, 50% chía y 50% membrillo) están enlazados entre sí, ya que presentaron mayor resistencia de deformación plástica (cohesión de un gel al fluir), esto es debido a que presentaron mayor cantidad de mucilago de chía (altamente pegajoso). Mientras que las dos últimos tratamientos (25% chía y 75% membrillo y 100% membrillo) permanecen enlazados entre sí, pero no se enlazan con ninguno de los tres primeros tratamientos, ya que al tener proporciones bajas de mucilago de chía y altas de mucilago de membrillo, su umbral de fluencia es muy bajo por consecuencia el gel es más acuoso y no presenta las características de un gel rígido lo que hace que presente mayor deformación al fluir (fluye más rápido).

Gráfico 4. ANOVA MULTIFACTORIAL de tensión de fluencia (T_0)



Fuente: STATGRAPHIC CENTURION

3.1.2. Índice de Comportamiento (n)

Cuadro 8. Análisis de Varianza del índice de comportamiento (n)

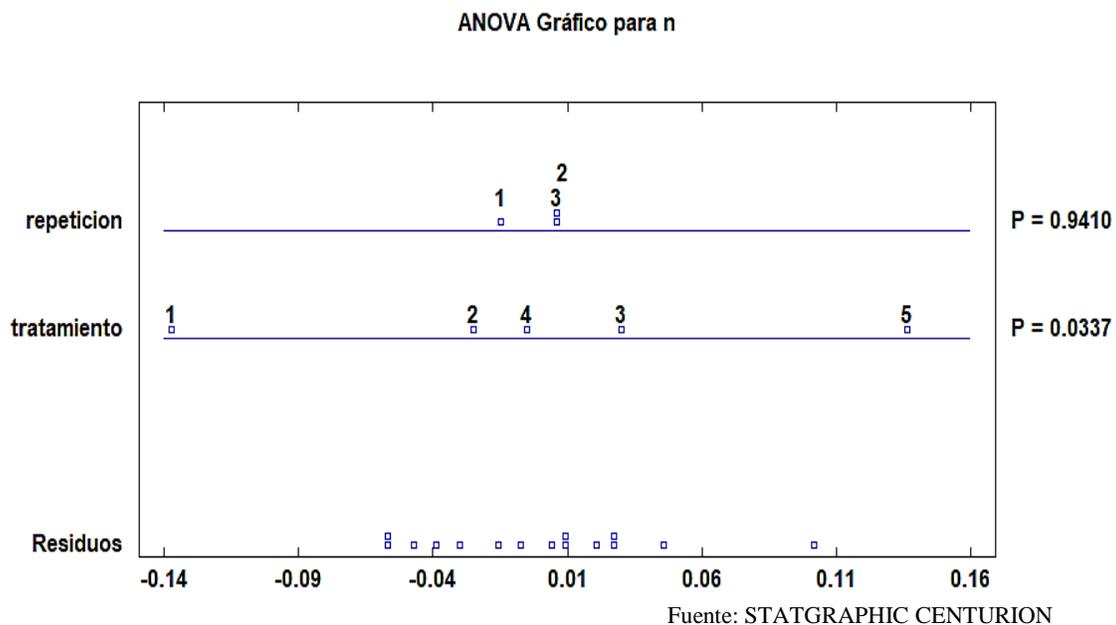
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TRATAMIENTO	0.0583964	4	0.0145991	4.51	0.0337
B:REPETICION	0.000397285	2	0.000198643	0.06	0.9410
RESIDUOS	0.0259135	8	0.00323919		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0847071	14			

Fuente: STATGRAPHIC CENTURION

En el cuadro 8, se presenta el análisis de varianza (ANOVA MULTIFACTORIAL) para el índice de comportamiento (n), donde se puede observar que el valor de la significancia es $p=0.0337$ presentando diferencia significativa ($p<0.05$) entre los tratamientos, mientras que en las repeticiones no hubo variabilidad en los datos, tal como se puede observar en el gráfico 5

Con el gráfico de Fisher LSD (anexo 09) podemos deducir que las medias de los cinco tratamientos (100% chía, 75% chía y 25% membrillo, 50% chía y 50% membrillo, 25% chía y 75% membrillo y 100% membrillo) están enlazados entre sí, ya que no hubo mucha variabilidad en “n” con resultados menores a 1 ($n < 1$), con lo cual los cinco tratamientos presentaron un comportamiento no newtoniano (anexo 11).

Gráfico 5. ANOVA MULTIFACTORIAL del índice de comportamiento (n)



3.1.3. Índice de Consistencia (k)

Cuadro 9. Análisis de Varianza del índice de consistencia (k)

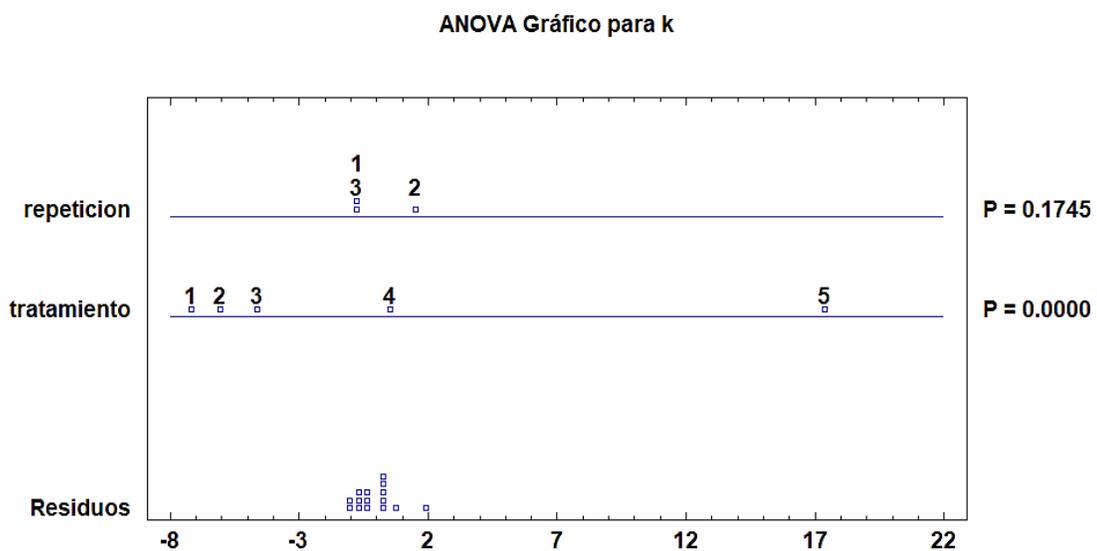
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TRATAMIENTO	618.009	4	154.502	156.88	0.0000
B:REPETICION	4.31197	2	2.15598	2.19	0.1745
RESIDUOS	7.87868	8	0.984834		
TOTAL (CORREGIDO)	630.2	14			

Fuente: STATGRAPHIC CENTURION

En el cuadro 9, se presenta el análisis de varianza (ANOVA MULTIFACTORIAL) para el índice de consistencia (k), donde se puede observar que el valor de la significancia es $p=0.0000$ presentando diferencia significativa ($p<0.05$) entre los tratamientos, mientras que en las repeticiones no hubo variabilidad en los datos, tal como se puede observar en el gráfico 6.

