

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



“CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DEL LÁTEX DE LA SANGRE DE GRADO (*Crotón lechleri*) EN FLUJO DE CORTE”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Roxana García Meneses'.

Roxana García Meneses

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Lariza Luque Chahuayo'.

Lariza Luque Chahuayo

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Callao, 2022'.

Callao, 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Perú'.

Perú

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Perú'.



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

LIBRO N°1 FOLIO 90
ACTA N° 89 DE SUSTENTACIÓN CON CICLO DE TESIS
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO

A los veintitrés días del mes de abril, del año 2022, siendo las 16:50 horas, se reunieron en la Sala Meet: <https://meet.google.com/bgt-qcjqw-hix>, el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO** de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Ing. Dr. CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE:	PRESIDENTE
Ing. Mg. POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA:	SECRETARIO
Lic. Dr. NESTOR MARCIAL ALVARADO BRAVO:	VOCAL
Lic. Mg. FERNANDO HIPÓLITO LAYZA BERMUDEZ:	MIEMBRO SUPLENTE (VOCAL)
Ing. Mg. PABLO BELIZARIO DÍAZ BRAVO:	ASESOR

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de las Bachilleres **GARCIA MENESES ROXANA** y **LUQUE CHAHUAYO LARIZA**, quienes, habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO QUÍMICO**, sustentan la tesis titulada **“CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DEL LÁTEX DE LA SANGRE DE GRADO (*Crotón lechleri*) EN FLUJO DE CORTE”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las “Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario”.

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **DIECISIETE (17)** la presente Tesis, conforme a lo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CICLO DE TESIS 2022-08
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**



dispuesto en el Artículo 27° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU, del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 17:50 horas del día veintitrés de abril del 2022.

**Ing. Dr. CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Mg. POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPA
SECRETARIO DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Lic. Dr. NESTOR MARCIAL ALVARADO BRAVO
VOCAL DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Lic. Mg. FERNANDO HIPÓLITO LAYZA BERMUDEZ
SUPLENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Mg. PABLO BELIZARIO DÍAZ BRAVO
ASESOR**

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por los bachilleres **ROXANA GARCIA MENESES Y LARIZA LUQUE CHAHUAYO** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes profesores ordinarios:

Dr. ANCIETA DEXTRE, CARLOS ALEJANDRO:	Presidente
Mg. SUERO IQUIAPAZA, POLICARPO AGATÓN:	Secretario
Dr. ALVARADO BRAVO, NESTOR MARCIAL:	Vocal
Mg. LAYZA BERMÚDEZ, FERNANDO HIPÓLITO:	Suplente
Mg. PABLO BELIZARIO, DIAZ BRAVO:	Asesor

Tal como está asentado en el libro N°1 de Tesis Folio N°90 y Acta N°89 de fecha 23 de abril de 2022 para optar el título profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de titulación de ciclo de tesis de conformidad establecido por el reglamento de grados y títulos aprobado con Resolución N°099-2021-CU de fecha 30 de junio del 2021.

DEDICATORIA

A mis padres que son mi motor y fuerza para levantarme cada día y por estar conmigo en cada momento de mi vida por inspirarme a seguir en el camino de la superación, a mi ángel que está en el cielo cuidándome e inspirándome a ser mejor cada día y a Dios por enseñarme en cada obstáculo lo fuerte que puedo llegar a ser.

Roxana, García Meneses

A Dios, por el maravilloso don de la vida y haberme permitido vivir estos momentos, a mi madre, por su amor y ejemplo de lucha para mi desarrollo profesional, a mi padre, por sus sabios consejos que guardo en mi corazón y que ahora desde el cielo me acompaña.

Lariza, Luque Chahuayo

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO	4
RESÚMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Descripción de la realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	11
1.2.1. Problema general	11
1.2.2. Problemas específicos.....	11
1.3. Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
1.4. Limitantes de la investigación.....	11
II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Antecedentes.....	13
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	13
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	14
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Historia de la Reología	15
2.2.2. Reología	17
2.2.3. Clasificación de fluidos	18
2.2.4. Modelos empíricos de fluidos No Newtonianos	24
2.2.5. Sangre de Grado	27
2.2.6. Crotón lechleri Müll. Arg.	27

2.3.	Conceptual	32
2.4.	Definición de términos básicos	32
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	35
3.1.	Hipótesis general y específicas	35
3.1.1.	Hipótesis General	35
3.1.2.	Hipótesis Específicas	35
3.2.	Definición conceptual de las variables.....	35
3.2.1.	Operacionalización de variables.....	36
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	37
4.1.	Tipo y diseño de investigación.....	37
4.2.	Método de la investigación	37
4.2.1.	Plan de investigación.....	40
4.3.	Población y Muestra	41
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	41
4.5.	Técnicas e Instrumentos para la recolección de la información	41
4.5.1.	Métodos o técnicas de recolección de datos	41
4.5.2.	Equipos y materiales	41
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	42
V.	RESULTADOS	43
5.1.	Resultados descriptivos	43
5.2.	Resultados inferenciales	47
5.3.	Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo con la naturaleza del problema y la Hipótesis	59
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
6.1.	Contrastación de las hipótesis con los resultados.....	63
6.2.	Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	64

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	64
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS	71
Matriz de consistencia.....	71

TABLAS DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especies de sangre de grado reportadas en el Perú</i>	30
Tabla 2 <i>Operacionalización de variables</i>	36
Tabla 3 <i>Cuadro de diseño Experimental</i>	38
Tabla 4 <i>Plan de Investigación</i>	40
Tabla 5 <i>Datos de Velocidad de corte Vs esfuerzo de corte a T= 15°C</i>	43
Tabla 6 <i>Datos de Velocidad de corte Vs esfuerzo de corte a T= 25°C</i>	43
Tabla 7 <i>Datos de Velocidad de corte Vs esfuerzo de corte a T= 35°C</i>	44
Tabla 8 <i>Parámetros del modelo de Herschel- Bulkley</i>	47
Tabla 9 <i>Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo de Herschel- Bulkley</i>	48
Tabla 10 <i>Parámetros del modelo de Casson- Generalizada N°1</i>	50
Tabla 11 <i>Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo Casson- Generalizada N°1</i>	51
Tabla 12 <i>Parámetros del modelo de Ostwald- de Waele Nutting</i>	53
Tabla 13 <i>Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo Ostwald- de Waele Nutting</i>	54
Tabla 14 <i>Parámetros del modelo de Sisko</i>	56
Tabla 15 <i>Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo Sisko</i>	57
Tabla 16 <i>Resumen de coeficientes de determinación de los modelos reológicos</i>	59
Tabla 17 <i>Resumen de las varianzas obtenidos de los modelos reológicos</i>	60
Tabla 18 <i>Datos de para la determinación de la energía de activación</i>	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Perfil de velocidad entre dos placas paralelas	20
Figura 2 Relación de las Variables de la Investigación	35
Figura 3 Etapas de investigación	37
Figura 4 Flujograma de la determinación del comportamiento reológico de la sangre de grado	39
Figura 5 Grafico del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado al látex de la sangre de grado a 15°C	44
Figura 6 Grafico del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado al látex de la sangre de grado a 25°C	45
Figura 7 Grafico del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado al látex de la sangre de grado a 35°C	46
Figura 8 Grafico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Herschel- Bulkley	48
Figura 9 Grafico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Herschel- Bulkley	49
Figura 10 Grafico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Casson- Generalizada N°1	51
Figura 11 Grafico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Casson- Generalizada N°1	52
Figura 12 Grafico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Ostwald- de Waele Nutting	54
Figura 13 Grafico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Ostwald- de Waele Nutting	55