Con el gráfico de Fisher LSD (anexo 10) podemos deducir que las medias de los tres primeros tratamientos (100% chía, 75% chía y 25% membrillo, 50% chía y 50% membrillo) están enlazados entre sí, ya que presentaron una viscosidad muy similar con valores de “k” muy bajos dándonos a entender que esas proporciones de gel no son tan viscosas. Ya cuando se rompe el equilibrio 50:50 y los dos últimos tratamientos (25% chía y 75% membrillo y 100% membrillo) pasan a tener mayor proporción de mucilago de membrillo (mayor contenido de ST y de amilopeptina) es donde la viscosidad de estos geles aumenta significativamente teniendo valores de “k” muy altos, en donde podemos afirmar que son altamente viscosos, por ende como se muestra en el gráfico sus medias están enlazadas y difieren de los tres primeros tratamientos.

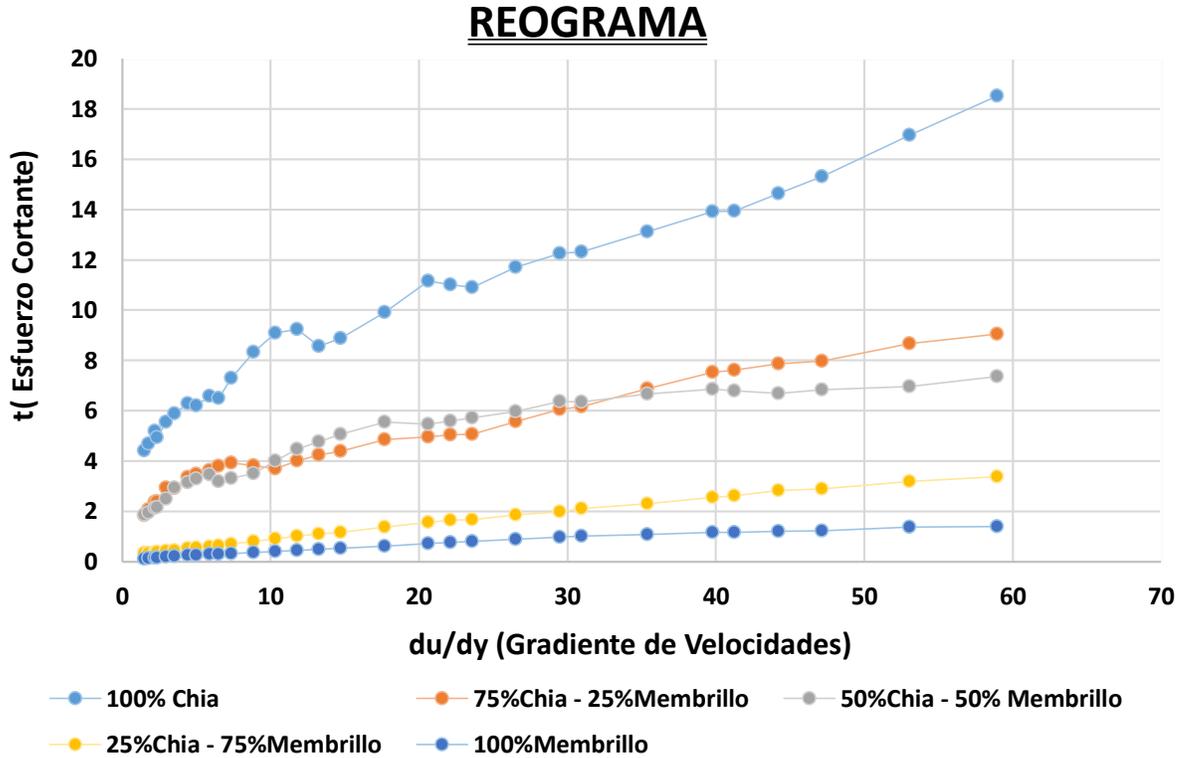
Gráfico 6. ANOVA MULTIFACTORIAL del índice de consistencia (k)



Fuente: STATGRAPHIC CENTURION

3.1.4. Clasificación del Fluido:

Gráfico 7. Reograma de los cinco geles de mucilago de chía y membrillo.



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 7, se puede observar los reogramas de t (esfuerzo de corte) vs du/dy (gradiente de velocidades) de cada una de las diferentes proporciones o tratamientos, en la cual se deduce que el comportamiento que tienen todos los geles analizados son no newtonianos y el tipo plástico general, esto se puede contrastar con el gráfico 1 en donde nos describe el comportamiento de todos los fluidos y conociendo el índice de comportamiento “ n ” de cada uno de los geles que permite conocer que trayectoria sigue el fluido.

3.2. Energía de Activación:

Cuadro 10. Energía de Activación de los geles a base de mucilago de chíá y membrillo

	T°	K (Pa.s ⁿ)	T° Kelvin	Ecuación de Arrhenius				
				1/T	Ln(k)	R	Ea/R	Ea (cal/mol)
P1	24.6	1.1473	297.6	0.00336022	0.13745212	1.99	3485.7	6936.54
	17.5	1.5109	290.5	0.00344234	0.4127055			
	11.3	1.9852	284.3	0.00351741	0.68571966			
P2	24.6	1.9381	297.6	0.00336022	0.66170104	1.99	1355.9	2698.24
	17.5	2.1393	290.5	0.00344234	0.76047867			
	11.3	2.3994	284.3	0.00351741	0.87521871			
P3	24.6	2.9451	297.6	0.00336022	1.0801589	1.99	1514.7	3014.25
	17.5	3.3564	290.5	0.00344234	1.21086897			
	11.3	3.7362	284.3	0.00351741	1.31806905			
P4	24.6	6.5906	297.6	0.00336022	1.8856457	1.99	3164.8	6297.95
	17.5	8.1476	290.5	0.00344234	2.09772341			
	11.3	10.8546	284.3	0.00351741	2.38458895			
P5	24.6	18.5112	297.6	0.00336022	2.91837846	1.99	970.71	1931.71
	17.5	19.8467	290.5	0.00344234	2.98803775			
	11.3	21.5694	284.3	0.00351741	3.07127564			

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro 10, se muestra los resultados obtenidos de energía de activación (Ea) de las diferentes proporciones de mezcla de mucilago (100% chíá, 75% chíá y 25% membrillo, 50% chíá y 50% membrillo, 25% chíá y 75% membrillo y 100% membrillo) hallados mediante la ecuación de Arrhenius, en la cual se trabajaron a tres temperaturas 24.6°C (T° Ambiente), 17,5°C y 11.3°C reportándonos diferentes valores de “k” para cada temperatura y así poder obtener el valor Ea para cada proporción.