Figura 14 <i>Gráfico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Sisko</i>	57
Figura 15 <i>Gráfico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Sisko</i>	58
Figura 16 <i>Gráfico de cajas para índices de determinación (R²)</i>	59
Figura 17 <i>Gráfico de cajas para la varianza</i>	60
Figura 18 <i>Pendientes para la energía de activación</i>	62

RESÚMEN

La sangre de grado es un líquido viscoso de coloración rojiza con sabor astringente que presenta actividades antimicrobianas, cicatrizante, antiinflamatoria y antiulcerosa. El presente trabajo tiene como objetivo, caracterizar el comportamiento reológico del látex de la sangre de grado en flujo de corte. Para lo cual se utilizaron muestras provenientes del departamento de Cuzco acondicionando las muestras en envases herméticos y a temperatura ambiente. El procedimiento fue de tipo experimental utilizando un reómetro rotacional Rheolab QC del laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao. Las corridas experimentales se realizaron a distintas temperaturas desde 15°C hasta 35°C con ayuda del baño maría. El reómetro cuenta con un software que facilita encontrar los parámetros de distintos modelos dependiendo del tipo de fluido. Se utilizaron varios modelos empíricos de la literatura, a fin de describir el comportamiento reológico de la muestra. Los resultados obtenidos muestran que el látex de la sangre de grado tiene un comportamiento no newtoniano y es de tipo pseudoplastico con un índice de flujo menor a la unidad y que presenta una tensión de umbral. La variación de la viscosidad con la temperatura obedece a la ecuación del tipo Arrhenius con una energía de activación igual a 2,2299J. Finalmente el modelo que mejor representa a los datos experimentales es el de Casson Generalizado N°1 y Herschel- Bulkley que muestra una tensión de umbral de 1.082885.

Palabras claves: Sangre de grado, flujo de corte, fluido no-newtoniano, comportamiento pseudoplastico.

ABSTRACT

The Sangre de Grado is a reddish-colored viscous liquid with an astringent taste that has antimicrobial, healing, anti-inflammatory and anti-ulcer activities. The objective of this work is to characterize the rheological behavior of the latex of the sangre de grado in shear flow. For which samples from the department of Cuzco were used, conditioning the samples in hermetic containers and at room temperature. The procedure was experimental using a Rheolab QC rotational rheometer from the research laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the National University of Callao. The experimental runs were carried out at different temperatures from 15°C to 35°C with the help of a water bath. The rheometer has software that makes it easy to find the parameters of different models depending on the type of fluid. Various empirical models from the literature were used in order to describe the rheological behavior of the sample. The results obtained show that the latex of the sangre de grado has a non-Newtonian behavior and is of the pseudoplastic type with a flow index less than unity and that it presents a threshold tension. The variation of viscosity with temperature obeys the Arrhenius-type equation with an activation energy equal to 2.2299J. Finally, the model that best represents the experimental data is that of Generalized Casson N°1 and Herschel-Bulkley, which shows a threshold voltage of 1.082885.

Keywords: Sangre de Grado, shear flow, non-Newtonian fluid, pseudoplastic behavior.

INTRODUCCIÓN

La Sangre de grado (*Croton lechleri*) también conocida como sangre de draco o sangre de dragón; es un producto de nuestra Amazonía, usado por etnias nativas y difundido en diversas regiones del Perú; que en los últimos años ha incrementado su demanda en el mercado nacional e internacional por las propiedades medicinales atribuidas a su látex, en la cicatrización de heridas, en el tratamiento de afecciones estomacales como úlceras, antioxidante, así como un coadyuvante en el tratamiento de las infecciones intestinales. El látex de sangre de grado (*Croton lechleri*), que se extrae y comercializa actualmente en el Perú, proviene de poblaciones naturales existentes en bosques secundarios de la Amazonía.

Por su creciente importancia económica, es una alternativa interesante para los agricultores producir este látex mediante su instalación en sistemas de producción agroforestal y manejo en los bosques secundarios; por lo que resulta importante conocer la caracterización reológica del látex de la sangre de grado, por tal motivo este trabajo de investigación tiene como objetivo el conocer el comportamiento reológico del látex de la sangre de grado (*Croton lechleri*) en flujo de corte, de esta manera permitirá promover el desarrollo de paquetes tecnológicos que demuestren rentabilidad y sostenibilidad de la especie a escala comercial.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La sangre de Grado (crotón lechleri) es una especie forestal de la amazonia peruana que es conocida debido a la importancia de las propiedades medicinales de su látex, estudios revelan que este látex tiene positividad en el tratamiento de cicatrización de heridas y de afecciones estomacales como úlceras. En los últimos años la producción de este látex ha representado una alternativa económica para los agricultores, sin embargo, muchas formas de extracción, producción y comercialización de este látex son de manera informal; por lo que presenta riesgos, una de las principales causas que ocasionaría el desconocimiento de la afectación de la temperatura durante el almacenamiento del mismo y el comportamiento para el diseño de equipo. Actualmente la producción formal a niveles industriales de este látex representaría una gran alternativa económica, de confiabilidad y de calidad; sin embargo, aún no se ha desarrollado debido a la poca información referida a un modelo reológico que describa el comportamiento del látex; los cuales son necesarios para establecer las condiciones adecuadas para el diseño de procesos de flujo, control de calidad, procesamiento, almacenamiento entre otras. Debido al problema planteado se tiene la necesidad de conocer el comportamiento reológico que describe el látex de la sangre de grado, lo cual brindarán información y soporte en el desarrollo de nuevas tecnologías que aumentarán la rentabilidad y sostenibilidad de esta especie incrementando su demanda en el mercado nacional e internacional.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el comportamiento reológico que presenta el látex de la sangre de grado (crotón lechleri) en flujo de corte?

1.2.2. Problemas específicos

- a- ¿Cómo influye la velocidad en el esfuerzo de corte del látex de sangre de grado?
- b- ¿Cómo influye la temperatura en la viscosidad del látex de la sangre de grado?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Describir el comportamiento reológico del látex de la sangre de grado (crotón lechleri) en flujo de corte.

1.3.2. Objetivos específicos

- a- Determinar la influencia de la velocidad sobre el esfuerzo de corte del látex de la sangre de grado mediante un reograma.
- b- Determinar la influencia de la temperatura en la viscosidad del látex de la sangre de grado.

1.4. Limitantes de la investigación

El presente estudio tiene las siguientes limitantes

Temporal: Por las propiedades del látex de la sangre de grado su extracción está limitado a horas de la noche, debido a que durante las horas del día (mañana o tarde) el clima favorece el secado del látex lo cual no optimiza su extracción. Adicional a ello es recomendable realizar las extracciones de este látex en temporadas de diciembre a mayo que son los meses de mayor producción.

Espacial: El árbol de la sangre de grado de la especie crotón lechleri crece en la selva del Perú (Loreto, Amazonas, San Martín, Huánuco y Cerro de Pasco),

parte de la sierra (Cuzco y Puno); actualmente en Lima se comercializa una gran variedad de este látex; sin embargo, no se cuenta con un análisis que garantice la pertenencia a la especie en estudio y además que tengan la pureza adecuada para el análisis reológico que se requiere.

Teórica: Debido a que la sangre de grado se obtiene de manera rústica y sin un previo análisis de tipo de especies, hasta el momento no se cuenta con fuentes de información suficiente acerca de la caracterización reológica de la sangre de grado *Crotón lechleri*.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Thompson (2020). En su investigación titulada: “Extracción y caracterización reológica y funcional del hidrocoloide de las semillas del chan (*Hyptis suaveolens*)”. El autor determinó el comportamiento reológico de las semillas del chan en función de la concentración, temperatura, pH y presencia de solutos. Concluyendo que en concentraciones de rango de 0,2-2,0 % de las semillas del chan presentaron un comportamiento reológico no newtoniano de tipo pseudoplástico, descrito por los modelos Ostwald-de Waele y Herschel-Bulkley. Así mismo se concluyó que la viscosidad aparente disminuyó al aumentar la temperatura, comportamiento que obedece al modelo de Arrhenius.

Torres et al. (2009). En su investigación titulada: “Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero (*Achras sapota* L.)” Los autores determinaron el efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de níspero en un rango de 10°C a 70°C. La pulpa se obtuvo de la planta piloto de frutas y hortalizas de la Universidad de Córdoba (Colombia). El estudio demostró que el comportamiento de la pulpa es descrito por el modelo de la ley de potencia teniendo un comportamiento pseudoplástico, sin presencia de tixotropía y que la temperatura no influyó significativamente en el índice de comportamiento al flujo (n), pero sí sobre el índice de consistencia (k).

Marqués et al. (2015). En su investigación titulada “Viscosidad aparente de la pulpa de mirta entera a diferentes temperaturas” Los autores determinaron el comportamiento reológico teniendo como parámetros la influencia de la temperatura en la viscosidad aparente de la pulpa de mirta. Para ello realizaron los análisis en un viscosímetro Brookfield. Concluyeron que las curvas de viscosidad aparente frente a la velocidad de deformación se describieron mediante modelos reológicos de Sisko, Power Law y Falguera-Ibarz clasificándolo como un fluido no newtoniano y pseudoplástico.

Ortega et al. (2015). En su investigación titulada “Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad *Tommy Atkins*” Los autores de acuerdo con los resultados en su investigación, determinaron que la pulpa de mango se comporta como un fluido no Newtoniano pseudoplástico sin tixotropía y los datos experimentales fueron ajustados adecuadamente por el modelo de Ostwald de Waele y la viscosidad aparente disminuyó con el incremento de la temperatura y aumentó con el incremento de la concentración.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Córdova (2018) En su investigación titulado: “Caracterización Físico - Química y comportamiento reológico del zumo de Naranja de Quito (*Solanum Quitoense*)”. El autor determino el comportamiento reológico del zumo de naranja de Quito variando la concentración para ello se utilizaron siete muestras que fueron llevadas a lectura por el reómetro rheolabQC concluyendo que el comportamiento del zumo de naranja de Quito tiene la tendencia a los modelos plásticos y pseudoplásticos tales como Bingham, Ostwald y Herschel-Bulkey.

Mendoza (2019) En su investigación titulada "Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico de la pulpa de mango (*Carica Candicans Gray*)" El autor determino el comportamiento reológico de la pulpa de mango a diferentes concentraciones, diluciones y temperaturas en agua y sacarosa. Las concentraciones de pulpa de mango fueron al 15 %, 25 % y 30 % con adición de soluto (sacarosa), y diluciones de 9 %, 6 % y 3 % (p/p) con mezcla de solvente (agua destilada), además se varió la temperatura entre los rangos de 5°C a 25°C. Las lecturas reológicas se trabajaron con un equipo viscosímetro Brookfield, concluyendo que el fluido tiene un comportamiento pseudoplástico ajustándose a los modelos de Ostwald y Herschel Bulkley.

Tinoco (2016) En su investigación titulada "Efecto de la temperatura y concentración en el perfil reológico de la pulpa de melón (*Cucumis melo*)" El autor determino el comportamiento reológico de la pulpa de melón trabajando a 4 concentraciones de 6,4°Brix, 10°Brix, 20°Brix y 30°Brix y variando la temperatura a 20°C, 30°C, 40°C y 50°C. Las lecturas reológicas se obtuvieron utilizando un viscosímetro rotacional Brookfield concluyendo que el índice de consistencia disminuyo con la temperatura y aumento con la concentración presentando un comportamiento de flujo no newtoniano pseudoplástico ajustándose al modelo de Ostwald De Waele.

Aguilar (2017) En su investigación titulada "Modelo matemático de flujo no newtoniano que caracterizan muestras de shampoo para cabello" el autor determino el comportamiento reológico de las muestras de shampoo Sedal a 40°C y Geomen a 30°C y 40 °C, las pruebas experimentales se realizaron con el equipo RheolabQC y para el tratamiento estadístico se trabajó con la velocidad y el esfuerzo de corte analizando la varianza e índice de correlación; concluyendo que estas muestras se ajustan a modelos reológicos no newtonianos pseudoplasticos representadas adecuadamente las ecuaciones matemáticas de Bellet N°1, Casson-Generalizada N°1, Casson Generalizado N°2, Ostwald de Waele Nutting, Powell-Eyring Williamson y Sisko.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Historia de la Reología

El primero en mencionar de reología fue Robert Hooke en 1676 en su libro "Verdadera teoría de la elasticidad". Esta teoría se resumía en: "Si se dobla la tensión (σ), se dobla la deformación (γ)", por tanto, la deformación es proporcional a la tensión. El sólido recupera su forma original reversiblemente y esto esta matemáticamente señalado en la ecuación 1.

$$\sigma = G * \gamma \quad (1)$$

Isaac Newton, nueve años después, publicó en "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" una hipótesis asociada al estado de cizalla simple (corte): definió

el líquido viscoso (luego llamado fluido newtoniano), enunciando que la resistencia producida como resultado de la falta de deslizamiento, entre las partes de un líquido, es proporcional a la velocidad con que dichas partes se dividen entre sí. Esto quiere decir que la energía suministrada al sistema se disipa en forma de calor, no retornando su forma original. Al duplicar la tensión (σ), se duplica el gradiente de velocidad $\left(\frac{du_x}{dy}\right)$ matemáticamente señalado en la ecuación 2. Nace el término viscoelasticidad.

$$\sigma_{yx} = \mu \left(\frac{du_x}{dy}\right) \quad (2)$$

En 1835, Weber experimento con hilos de seda y comprendió la existencia de un comportamiento intermedio que no describía la Ley de Hooke, ni las definiciones de Newton. Una carga longitudinal producía una extensión inmediata, seguido de un posterior alargamiento a medida que pasaba el tiempo.

Maxwell en 1867, en su artículo “sobre la teoría dinámica de los gases” planteo un modelo en el que se describía el comportamiento de fluidos con comportamiento elásticas, es decir elementos que estén asociados a la respuesta de un sólido, descrito matemáticamente en la ecuación 3.

$$\sigma = \beta * \gamma \quad (3)$$

Donde β es el parámetro no nulo, semejante al módulo de rigidez.

Albert Einstein en 1906, en su tesis doctoral sobre dinámica de suspensiones, valido que una suspensión diluida de partículas esféricas tiene una mayor viscosidad que la de un líquido como el agua.

A principios del S. XX aparecen los modelos de Bingham (1922) y Herscheld-Bulkley (1926) que asumen que propiedades como el modelo de rigidez o la viscosidad pueden variar con el esfuerzo aplicado. (Campo, 2018)

En 1945, Reiner concluyo que las sustancias reales presentan comportamiento elástico, viscoso o una combinación de ambos, dependiendo del esfuerzo aplicado y de su duración, todo fluye si se espera el tiempo necesario, es así

como se habla de tixotropía y reopexia. Además, Reiner definió el Número de Débora (D_e) como:

$$D_e = \frac{t}{T} \quad (4)$$

Donde t es el tiempo característico del material y T el tiempo del proceso de deformación. (Amaranto y López, 2016)

A mediados del siglo XX, Sisko (1958), Cross (1965), Carreau (1972), elaboran modelos que requieren de cuatro parámetros y que describen la curva de flujo en general, en un rango amplio de velocidades de deformación.

El inicio de la Reología estuvo relacionado al avance de la industria de los polímeros, así como en la cooperación del National Bureau of Standards (Washington) y de American Institute of Physics. (Campo, 2018)

2.2.2. Reología

La Reología proviene de dos vocablos griegos: Rheos que quiere decir movimiento y logia el cual está asociado al tratado de la ciencia, entonces la reología se define como el estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos (Alvarado,1996).