IV. DISCUSIONES

En el cuadro 6, se reporta los resultados obtenidos de tensión de fluencia (T_o), índice de comportamiento (n) e índice de consistencia (k) de las diferentes proporciones de mezcla de mucilago (100% chía, 75% chía y 25% membrillo, 50% chía y 50% membrillo, 25% chía y 75% membrillo y 100% membrillo). En lo que respecta a la tensión de fluencia los geles fueron perdiendo rigidez y gomosidad conforme la proporción de chía fue disminuyendo es decir que el gel fluye con menos resistencia, resultados similares obtuvo (Farela, 2017) en su investigación sobre la caracterización de mucilago de chía como espesante en mermelada de fresa, en donde reporta que a menor adición de mucilago de chía menor también es su " T_o " debido a que el mucilago en las semillas de Chía tiene un alto peso molecular (M. Capitani, et al, 2014), lo que permite que sea mucho más complicado fluir además que el mucilago de chía es un tetrasacarido cuya cadena principal se encuentra compuesta por $(1\rightarrow4)\text{-}\beta\text{-D-xilopiranosil-(1}\rightarrow4)\text{-}\alpha\text{-D-glucopiranosil-(1}\rightarrow4)\text{-}\beta\text{-D-xilopiranosil}$ con ramificaciones de 4-O-metil- $\alpha\text{-D-ácido glucurónico}$ en la posición O-2 de $\beta\text{-D xilopiranosil}$ que hace que funcione como uno de los mejores espesantes existentes en la industria alimentaria.

Para el índice de comportamiento " n " nos dio como resultado valores comprendidos entre 0.6404 y 0.8337 para todas las proporciones evaluadas, confirmando en todos un comportamiento no newtoniano de tipo plástico general al notarse un valor " n " menor a 1 (Levenspiel, 1993) y un esfuerzo de corte inicial que no parte del origen, esto fue corroborado al contrastar el Grafico 1 del comportamiento de fluidos (Ramírez, 2006). Resultados similares obtuvieron Solorza (2007) que realizó la caracterización reológica de la goma de mucilago del café y Garcia Cruz (2011) que realizo una investigación sobre la optimización del secado por aspersion de mucílago de pitahaya en función de sus propiedades reológicas, donde reportan que el comportamiento de flujo de ambos mucilagos fue también es un no newtoniano (plástico general).

Al ser los mucilagos espesantes naturales con alto peso molecular los índice de consistencia “k” deben ser altos, esto solo sucedió al tener mayor proporción de mucilago de membrillo ya que al ir disminuyendo la proporción, el valor k fue cayendo rápidamente, lo que nos quiere decir que el tener mayor T_0 en proporciones altas de chía no exactamente quiere decir que sea más viscoso, sino que le da la propiedad de tener un gel rígido, con mayor dureza y con un umbral de fluencia que va decayendo conforme baja la proporción de chía. Este comportamiento lo reporta (Medina et al, 2003) en su estudio sobre las características reológicas de goma de mucilago de nopal y goma guar en la cual los fluidos no newtonianos no siempre tienen un T_0 y un “k” directamente proporcional, ya que la presencia de dos o más componentes dentro de un mismo gel hace que la rapidez de deformación se incrementa, lo que causa interacciones entre las cadenas adyacentes, y en consecuencia la viscosidad se reduce. Otro factor muy importante a tomar en cuenta es que la semilla del membrillo al provenir de una fruta tiene mayor contenido de sólidos totales y según Branco, I. (2001) este es el principal factor junto con la temperatura para que un fluido sea más viscoso.

En el cuadro 10, nos muestra los resultados obtenidos de energía de activación en la cual me reporta como el valor más alto al de la proporción 100% chía ($E_a = 6936.54$) y el valor más bajo al de la proporción 100% membrillo ($E_a = 1931.71$), esto va ligado completamente a la T_0 ya que el presentar un gel más pegajoso se va a necesitar mayor poder calorífico o energía para que el fluido comience a moverse y correlaciona lo estudiado por Solorza (2007) que realizó la caracterización reológica de la goma de mucilago del café en la cual reporta valores mínimos y máximos muy parecidos de energía de activación.

V. CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto de la proporción de mucilago en polvo de semillas de Chía (Salvia Hispanica L.) y Membrillo (Cydonia Oblonga) en las características reológicas de un gel y presento diferencia significativa entre sus diferentes proporciones, esto fue corroborado con el análisis de varianza (ANOVA MULTIFACTORIAL).
- Se logró obtener mucilago en polvo de semillas de Chía (Salvia Hispanica L.).
- Se logró obtener mucilago en polvo de semillas de Membrillo (Cydonia Oblonga).
- Se logró obtener los geles al 6.67% p/v de mucilago hidratado en diferentes proporciones (100% chía, 75% chía y 25% membrillo, 50% chía y 50% membrillo, 25% chía y 75% membrillo y 100% membrillo) de semillas de Chía (Salvia Hispanica L.) y Membrillo (Cydonia Oblonga).
- Se logró determinar las características reológicas de las diferentes proporciones de mucilago hidratado de Chía (Salvia Hispanica L.) y Membrillo (Cydonia Oblonga), en la cual su clasificación del fluido fue plástico general, con valores de índice de consistencia “n” entre 0.6404 y 0.8337 menores a 1 confirmando que es un fluido no newtoniano para los cinco geles. En el índice del comportamiento “k” el gel más viscoso fue el de 100% membrillo con un $k=18.5112$, se determinó que la tensión de fluencia más alta fue para el gel de 100% chia con un $T_0=3.33$ y con respecto a la energía de activación el valor más alto lo obtuvo el gel de 100% chia con un $E_a= 6936.52$ caloria/mol.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar una comparación con algún gel comercial como muestra control para ver que tanto difiere de mis resultados reológicos.
- Utilizar un Reómetro Rotacional de cilindro para la lectura de los datos de viscosidad ya que los husillos de los reómetros son en forma de tambor lo que permite tener mayor contacto con la muestra y una lectura más óptima e idónea.
- Determinar parámetros como como humedad, ceniza, fibra, etc de las semillas de chía y membrillo para poder tener más amplitud de resultados y poder contrastarlos con los resultados reológicos.
- Utilizar los mucilagos hidratados y darle algún valor agregado en algún producto de consumo humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Acosta, E. R. (2009). Influencia de la Temperatura y Concentración en las Características Reológicas de la pulpa de Carambola. Huancayo – Perú.
- Alvarado, J. D. (1993). Viscosidad y energía de activación de jugos filtrados. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- Aguado J., (1999). Ingeniería de la Industria Alimentaria. Edit. Síntesis, primera edición. Madrid– España.
- Ayerza, R, et al, (2006). Influence of chia on total fat, cholesterol, and fatty acid profile of Holstein cow’s milk. Association for the Advancement of Industrial Crops Meeting. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Branco, I. (2001). Estudio del Comportamiento Reológico del Jugo de Nara Universidad Estatal de Campiña. Tesis Doctoral.
- Costell, E. y Durán, L. (1981). Reología físico-química de los zumos y purés de fruta. Rev. Agroquím. Tecnología alimentaria
- Ducasse Alain, (2000). Libro de Cocina. Akal S.A. Madrid – España.
- García, G. A. (2006). Reología básica aplicada, Petroquim. S.A.
- Giankoplis, J. (1998). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. The Ohio State University. Editorial Continental S.A. México.
- Gonzales, E. (1991). Contribución al Estudio Reológico del Néctar de Albaricoque. Revista científica Vol 2.
- Ibarz, A., Barbosa-Cánovas, G. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid – España.

- Jaramillo, Y. (2013) . La chía una fuente de nutrientes para el desarrollo de alimentos saludables. Tesis para optar el título de Especialista en Alimentación y Nutrición. Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia, Colombia.
- Lewis, M. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas procesados. primera edición. Edit. Acribia Zaragoza- España.
- Matos, A. y Chambilla, E., (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sánchez, B. & Alonso, S. (2003). estudio sobre las características reológicas de goma de mucilago de nopal y goma guar (*Opuntia ficus*). *Polimeros* 52, 143–150.
- Muller, H. G. (1973). Introducción a la reología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza – España.
- Muñoz, E., Rubio, L., Cabeza, M. y Possa, H. (2012). Modelo predictivo del comportamiento reológico de pulpas de pera. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Argentina.
- Ramírez, Juan, (2006). Fundamentos de la reología de alimentos, Introducción a la Reología, Colombia.
- Sánchez, C., (2007). Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba. Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal. Universidad de Zaragoza España.

ANEXOS

Anexo 01: Clasificación Reológica (To, n y k) mediante la ecuación de Casson.

Una vez obtenido los 5 geles a diferentes proporciones, se procedió a analizar reológicamente cada uno de ellos, para eso se utilizó un viscosímetro rotacional digital Fungilab EXPERT, bajo el principio de rotación de un disco o un cilindro (denominados husillos) para las pruebas de los 5 geles se utilizó el husillo R3 sumergidos en el fluido cuya viscosidad se quiere determinar, se llenó un vaso de ensayo de 100 ml con el gel a analizar a temperatura ambiente (24.6°C), teniendo cuidado de no producir burbujas de aire. Luego se sumergió el husillo y se fijó el vástago al eje, comprobando su verticalidad y temperatura. Se encendió el motor en marcha y se ajustó a la velocidad de trabajo (de 10 a 200 rpm) esto nos permitió obtener amplios valores de lectura directa; con estos valores de viscosidad, se procedió a aplicar el modelo de Casson para hallar los valores de To, n y k.

Estos valores de lectura que nos reportó el viscosímetro son: “N” revoluciones por minuto (rpm), μ viscosidad aparente (mPa.s) y el porcentaje de esfuerzo (%), los datos obtenidos se llenaran en el siguiente cuadro:

N (rpm)	μ (mPa.s)	%	N (rps)	μ (Pa.s)	Ω (N.m)	τ (Pa)	$du/dy = \gamma (s^{-1})$	Raiz T	Raiz γ	$\log(T-T_0)$	$\log(du/dy)$
10											
50											
100											
200											

Anexo 02: Energía de Activación.

En el caso de fluidos que se refieren al modelo Casson, el efecto de la temperatura puede correlacionarse mediante un modelo combinado de la ecuación de Arrhenius para su energía de activación (HARPER y ELSAHRIGI, 1965; VITALI y RAO, 1984):

Se realizaron ensayos iguales al descrito en el anexo1 (método de Casson) pero a tres temperaturas diferentes 24.6°C (T° Ambiente), 17,5°C y 11.3°C para cada uno de las cinco proporciones.

Con los datos obtenidos del valor k a diferente temperatura se procederá a la ecuación Arrhenius que tiene la siguiente formula:

$$k = k_{\infty} \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right)$$

Donde:

Ea: Energía de Activación.

k_{∞} : Constante denominada viscosidad de deformación infinita.

R: Constante de los Gases.

T: Temperatura en Grados Kelvin.

Luego para poder linealizar se multiplica a ambos miembros por Ln y la representación gráfica de Ln k vs (1/T) y se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Log } k = \text{Log } k_{\infty} + \left(\frac{Ea}{2.303 R}\right) \left(\frac{1}{T}\right)$$

$$Y = a + m . x$$

Teniendo en cuenta la ecuación de la recta se asume que el antilogaritmo del intercepto es el valor de k y a partir de la pendiente (Ea/R) se calcula el valor de la energía de activación (Ea).