Se atribuye el uso de la palabra reología al profesor Crawford, quien la utilizó para definir a la ciencia del flujo. En la actualidad se acepta que la Reología es la ciencia dedicada al estudio de la deformación y el flujo; su desarrollo, en especial durante los últimos años, es notorio. (Alvarado, 2013)

En 1929, el profesor Eugene Bingham, de la Universidad de Lehigh, acuñó el término Reología, con el fin de designar de una forma más precisa la mecánica de los cuerpos deformables, restringida hasta entonces a la elasticidad clásica y la mecánica de fluidos, definiéndola como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia. Esta definición fue aceptada cuando se fundó la Sociedad Americana de Reología (ASR) en 1929. (Campo, 2018)

La reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los materiales sometidos a fuerzas externas. En concreto, analiza la relación existente entre variables de esfuerzo (σ), deformación producida (γ), gradiente de velocidad o velocidad de corte ($d\gamma/dt = \dot{\gamma}$) y tiempo (t). Dependiendo de cómo sea esta relación, los materiales presentan comportamientos reológicos diferentes. (Maestro, 2002)

2.2.3. Clasificación de fluidos

Los fluidos se clasifican como:

- a) Fluidos Newtonianos
- b) Fluidos no Newtonianos
- c) Fluidos viscoelásticos

A) Fluidos Newtonianos

Un fluido newtoniano llamado de otra forma fluido verdadero, tiene la característica que, sometido a un esfuerzo tangencial o cortante, se deforma con una velocidad directamente proporcional al esfuerzo que se aplica.

Esto quiere decir que, si se aplica un esfuerzo tangencial a un fluido newtoniano, se pondrá en movimiento sin importar cuan mínimo sea el esfuerzo tangencial y se generará una distribución de velocidad en el fluido. Este esfuerzo tangencial y el gradiente de velocidad que se produce serán directamente proporcionales, cuya constante de proporcionalidad se define como la viscosidad.

Esta relación cumple con la ley de viscosidad de Newton, dado por:

$$\tau = \sigma = \mu * \frac{du}{dt} = \mu * \dot{\gamma} \quad (5)$$

Donde:

τ : Esfuerzo Cortante (mPa)

μ : Viscosidad dinámica del Fluido (mPa·s)

du/dt : La velocidad de deformación del fluido (s^{-1}) = γ

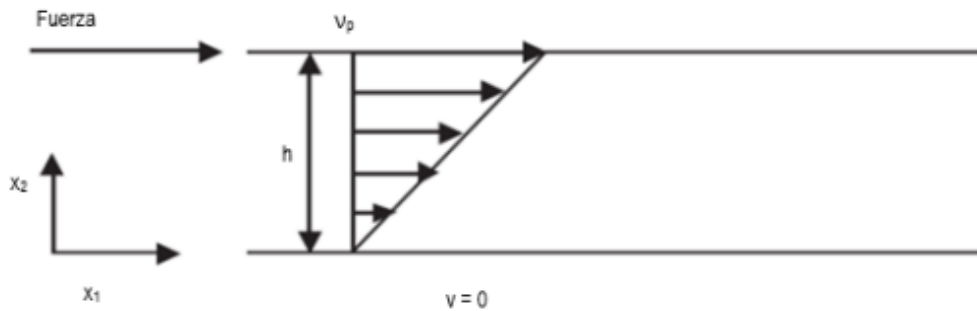
Todos los gases y varios líquidos sencillos, como: el agua, leche, entre otros, cumplen esta ley (Betancourt, 2003).

Se debe considerar que la viscosidad de un fluido newtoniano no depende del tiempo de la aplicación del esfuerzo, pero puede depender de la temperatura como la presión en la que se encuentra.

El comportamiento de un fluido newtoniano se visualiza en la figura 1, en la que un fluido está inmerso entre dos platos paralelos. El plato superior es obligado a desplazarse con una velocidad v , relativa al plato inferior. Esta velocidad es resultado de la aplicación de una fuerza cortante F por unidad de área (se considera que los platos son de extensión infinita). Las capas del fluido en contacto con los platos se considera que se mueven a la misma velocidad que la superficie con la que están en contacto, lo que supone que no tiene lugar deslizamiento en las paredes. Entonces el fluido se comporta como una serie de capas paralelas cuyas velocidades son proporcionales a su distancia al plato inferior. Así, para un fluido newtoniano, el esfuerzo de cizalla es directamente proporcional a la velocidad de cambio de la velocidad con la distancia, es decir al gradiente de velocidad. (Ibarz, 2005)

Figura 1

Perfil de velocidad entre dos placas paralelas



Fuente: Ocampo (2018)

B) Fluidos no Newtonianos

En el caso que no se cumpla la ley de viscosidad de Newton, se menciona que el fluido es no newtoniano. Casos extremos sería lo de un comportamiento hookeano puro (correspondiente a materiales idealmente elásticos) y los de un comportamiento puro newtoniano (materiales idealmente viscosos). Las otras categorías o comportamientos están en partes intermedias, esto debido a que en realidad la mayoría de los fluidos presentan ambos comportamientos.

En los fluidos no newtonianos, la temperatura es de gran importancia, ya que a menudo mínimos cambios en la temperatura pueden hacer variar notablemente el comportamiento reológico de un fluido de este tipo.

Un punto primordial, es que en los fluidos no newtonianos no puede hablarse de viscosidad, por dos causas (Carrasco, 2011):

En general, la consistencia (concepto análogo al de la viscosidad, y que relaciona el esfuerzo de corte con la tasa de deformación), depende de la presión tangencial y, por lo tanto, no es constante, si no que puede variar entre amplios límites, en oposición a la viscosidad, que siempre es constante a una temperatura dada.

Por otra parte, la consistencia tiene unas dimensiones diferentes de la viscosidad, ya que no cumple $\mu = \frac{\tau}{\gamma}$ para fluidos newtonianos.

Debido a esto los fluidos newtonianos se caracterizan por sus reogramas, que son las representaciones gráficas de sus comportamientos, o bien de sus parámetros reológicos, que son las constantes de las ecuaciones que definen ese comportamiento reológico. Tanto los reogramas como los parámetros reológicos se obtienen a partir de datos experimentales.

Por ejemplo, el agua es considerada como fluido newtoniano, aunque tiene cierto grado de elasticidad en ciertas condiciones, por ejemplo, cuando un material impacta contra el agua.

Un método usado actualmente, consiste en conocer previamente el tipo de fluido que se tiene, en base a la clasificación dada anteriormente y luego se procede a usar la técnica estadística de regresión no lineal que permite obtener los parámetros del modelo planteado. Validar dichos parámetros a través de los índices de determinación; si este es muy cercano a la unidad, entonces el modelo propuesto corresponderá al fluido no newtoniano en cuestión (Carrasco, 2011).

Una primera clasificación de los fluidos no newtonianos los divide en tres categorías:

Comportamiento independiente del tiempo.

Comportamiento dependiente del tiempo.

Viscoelásticos.

Fluidos independientes del tiempo: Estos fluidos se clasifican dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral (tensión o esfuerzo de fluencia, τ), esto quiere decir, si requieren un mínimo valor de esfuerzo cortante para que se pongan en movimiento. El esfuerzo de corte depende únicamente de la velocidad de corte.

Analíticamente la dependencia del esfuerzo en función del gradiente de velocidades adopta la forma:

$$\tau = A + B * \left(\frac{dv}{dy}\right)^n \quad (6)$$

De acuerdo con la expresión anterior podemos hacer la siguiente clasificación de fluidos viscosos:

Fluidos sin esfuerzo umbral

Pseudo-plásticos $A=0$, $n<1$ La viscosidad aparente disminuye al aumentar el esfuerzo. Este comportamiento se ven en las disoluciones de macromoléculas y suspensiones diluidas o moderadamente concentradas (barro, leche, sangre). La viscosidad disminuye debido a que las macromoléculas y las partículas en suspensión se alinean con el esfuerzo.