Anexo 03: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 100% Chía

N (rpm)	μ (Pa.s)	%	Ω (N.m)	τ (Pa)	$du/dy = \gamma$ (s ⁻¹)	Raiz T	Raiz γ	log(T-To)	log(du/dy)
10	1.8834	10.7	1.68866E-05	5.55185171	2.947781516	2.35623677	1.716910457	0.348514056	0.469495291
12	1.6627	10.9	1.78893E-05	5.88153159	3.537337819	2.42518692	1.880781173	0.408367911	0.548676537
15	1.4232	11.1	1.91406E-05	6.29292398	4.421672274	2.50857011	2.102777276	0.47307024	0.64558655
17	1.2368	11.5	1.88516E-05	6.1978875	5.011228577	2.48955568	2.238577356	0.458956499	0.699944213
20	1.1153	12	1.99996E-05	6.57532145	5.895563032	2.56423896	2.428078053	0.512490169	0.770525287
22	1.0026	14.2	1.97765E-05	6.50198065	6.485119335	2.54989816	2.546589746	0.502591432	0.811917972
25	0.9905	14.3	2.22021E-05	7.29944398	7.36945379	2.70174832	2.714673791	0.599737558	0.8674353
30	0.9417	14.3	2.53299E-05	8.32777756	8.843344548	2.8857889	2.973776143	0.699577615	0.946616546
35	0.8806	14.5	2.76341E-05	9.08535741	10.31723531	3.01419266	3.212045346	0.76076768	1.013563336
40	0.784	14.7	2.81174E-05	9.24424283	11.79112606	3.04043465	3.433820913	0.772575867	1.071555283
45	0.6451	14.9	2.60279E-05	8.55726235	13.26501682	2.92527988	3.64211708	0.719039869	1.122707805
50	0.6023	15.1	2.70011E-05	8.87724404	14.73890758	2.97947043	3.839128492	0.74479872	1.168465296
60	0.561	17	3.01796E-05	9.92223258	17.6866891	3.14995755	4.205554553	0.819639686	1.247646542
70	0.5413	17.5	3.39731E-05	11.1694389	20.63447061	3.34207106	4.542518092	0.894795607	1.314593331
75	0.4982	17.8	3.35015E-05	11.0143856	22.10836137	3.3187928	4.701952931	0.886130074	1.344556555
80	0.4629	18	3.32029E-05	10.9162245	23.58225213	3.30397102	4.856156106	0.88055335	1.372585278
90	0.4417	18.2	3.56426E-05	11.7183159	26.53003364	3.42320257	5.15073137	0.924152007	1.423737801
100	0.4156	18.6	3.72627E-05	12.25098	29.47781516	3.50013999	5.429347581	0.950861316	1.469495291
105	0.3982	18.9	3.74878E-05	12.3249693	30.95170592	3.51069356	5.563425736	0.954444747	1.49068459
120	0.3712	19.1	3.99382E-05	13.130598	35.37337819	3.6236167	5.947552286	0.991661069	1.548676537
135	0.3497	19.3	4.23281E-05	13.9163291	39.79505047	3.73045964	6.308331829	1.025123581	1.59982906
140	0.338	19.7	4.24272E-05	13.9489021	41.26894122	3.73482291	6.424090692	1.026456647	1.615623327
150	0.3313	20	4.45566E-05	14.6490002	44.21672274	3.82740124	6.649565605	1.054161788	1.64558655
160	0.3249	20.6	4.66089E-05	15.3237474	47.16450426	3.91455584	6.867641826	1.079288726	1.673615274
180	0.3197	20.8	5.15958E-05	16.9633035	53.06006729	4.11865312	7.284234159	1.134894797	1.724767796
200	0.3142	21.3	5.63424E-05	18.523859	58.95563032	4.3039353	7.678256984	1.181931631	1.770525287

Anexo 04: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 75% chía y 25% membrillo.

N (rpm)	μ (Pa.s)	%	Ω (N.m)	τ (Pa)	$du/dy = \gamma$ (s ⁻¹)	Raiz T	Raiz γ	log(T-To)	log(du/dy)
10	1.3315	14.5	1.19382E-05	3.92497109	2.947781516	1.98115398	1.71691046	0.06348578	0.469495291
12	1.182	16.9	1.27174E-05	4.1811333	3.537337819	2.04478197	1.88078117	0.15031681	0.548676537
15	1.042	17.2	1.40139E-05	4.60738251	4.421672274	2.14648143	2.10277728	0.26477476	0.64558655
17	1.111	17.4	1.69341E-05	5.56747495	5.011228577	2.35954973	2.23857736	0.44714407	0.699944213
20	0.9342	18.1	1.67521E-05	5.50763498	5.895563032	2.3468351	2.42807805	0.43776166	0.770525287
22	0.8689	18.5	1.71392E-05	5.63492019	6.485119335	2.37379868	2.54658975	0.4574815	0.811917972
25	0.8154	19	1.82772E-05	6.00905262	7.36945379	2.4513369	2.71467379	0.51074437	0.8674353
30	0.7618	19.4	2.04909E-05	6.73685988	8.843344548	2.59554616	2.97377614	0.59871337	0.946616546
35	0.656	20	2.0586E-05	6.76810636	10.31723531	2.60155845	3.21204535	0.60211877	1.013563336
40	0.5971	20.3	2.14144E-05	7.04048137	11.79112606	2.65339054	3.43382091	0.6307244	1.071555283
45	0.5566	20.7	2.24572E-05	7.38330836	13.26501682	2.71722439	3.64211708	0.66424166	1.122707805
50	0.5508	21.3	2.46924E-05	8.11819029	14.73890758	2.84924381	3.83912849	0.72840454	1.168465296
60	0.5419	22.7	2.91521E-05	9.58441682	17.6866891	3.09587093	4.20555455	0.83358386	1.247646542
70	0.4446	22.9	2.7904E-05	9.17408563	20.63447061	3.02887531	4.54251809	0.80662223	1.314593331
75	0.4254	23.4	2.86061E-05	9.40489693	22.10836137	3.06674044	4.70195293	0.82199354	1.344556555
80	0.3885	23.7	2.78664E-05	9.16170495	23.58225213	3.02683084	4.85615611	0.80578214	1.372585278
90	0.3578	24.2	2.88723E-05	9.49244604	26.53003364	3.08098134	5.15073137	0.82768461	1.423737801
100	0.3311	25	2.96865E-05	9.7601046	29.47781516	3.12411661	5.42934758	0.84463494	1.469495291
105	0.3122	26.3	2.93915E-05	9.66312259	30.95170592	3.10855635	5.56342574	0.83856939	1.49068459
120	0.301	27.8	3.23852E-05	10.6473868	35.37337819	3.26303338	5.94755229	0.8965164	1.548676537
135	0.2511	28.5	3.03934E-05	9.99253717	39.79505047	3.16109746	6.30833183	0.85883618	1.59982906
140	0.2454	30	3.08036E-05	10.1273982	41.26894122	3.18235733	6.42409069	0.86686797	1.615623327
150	0.2312	31.2	3.10941E-05	10.2229063	44.21672274	3.19732799	6.64956561	0.87246753	1.64558655
160	0.2158	32.4	3.09578E-05	10.1781	47.16450426	3.19031347	6.86764183	0.86984957	1.673615274
180	0.1988	33.3	3.2084E-05	10.5483414	53.06006729	3.24782102	7.28423416	0.89102294	1.724767796
200	0.1844	33.6	3.30666E-05	10.8714182	58.95563032	3.29718338	7.67825698	0.90869157	1.770525287

Anexo 05: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 50% chía y 50% membrillo.

N (rpm)	μ (Pa.s)	%	Ω (N.m)	τ (Pa)	$du/dy = \gamma$ (s ⁻¹)	Raiz T	Raiz γ	log(T-To)	log(du/dy)
10	0.8372	7	7.50634E-06	2.46788269	2.947781516	1.57094961	1.71691046	-0.10005754	0.469495291
12	0.7893	8.5	8.49225E-06	2.79202074	3.537337819	1.67093409	1.88078117	0.04858203	0.548676537
15	0.7077	9.4	9.51787E-06	3.12921747	4.421672274	1.76895943	2.10277728	0.16302945	0.64558655
17	0.67	10	1.02123E-05	3.35752315	5.011228577	1.83235454	2.23857736	0.22630687	0.699944213
20	0.5269	10.6	9.44838E-06	3.10637216	5.895563032	1.76249033	2.42807805	0.15615904	0.770525287
22	0.4899	10.8	9.66339E-06	3.17705996	6.485119335	1.78243091	2.54658975	0.17707462	0.811917972
25	0.4357	10.9	9.76623E-06	3.21087102	7.36945379	1.79189035	2.71467379	0.18673358	0.8674353
30	0.381	11.5	1.02481E-05	3.36931427	8.843344548	1.8355692	2.97377614	0.22933739	0.946616546
35	0.3668	12.2	1.15106E-05	3.78436191	10.31723531	1.94534365	3.21204535	0.32442697	1.013563336
40	0.3582	14	1.28465E-05	4.22358136	11.79112606	2.05513536	3.43382091	0.40652684	1.071555283
45	0.3469	16.4	1.39964E-05	4.60163434	13.26501682	2.14514203	3.64211708	0.46656731	1.122707805
50	0.3214	16.8	1.44084E-05	4.7370849	14.73890758	2.17648453	3.83912849	0.48620728	1.168465296
60	0.294	17	1.5816E-05	5.19988659	17.6866891	2.28032598	4.20555455	0.54731025	1.247646542
70	0.2861	17.5	1.79562E-05	5.90352204	20.63447061	2.42971645	4.54251809	0.62632623	1.314593331
75	0.2638	17.7	1.77393E-05	5.83218573	22.10836137	2.41499187	4.70195293	0.61893943	1.344556555
80	0.2407	18	1.72649E-05	5.67624809	23.58225213	2.38248779	4.85615611	0.60234093	1.372585278
90	0.2169	18.4	1.75025E-05	5.7543643	26.53003364	2.39882561	5.15073137	0.61073516	1.423737801
100	0.1894	18.7	1.69816E-05	5.58309819	29.47781516	2.36285806	5.42934758	0.59211439	1.469495291
105	0.1765	19	1.66163E-05	5.46297609	30.95170592	2.33730103	5.56342574	0.57856087	1.49068459
120	0.1679	19.3	1.80647E-05	5.9391902	35.37337819	2.43704538	5.94755229	0.62997305	1.548676537
135	0.1468	19.7	1.77688E-05	5.84191341	39.79505047	2.41700505	6.30833183	0.61995415	1.59982906
140	0.1426	20.8	1.78997E-05	5.88495102	41.26894122	2.4258918	6.42409069	0.62441529	1.615623327
150	0.1352	21.5	1.81831E-05	5.97810091	44.21672274	2.44501552	6.64956561	0.63391678	1.64558655
160	0.1264	22	1.81329E-05	5.96159334	47.16450426	2.44163743	6.86764183	0.63224806	1.673615274
180	0.1157	23.5	1.86726E-05	6.13904979	53.06006729	2.47771059	7.28423416	0.6498594	1.724767796
200	0.1098	24.9	1.96894E-05	6.47332821	58.95563032	2.54427361	7.67825698	0.68121124	1.770525287

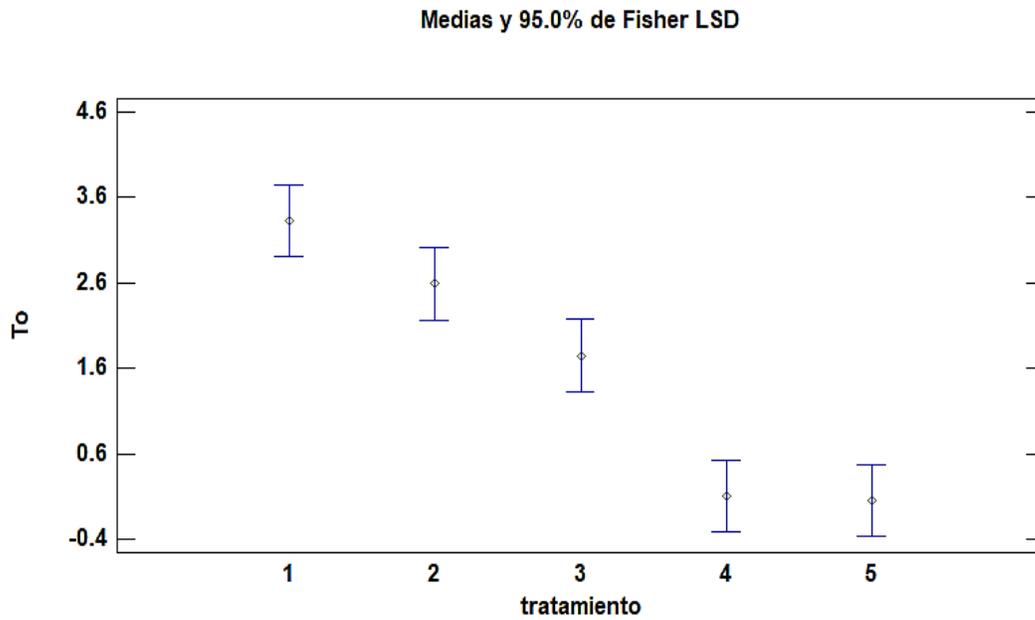
Anexo 06: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 25% chía y 75% membrillo.