Dilatantes $A=0$, $n>1$ La viscosidad aparente aumenta al incrementar el esfuerzo. Por lo general, tienen este comportamiento las suspensiones concentradas (disoluciones concentradas de almidón y arena mojada). En este tipo el líquido actúa como lubricando el paso de una partícula sólida sobre otra. Sin embargo, si el esfuerzo crece se pierde la propiedad lubricante y la viscosidad aumenta.

Fluidos con esfuerzo umbral

Tienen esta característica los fluidos que se comportan como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante pequeño (esfuerzo umbral), luego, a partir de dicho valor, se comporta como un líquido.

Plásticos $A \neq 0$. El esfuerzo alcanza un cierto valor para que fluyan. (Ejemplo: pasta de dientes)

Plástico de Bingham caso particular de plástico para el que $n = 1$ (Ejemplo: pinturas).

Fluidos Dependientes del Tiempo: Se clasifican en dos tipos: los fluidos tixotrópicos, en los que su viscosidad disminuye al incrementar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, recuperando su estado inicial luego de su

reposo prolongado; y los fluidos reopecticos, en los cuales su viscosidad crece con el tiempo de aplicación de la fuerza y vuelven a su estado anterior tras un tiempo de reposo.

Fluidos Tixotrópicos: Presentan un cambio en su estructura interna al aplicar un esfuerzo, lo que produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas. Dichos fluidos, una vez aplicado un esfuerzo de corte o cizallamiento, pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo.

La viscosidad va decreciendo al aplicar una fuerza y luego vuelve a crecer al finalizar dicha fuerza debido a la reestructuración de su forma original y al retraso que se produce para adaptarse al cambio.

Algunas otras sustancias que exhiben este comportamiento son las suspensiones concentradas, las soluciones de proteínas y ciertos alimentos.

Fluidos reopecticos: se caracterizan por tener un comportamiento inverso a los tixotrópicos, es decir, su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada. Esto se debe a que, al aplicar una fuerza, se forman enlaces intermoleculares, que conllevan a un aumento de viscosidad; mientras que, si cesa esta fuerza, se produce una destrucción de los enlaces dando lugar a una disminución de la viscosidad. Existen pocos fluidos de este tipo como una mezcla de yeso con agua, la arcilla bentonítica en agua, etc.

C) Fluidos Viscoelásticos

Son aquellos fluidos que cumplen tanto la ley de Hooke como la ley de viscosidades de Newton.

Estos fluidos se caracterizan por presentar a la vez tanto propiedades elásticas como propiedades viscosas. Esta mezcla de propiedades puede deberse a la existencia en el líquido de moléculas muy largas y flexibles, o también a la presencia de partículas líquidas o sólidos dispersos.

Una característica importante de este tipo de fluido es que pueden recuperar parte de la deformación al ser retirado el esfuerzo aplicado cuando se presentan deformaciones durante el flujo.

Un ejemplo típico de este fluido es la nata de leche, la gelatina y el helado.

2.2.4. Modelos empíricos de fluidos No Newtonianos

Tanto en los modelos teóricos como en los modelos experimentales (tabla 1), hay una relación explícita o implícita entre el esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$)

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy} = -\frac{dV_x}{dy} \quad (8)$$

Modelos reológicos

- Modelo de Eyring

$$\tau = A \operatorname{arcsenh} \left(\frac{1}{B} \frac{du}{dy} \right) \quad (9)$$

- Modelo de Powell-Eyring

$$\tau = C \frac{du}{dy} + A \operatorname{arcsenh} \left(\frac{1}{B} \frac{du}{dy} \right) \quad (10)$$

- Modelo Suteterby

$$\tau = M_0 \left[\frac{\operatorname{arcsenh} \left(N \frac{du}{dy} \right)}{N \frac{du}{dy}} \right]^p \frac{du}{dy} \quad (11)$$

- Modelo de Prandtl

$$\tau = A \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{1}{C} \frac{du}{dy} \right) \quad (12)$$

- Modelo de Newton

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \quad (13)$$

- Modelo de Bingham

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \quad (14)$$

- Modelo de Casson original

$$\tau^{1/2} = \tau_o^{1/2} + \mu_c \left(\frac{du}{dy} \right)^{1/2} \quad (15)$$

- Modelo de Casson generalizado N°1

$$\tau^{1/n} = \tau_o^{1/n} + \mu_c \left(\frac{du}{dy} \right)^{1/m} \quad (16)$$

$$n > 2, m > 1$$

- Modelo de Casson generalizado N°2

$$\tau^{2/n} = \tau_o^{2/n} + \mu_c \left(\frac{du}{dy} \right)^{1/m} \quad (17)$$

$$n > 2, m > 1$$

- Modelo de Casson generalizado N°3

$$\tau^{1/2} = \tau_o^{1/2} + \mu_c \left(\frac{\mu_{ap}}{\mu_{ap0}} \cdot \frac{du}{dy} \right)^{1/2} \quad (18)$$

μ_{ap} : fase continua

μ_{ap0} : fase extrapolada

- Modelo de Sisko

$$\tau = A \frac{du}{dy} + B \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (19)$$

- Modelo de Briant

$$\tau = \mu_{\infty} \left[1 + \frac{\tau_0}{N \mu_{\infty}} \frac{du}{dy} \right] \frac{du}{dy} \quad (20)$$

- Herschel-Bulkey N°1

$$\tau = \tau_0 + \mu \left(\frac{du}{dy} \right)^{1/m} \quad (21)$$

- Herschel-Bulkey N°2

$$\tau = \tau_0 + \frac{\mu(du/dy)}{1 + c(\tau - \tau_0)^n} \quad (22)$$

- Herschel-Bulkey generalizado

$$\tau^{n1} = \tau_0^{n1} + k \left(\frac{du}{dy} \right)^{n2} \quad (23)$$

- Ostwald de Waele- Nutting

$$\tau = k \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (24)$$

- Ellis de Haven

$$\tau = \tau_0 + \frac{\mu_0}{1 + c\tau^{n-1}} \cdot \frac{du}{dy} \quad (25)$$

2.2.5. Sangre de Grado

La Sangre de Grado es el nombre que recibe el látex extraído al rasgar la corteza de algunas especies vegetales. Este es un líquido viscoso que tiene un color rojo sangre de sabor astringente (Risco, 2001)

El género más característico de clases productoras de la Sangre de Grado es *Crotón* (Euphorbiaceae), y la especie más utilizada y estudiada es *C. lechleri* Muell-Arg. Adicionalmente, existen otras especies que son también fuente de sangre de grado, estas son: *C. palanostigma* Klotsch, *C. draconoides* Muell-Arg., *C. erythrochilus* Muell-Arg., *C. draco* Cham. & Schlltdl, *C. magdalenensis* Muell-Arg. *C. equinocarpus* Muell-Arg., *C. gossypiifolius* var. *hibiscifolius*, *C. urucurana* Baill., *C. methodorus* Bentham, *C. riviniaefolius* H.B.K, *C. xalapensis* H.B.K, etc. (Cerón,1993)

Los grupos vegetales distinguidos como sangre de drago o grado, se reparten en América tropical y subtropical desde el sur de México y América Central hasta países tropicales y subtropicales de América del Sur. *Crotón lechleri* es nativo de Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, y en varios países se cultiva para la producción del látex.

2.2.6. *Crotón lechleri* Müll. Arg.

Nombre Científico

La descripción fue realizada por Johannes Müller y publicada en *Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis*, determinando el nombre científico de la especie como *Croton lechleri* Müll. Arg. (Panduro, 2006)

Taxonomía

La Sangre de grado es uno de los árboles que se sustenta con el interés de estudio por mostrar una apariencia singular y tener diversas características y propiedades, el *Crotón* pertenece a la familia Euforbiáceas y tiene aproximadamente 1.300 especies distribuidos en zonas tropicales.