N (rpm)	μ (Pa.s)	%	Ω (N.m)	τ (Pa)	$du/dy = \gamma$ (s ⁻¹)	Raiz T	Raiz γ	log(T-To)	log(du/dy)
10	0.1642	4.1	1.47222E-06	0.48402572	2.947781516	0.69571957	1.71691046	-0.47272685	0.469495291
12	0.151	4.5	1.62464E-06	0.53413801	3.537337819	0.73084746	1.88078117	-0.4124736	0.548676537
15	0.1384	5.7	1.86134E-06	0.61195944	4.421672274	0.78227837	2.10277728	-0.33286751	0.64558655
17	0.1154	4.9	1.75895E-06	0.57829578	5.011228577	0.76045761	2.23857736	-0.36552944	0.699944213
20	0.1046	5.5	1.87569E-06	0.61667589	5.895563032	0.78528714	2.42807805	-0.32848148	0.770525287
22	0.1001	6.3	1.97449E-06	0.64916045	6.485119335	0.80570494	2.54658975	-0.29941914	0.811917972
25	0.0923	6	2.06891E-06	0.68020058	7.36945379	0.82474274	2.71467379	-0.27335579	0.8674353
30	0.0855	6.3	2.29978E-06	0.75610596	8.843344548	0.86954353	2.97377614	-0.21552285	0.946616546
35	0.0823	7.3	2.58266E-06	0.84910847	10.31723531	0.92147082	3.21204535	-0.15378291	1.013563336
40	0.0798	8.1	2.86195E-06	0.94093186	11.79112606	0.97001642	3.43382091	-0.10038224	1.071555283
45	0.0764	8.9	3.08251E-06	1.01344729	13.26501682	1.00670119	3.64211708	-0.06240947	1.122707805
50	0.0747	9.4	3.3488E-06	1.1009964	14.73890758	1.04928375	3.83912849	-0.02059097	1.168465296
60	0.0726	10.6	3.90559E-06	1.28405363	17.6866891	1.1331609	4.20555455	0.05566542	1.247646542
70	0.0704	11.6	4.41845E-06	1.45266673	20.63447061	1.20526625	4.54251809	0.11573173	1.314593331
75	0.0698	13	4.69371E-06	1.54316362	22.10836137	1.24224137	4.70195293	0.14484223	1.344556555
80	0.0644	13.3	4.61929E-06	1.51869704	23.58225213	1.23235427	4.85615611	0.13716243	1.372585278
90	0.0622	15	5.01917E-06	1.65016809	26.53003364	1.28458869	5.15073137	0.17692016	1.423737801
100	0.06	16.9	5.37961E-06	1.76866891	29.47781516	1.32991312	5.42934758	0.20988119	1.469495291
105	0.0598	20.2	5.62976E-06	1.85091201	30.95170592	1.36048227	5.56342574	0.23137007	1.49068459
120	0.0588	23	6.32642E-06	2.07995464	35.37337819	1.44220478	5.94755229	0.2861537	1.548676537
135	0.0569	25.2	6.88724E-06	2.26433837	39.79505047	1.50477187	6.30833183	0.32572823	1.59982906
140	0.0551	26.6	6.91638E-06	2.27391866	41.26894122	1.50795181	6.42409069	0.32768912	1.615623327
150	0.0543	30.9	7.30282E-06	2.40096804	44.21672274	1.54950574	6.64956561	0.35288948	1.64558655
160	0.0533	31.2	7.64621E-06	2.51386808	47.16450426	1.58551824	6.86764183	0.37411855	1.673615274
180	0.0511	34.8	8.24694E-06	2.71136944	53.06006729	1.64662365	7.28423416	0.40892937	1.724767796
200	0.0509	38.5	9.1274E-06	3.00084158	58.95563032	1.73229373	7.67825698	0.45538383	1.770525287

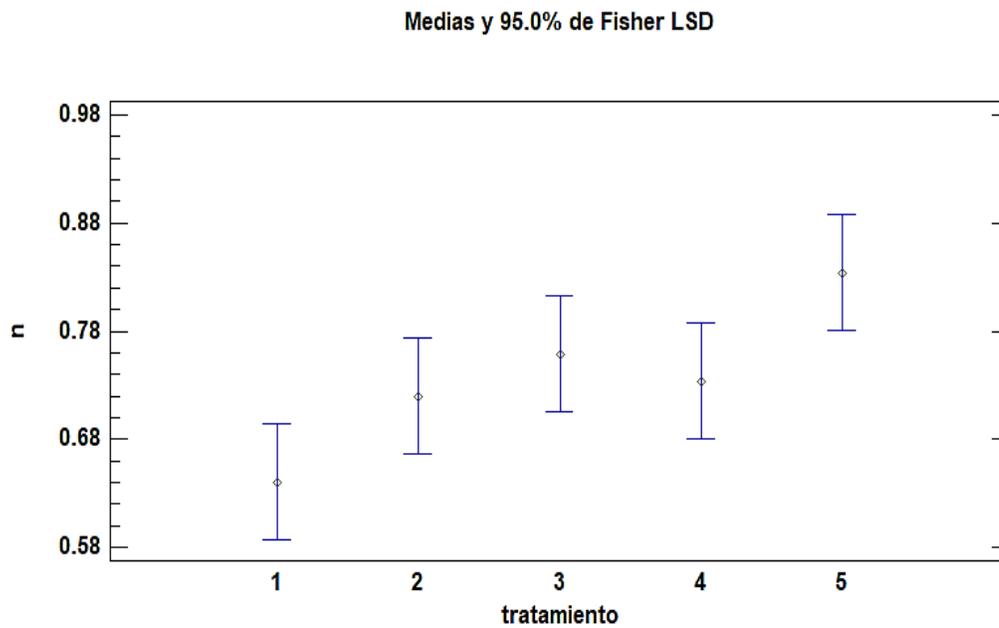
Anexo 07: Resultados experimentales promedio (R1, R2 y R3) del comportamiento reológico del gel - 100% membrillo.