Del género *Crotón*, la especie más común de la que se obtiene este látex de la corteza del árbol, se denomina *lechleri*, se distingue en toda Sudamérica con

múltiples nombres como sangre de drago, sangre de grado, palo de drago, balsa macho, entre otros.

División: MAGNOLIOPHYTA

Clase: MAGNOLIOPSIDA

Sub clase: ROSIDAE

Orden: EUPHORBIALES

Familia: EUFORBIACEAE

Género: Croton

Especie: Croton lechleri. Müll. Arg.

Nombres comunes en algunos países: “Sangre de grado” ó “Sangre de drago” (Perú, Ecuador, Colombia y Bolivia), Sangre de dragão (Brasil), Blood (USA) y balsa macho (Ecuador).

Descripción botánica

Árbol: El Crotón lechleri Müll. Arg. es un árbol que tiene aproximadamente una altura que varía entre los 10-20 metros, tiene copas globosas con ramas enlazadas hacia los laterales y con tendencia a separarse. El árbol adecuado para la cosecha del látex es la que debe medir más de 18 metros y un diámetro con 0.5 metros (Risco, 2005).

Raíz: La raíz es de forma cónica; teniendo en cuenta que la raíz principal es más avanzada que la raíz secundaria, tiene un peridermis constituido por súber o corcho (Arbildo,2014).

Corteza: La corteza posee una coloración gris claro, algunas veces plateado con lenticelas bien visibles en arboles más jóvenes; cuando adultos este se torna pardo y se agrieta (Gupta, 2008).

Látex: El látex incluye proantocianinas, que es el principal metabolito que le da la coloración rojiza. Este látex, es una sustancia líquida levemente densa y de gran viscosidad (Arbildo,2014).

Hojas: Las hojas miden de 12 a 20 cm de largo y de 5 a 14 cm de ancho, con doble glándulas en la base, propia de la especie. Al estrujar las hojas ofrecen una fragancia intensa y penetrante. Las hojas maduras cambian a color ladrillo y amarillento y luego se desprenden (Artemio, 2018).

Inflorescencia

Este se encuentra en forma de racimos y con flores de color ámbar con varios estambres.

Fruto

El fruto es de forma capsular, con medidas de 4.5 mm de ancho por 3 mm de largo.

Semillas

Los meses donde germinan las semillas de los árboles de *Croton lechleri* Müll. Arg. son en Enero y Febrero en la selva alta y en la selva baja, en Agosto y Setiembre, después de 15 o 20 días la semilla germina siendo apta para una trasplantación (Panduro, 2016)

Distribución geográfica

La familia de la Euforbiácea crece en los trópicos húmedos, así como en las zonas templadas de los hemisferios sur y norte, cuenta con más de 250 géneros y 7500 especies, de este grupo, en el Perú sobresale el género *Crotón* con 51 especies, de las cuales 6 producen látex conocidos como “Sangre de Grado”; este látex es utilizado en la medicina tradicional, principalmente para el tratamiento de hemorragias y en la cicatrización de heridas. (Arbildo, 2014)

Las diferentes especies de la sangre de grado en el Perú son detalladas en la tabla 1.

Tabla 1

Especies de sangre de grado reportadas en el Perú

Especie	Macbride (1964)
C. draconoides M.Arg	Selva Peruana
C. erythrochilus M.Arg.	Tumbes, Huánuco, Pozuso, Cuzco.
C. lechleri M.Arg	Tarapoto, Huánuco, Yurimaguas, Quillabamba, San Gabán, Pongo de Manseriche.
C. perpeciosus Croizat	San Martín, Ayacucho, Cuzco, Pazco.
C. palanostigma Klotzsch.In Hook.	Tarapoto, Morona cocha, Misuyacu, Rio Nanay.
C. sampatik M.Arg.	Chicoplaya, La Merced

Fuente: Arbildo y Pérez (2014)

La sangre de grado habita en los bosques primarios de la Amazonia continental, siendo los principales países: Brasil, Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú; pero también en áreas disturbadas, en la ribera de los ríos, que han cambiado de curso y en áreas deforestados donde las semillas experimentan un rápido crecimiento, encontrándose de esta forma, también, en bosques secundarios.

En Perú crece en la selva alta y selva baja siendo de mayor profusión en Selva baja. En Loreto existen plantaciones, haciendo uso de métodos agroforestales en ciudades como: San Pablo de Cuyana (Bajo Nanay), Mazan (Amazonas), cuencas del río Napo (Alto Curaray) y en el distrito de Calleria (Pucallpa).

Actividades farmacológicas

Entre las principales actividades farmacológicas, tenemos las siguientes:

- ✓ **Actividad antimicrobiana:** Numerosas investigaciones sustentan la acción antiviral y antibacteriana de la sangre de grado, el látex de *Crotón lechleri* posee actividad antimicrobiana por la presencia de polifenoles, poliacetilenos, flavonoles, terpenoides, esteroides, alcaloides, propóleos

ácido clorequínico, las coberinas A y B y el 1,3,5 trimetoxibenceno potentes frente a *Bacillus subtilis*. (Altamirano, 2015).

También podemos indicar que la sangre de grado presenta actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram-positivas, como *S. aureus* ATCC 6538 (Carrión, 2010).

- ✓ **Actividad cicatrizante y antiulcerosa:** La sangre de grado ayuda a regenerar la piel estimulando la contracción de la herida, permitiendo la cicatrización de la misma. Los principios activos que participan en este proceso son la taspina y los polifenoles (catequina y proantocianina). El mecanismo de acción de la taspina se relaciona con la estimulación de la quimiotaxis de fibroblastos, actuando al inicio del proceso de cicatrización, demostrado en estudios in vivo con ratones de experimentación, durante las primeras 60 horas. El lignano (3'- 4-O dimetilcedrusina), también interviene en la cicatrización y los polifenoles por la acción secuestradora de radicales libres que estimulan la contracción de la herida (Risco, 2005). La acción antibacteriana de los polifenoles contribuye al proceso de cicatrización, por permitir la precipitación de las proteínas de las células, formando la costra. Respecto de su acción antiulcerosa, sostiene que el látex *Croton lechleri* Müll. Arg. facilita la curación de úlcera gástrica, al reducir el tamaño de la misma. Esta acción se le atribuye también al alcaloide taspina, puesto que demostró reducir úlceras gástricas agudas, aumentando el espesor y consistencia de la mucosa gástrica, en estudios en ratas inducidas con Indometacina (Risco,2001).

- ✓ **Actividad antiinflamatoria:** El alcaloide taspina también posee actividad antiinflamatoria, demostrado en tres estudios experimentales in vivo con ratas, presentado en 3 modelos farmacológicos: El primer modelo fue el edema inducido por carragenina, el segundo modelo, el alcaloide inhibió el proceso inflamatorio, el tercer modelo de artritis inducida por un coadyuvante. Por otro lado, estas propiedades no solo se le atribuyen a la taspina, sino también a látex crudo en su conjunto que siendo

administrado en dosis superiores a 25 mg/Kg inhiben el proceso de inflamación al 1% (Risco, 2005).

2.3. Conceptual

Comportamiento reológico: Caracterización reológica de un material consistente en encontrar la relación en forma de ley matemática, que existe entre el esfuerzo aplicado y la respuesta dinámica resultante en forma de deformación o velocidad de deformación.

Temperatura y velocidad de corte: Factores que alteran el comportamiento reológico.

Látex de la sangre: La Sangre de Grado es la denominación que recibe el látex extraído al rasgar la corteza de algunas especies vegetales tropicales. Es un líquido viscoso de coloración rojo sangre con sabor astringente.