N (rpm)	μ (Pa.s)	%	Ω (N.m)	τ (Pa)	$du/dy = \gamma$ (s ⁻¹)	Raiz T	Raiz γ	log(T-To)	log(du/dy)
10	0.0668	1.3	5.98929E-07	0.19691181	2.947781516	0.44374746	1.71691046	-0.83533003	0.469495291
12	0.0662	1.4	7.1226E-07	0.23417176	3.537337819	0.48391297	1.88078117	-0.73667976	0.548676537
15	0.0648	1.6	8.71496E-07	0.28652436	4.421672274	0.53527971	2.10277728	-0.62760504	0.64558655
17	0.063	1.8	9.6026E-07	0.3157074	5.011228577	0.56187846	2.23857736	-0.57691437	0.699944213
20	0.0622	1.9	1.11537E-06	0.36670402	5.895563032	0.60556091	2.42807805	-0.50045194	0.770525287
22	0.0615	2.1	1.2131E-06	0.39883484	6.485119335	0.63153372	2.54658975	-0.45838372	0.811917972
25	0.0601	2.2	1.34714E-06	0.44290417	7.36945379	0.66551046	2.71467379	-0.40660425	0.8674353
30	0.0598	2.5	1.6085E-06	0.528832	8.843344548	0.72720836	2.97377614	-0.32054771	0.946616546
35	0.0578	2.7	1.81382E-06	0.5963362	10.31723531	0.77222808	3.21204535	-0.26318053	1.013563336
40	0.0561	2.9	2.01197E-06	0.66148217	11.79112606	0.81331554	3.43382091	-0.21418843	1.071555283
45	0.0542	3.4	2.18681E-06	0.71896391	13.26501682	0.8479174	3.64211708	-0.17512034	1.122707805
50	0.0516	3.9	2.31323E-06	0.76052763	14.73890758	0.87208235	3.83912849	-0.14891144	1.168465296
60	0.0497	4.1	2.67366E-06	0.87902845	17.6866891	0.93756517	4.20555455	-0.08185256	1.247646542
70	0.0458	5	2.8745E-06	0.94505875	20.63447061	0.97214132	4.54251809	-0.04853931	1.314593331
75	0.0436	5.3	2.93189E-06	0.96392456	22.10836137	0.9817966	4.70195293	-0.03947243	1.344556555
80	0.0413	5.6	2.96237E-06	0.97394701	23.58225213	0.98688754	4.85615611	-0.03473156	1.372585278
90	0.0388	6.4	3.13093E-06	1.02936531	26.53003364	1.01457642	5.15073137	-0.00941248	1.423737801
100	0.0381	7.2	3.41605E-06	1.12310476	29.47781516	1.05976637	5.42934758	0.03031614	1.469495291
105	0.0358	7.9	3.37032E-06	1.10807107	30.95170592	1.05264955	5.56342574	0.02418423	1.49068459
120	0.0351	9.4	3.77648E-06	1.24160557	35.37337819	1.11427356	5.94755229	0.07583898	1.548676537
135	0.0339	10.7	4.10329E-06	1.34905221	39.79505047	1.16148707	6.30833183	0.11335734	1.59982906
140	0.0334	11.5	4.19251E-06	1.37838264	41.26894122	1.17404542	6.42409069	0.12305988	1.615623327
150	0.0327	12.5	4.39783E-06	1.44588683	44.21672274	1.20245035	6.64956561	0.14459963	1.64558655
160	0.0316	13.6	4.53321E-06	1.49039833	47.16450426	1.22081871	6.86764183	0.15823978	1.673615274
180	0.0302	17.7	4.87392E-06	1.60241403	53.06006729	1.26586493	7.28423416	0.19078225	1.724767796
200	0.0294	18.8	5.27201E-06	1.73329553	58.95563032	1.31654682	7.67825698	0.22595259	1.770525287

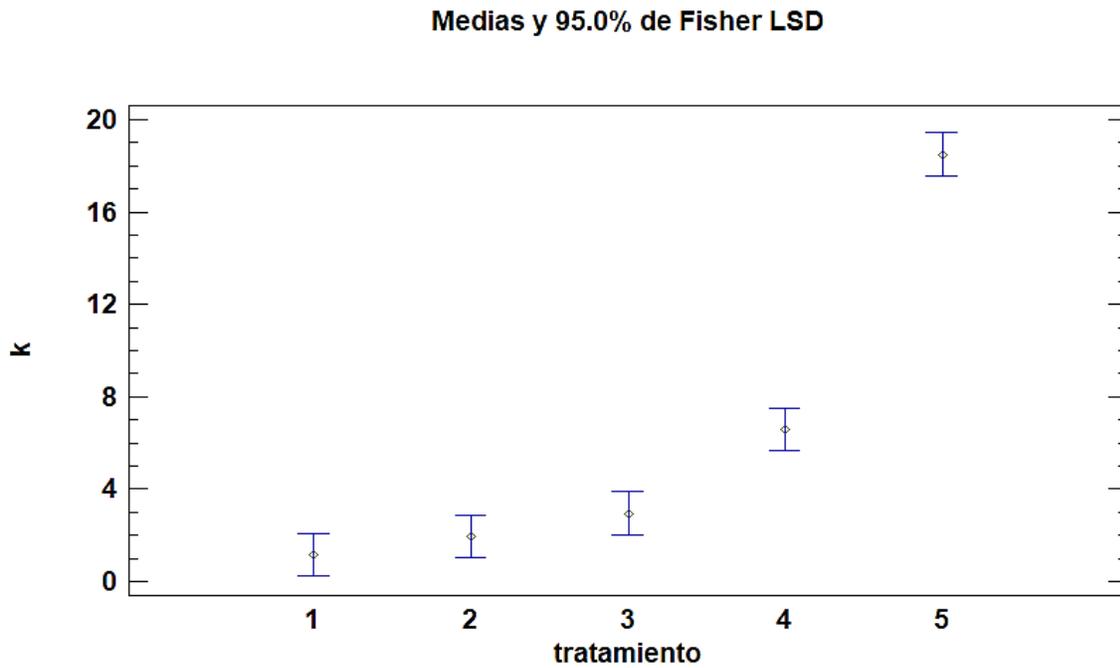
Anexo 08: Grafico de Medias y Fisher LSD – Tensión de Fluencia (T_o)



Anexo 09: Grafico de Medias y Fisher LSD – Índice de Comportamiento (n)



Anexo 10: Grafico de Medias y Fisher LSD – Índice de Consistencia (k)



Anexo 11: Características de Flujo de algunos alimentos.

Tipo de flujo	Índice de consistencia	Índice de comportamiento	Umbral de fluencia	Ejemplos
Newtoniano	Viscosidad $k > 0$	$n = 1$	$\tau_o = 0$	Zumos clarificados, aceites, leche, jarabes de pastelería
Pseudo-plástico	Viscosidad aparente $k > 0$	$0 < n < 1$	$\tau_o = 0$	Zumos concentrados, cremogenados y purés de frutas, almidón
Plásticos de Bingham	Plasticidad constante $k > 0$	$n = 1$	$\tau_o > 0$	Aderezos de ensalada, chocolate, ketchup
Plástico General	Índice de consistencia $k > 0$	$0 < n < 1$	$\tau_o > 0$	Mermelada, jalea, Geles
Dilatante	Índice de consistencia $k > 0$	$1 < n < \infty$	$\tau_o = 0$	Mantequilla de cacahuete, pasta para salchichas

Anexo 12: Grafico de energía de Activación Ln(k) vs 1/T