Reología: estudia los fenómenos de deformación y/o flujos producidos en un cuerpo al ser sometido a un determinado esfuerzo, en los alimentos el comportamiento reológico define la consistencia, esta característica está definida por dos componentes: la viscosidad y la elasticidad además de esto se debe tomar en cuenta la relación entre la velocidad de corte originada y el esfuerzo de corte. En diversos estudios acerca del comportamiento del flujo de la pasta de tomate se ha determinado que el comportamiento es de un fluido no Newtoniano para esto se ha tomado en cuenta modelos matemáticos como por ejemplo el de la ley de Potencia, Casson, Herschel – Bulkey, Ostwald de Waele, etc.

2.4. Definición de términos básicos

Viscosidad: La viscosidad es una propiedad física característica de todos los fluidos, el cual emerge de las colisiones entre las partículas del fluido que se mueven a diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento.

Fuerza Tangencial: es la componente de la fuerza neta en la dirección tangencial que comunica en la partícula una aceleración tangencial y determina que la velocidad cambie de modulo.

Deformación: La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos externos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o a la ocurrencia de dilatación térmica.

Fluido: Un fluido es un conjunto de partículas que se mantienen unidas entre sí por fuerzas cohesivas débiles y las paredes de un recipiente; el término engloba a los líquidos y los gases.

Esfuerzo de corte: El esfuerzo cortante, de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.

Elasticidad: se designa a la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

Plasticidad: La plasticidad es un comportamiento mecánico característico de ciertos materiales anelásticos consistente en la capacidad de deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico

Propiedades mecánicas: son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido al aplicarle fuerzas de tracción, compresión y torsión.

Fluidos newtonianos: Un fluido newtoniano es un fluido cuya viscosidad puede considerarse constante.

Velocidad de corte: La velocidad de corte es una función tanto del material de pieza de trabajo y material de la herramienta. En general, la velocidad de corte se tabula como una función de la dureza del material.

Presión: es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie.

Reogramas: El reograma es un gráfico o diagrama que representa un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales simultáneas.

Exudado: Consideramos como exudados las mezclas complejas de origen vegetal con consistencia sólida o semisólida tales como resinas, oleorresinas, bálsamos y gomas. La proporción de sus constituyentes puede variar con el clima, la estación del año y otros factores.

Euphorbiaceae: es una familia cosmopolita muy difundida y diversificada en la zona tropical con 300 géneros y alrededor de 7.500 especies, la mayoría de ellas matas y hierbas, aunque también, en especial en los trópicos, árboles y arbustos; monoicas o dioicas, típicamente con látex.

Crotón: es un género de la familia Euphorbiaceae de distribución pantropical. Comprende 2053 especies descritas y de estas, solo 1195 aceptadas.

Flores pistiladas: Una flor pistilada es aquel que contiene las partes reproductivas femeninas, es decir, los pistilos, pero no hay partes masculinas.

Peridermis: la peridermis o tejido peridérmico es el revestimiento del cuerpo vegetativo secundario de la planta, que sustituye en su función a la epidermis.

Lenticelas: son estructuras que aseguran la entrada de oxígeno, el intercambio gaseoso entre los tejidos internos y el exterior.

Incisiones: corte practicado en un cuerpo o superficie con un objeto agudo.

Inflorescencia: Disposición que toman y orden en que aparecen y se desarrollan las flores en una planta cuyos brotes florales se ramifican.

Endosperma: es el tejido nutricional formado en el saco embrionario de las plantas con semilla; es triploide (con tres juegos de cromosomas) y puede ser usado como fuente de nutrientes por el embrión durante la germinación.

Oleaginoso: Que tiene la textura u otra característica propia del aceite.

Bacterias Gram-positivas: se denominan bacterias Gram-positivas, aquellas bacterias que se tiñen de azul oscuro o violeta por la tinción de Gram. Esta característica química está íntimamente ligada a la estructura de la envoltura celular, por lo que refleja un tipo natural de organización bacteriana.

Fibroblastos: es un tipo de célula residente del tejido conectivo propiamente dicho, ya que nace y muere ahí.

Quimiotaxis: es un tipo de fenómeno en el cual las bacterias y otras células de organismos uni o pluricelulares dirigen sus movimientos de acuerdo con la concentración de ciertas sustancias químicas en su medio ambiente.

Mucosa gástrica: La mucosa estomacal, o mucosa gástrica, es una capa que reviste las paredes internas del estómago.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general y específicas

3.1.1. Hipótesis General

El comportamiento reológico del látex de la sangre de grado en flujo de corte se ajusta a un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico.

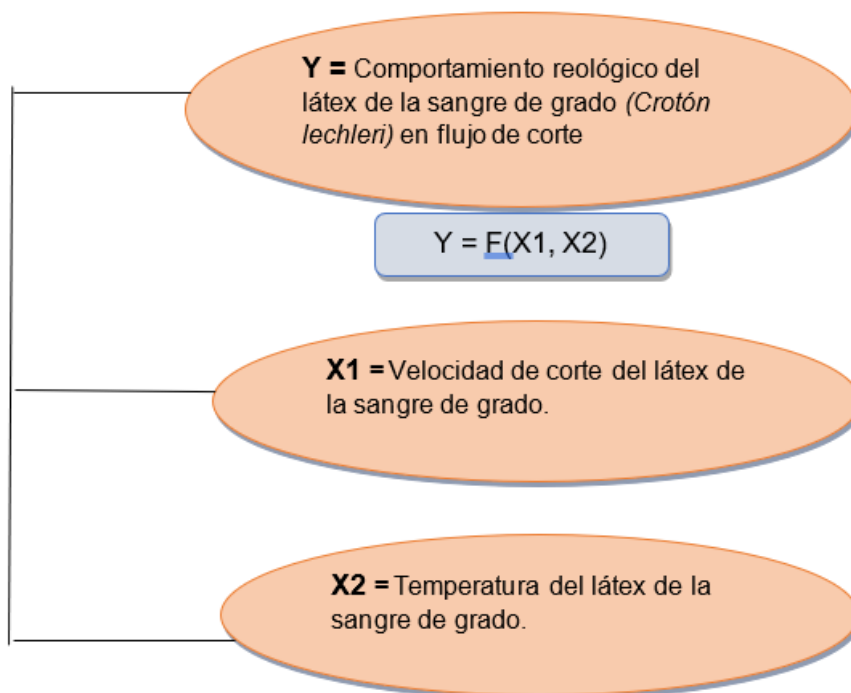
3.1.2. Hipótesis Específicas

- a- La velocidad y el esfuerzo de corte del látex de la sangre de grado tienen una relación directa y no lineal.
- b- A medida que aumenta la temperatura del látex de la sangre de grado la viscosidad disminuye.

3.2. Definición conceptual de las variables

Figura 2

Relación de las Variables de la Investigación



3.2.1. Operacionalización de variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	MÉTODO
DEPENDIENTE				
Y= Comportamiento reológico del látex de la sangre de grado (<i>croton lechleri</i>) en flujo de corte.	Reogramas.	Tensión de corte Correlación de los reogramas	Pa.	Reometrico
INDEPENDIENTES				
X1= Velocidad de corte del látex de la sangre de grado	Velocidad de corte	Lecturas del reómetro	s ⁻¹	Experimental
X2= Temperatura del látex de la sangre de grado	Temperatura	Lecturas del termómetro	°C	Experimental

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo:

Aplicada: Debido a que está orientada a determinar los medios por los cuales se puede cubrir una necesidad reconocida y específica. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC, 2020).

Cuantitativo: Debido a que los datos de la investigación son susceptibles de cuantificar (Ríos, 2017).

Experimental: Debido a que se requiere del análisis y manipulación de las variables en el reómetro (Hernández et al., 2014).

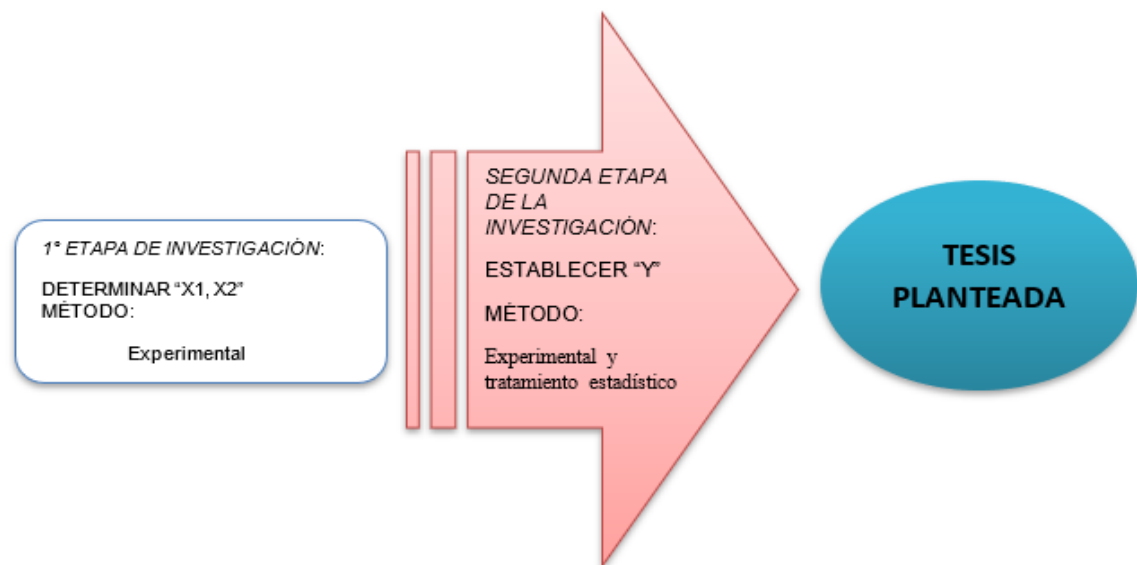
4.2. Método de la investigación

El trabajo de investigación se desarrollará en 2 etapas, partiendo por la identificación de la variables dependientes (x_1, x_2) para obtener como resultado la variable principal (Y).

El esquema de las etapas de investigación se muestra en la figura 3

Figura 3

Etapas de investigación



Primera etapa de la investigación

Una vez obtenido el látex de la sangre de grado se procederá a llevarlo al reómetro variando las temperaturas entre 15°C, 25°C y 35°C; con el objetivo de obtener los valores de las velocidades y esfuerzo de corte de acuerdo a cada temperatura. Las corridas en el reómetro se dieron por triplicado, teniendo en cuenta el siguiente cuadro:

Tabla 3

Cuadro de diseño Experimental

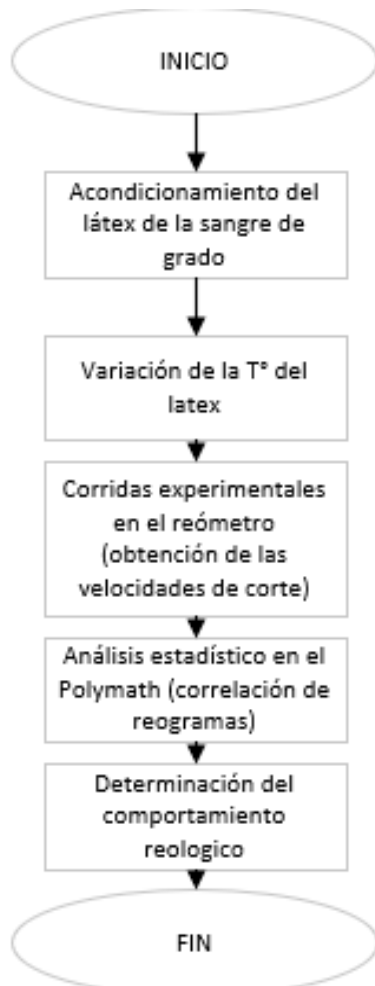
N° Corridas	T (°C)
1	
2	15
3	
1	
2	25
3	
1	
2	35
3	

Segunda etapa de la investigación

Una vez obtenido los valores de las velocidades y esfuerzo de corte a diferentes temperaturas se procedió a graficar los reogramas seguidamente se realizó el análisis estadístico utilizando el programa polymath para lo cual se trabajó con cuatro modelos reológicos de la literatura.

Figura 4

Flujograma de la determinación del comportamiento reológico de la sangre de grado



4.2.1. Plan de investigación

Tabla 4

Plan de Investigación

GENERAL	ESPECIFICAS	CONDICIONES DE TRABAJO	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS
Acondicionamiento del látex de la sangre de grado (<i>Crotón lechleri</i>)	Almacenamiento	Temperatura ambiente	Envase hermético
Análisis para la determinación del comportamiento reológico del látex de la sangre de grado (<i>crotón lechleri</i>) en flujo de corte	Determinación del comportamiento reológico del látex de la sangre de grado (<i>Crotón lechleri</i>) a diferentes temperaturas. Determinación de un modelo reológico asociado al látex de la sangre de grado.	Laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química. Oficina, sala de computo	Termómetro Reómetro Computadora.

4.3. Población y Muestra

La población de la presente investigación fue la planta de la sangre de grado (*Crotón Lechleri*) provenientes del departamento de Cuzco del cual se extrajo una muestra de 500 ml para las pruebas experimentales.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El análisis reológico del látex de la sangre de grado se realizó en los laboratorios de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao en el año 2019.

4.5. Técnicas e Instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Métodos o técnicas de recolección de datos

La metodología utilizada para la recolección de datos reológicos del látex de la sangre de grado (*Crotón Lechleri*) se obtuvo a través de las pruebas experimentales, utilizando el equipo Rheolab QC.

4.5.2. Equipos y materiales

Equipos e instrumentos para la experimentación

- Reómetro Rheolab QC: Equipo para la determinación de la velocidad de corte.
- Baño maría: Equipo para la variación de temperatura
- Computadora: Equipo para análisis estadístico.

Materiales para la experimentación

- Probeta
- Termómetro
- Agua destilada
- Guantes quirúrgicos

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Para el presente trabajo de investigación el modelamiento y análisis estadístico se realizó con el programa polymath obteniendo los parámetros de las ecuaciones matemáticas, el índice de determinación y la varianza.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Parámetros reológicos obtenidos de la parte experimental

Luego de realizar las corridas experimentales en el laboratorio con el reómetro a las temperaturas de 15°C, 25°C y 35°C, se obtuvieron los siguientes resultados para las velocidades y esfuerzo de corte, esto se detallan a continuación en las tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5

Datos de Velocidad de corte Vs esfuerzo de corte a T= 15°C

N°	$\frac{dv}{di}$ (1/s)	γ (Pa)
1	3.01	0.826
2	5.02	0.91
3	7.03	0.938
4	9.04	0.951
5	11	0.961
6	19.1	1.01

Tabla 6

Datos de Velocidad de corte Vs esfuerzo de corte a T= 25°C

N°	$\frac{dv}{di}$ (1/s)	γ (Pa)
1	5.02	0.993
2	17.1	1.05
3	23.1	1.08
4	27.1	1.09
5	57.3	1.12
6	61.3	1.14

Tabla 7

Datos de Velocidad de corte Vs esfuerzo de corte a T= 35°C

N°	$\frac{dv}{di}$ (1/s)	γ (Pa)
1	7.03	0.987
2	19.1	1.07
3	29.1	1.09
4	57.3	1.16
5	65.3	1.16
6	97.5	1.21

Figura 5

Gráfico del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado al látex de la sangre de grado a 15°C

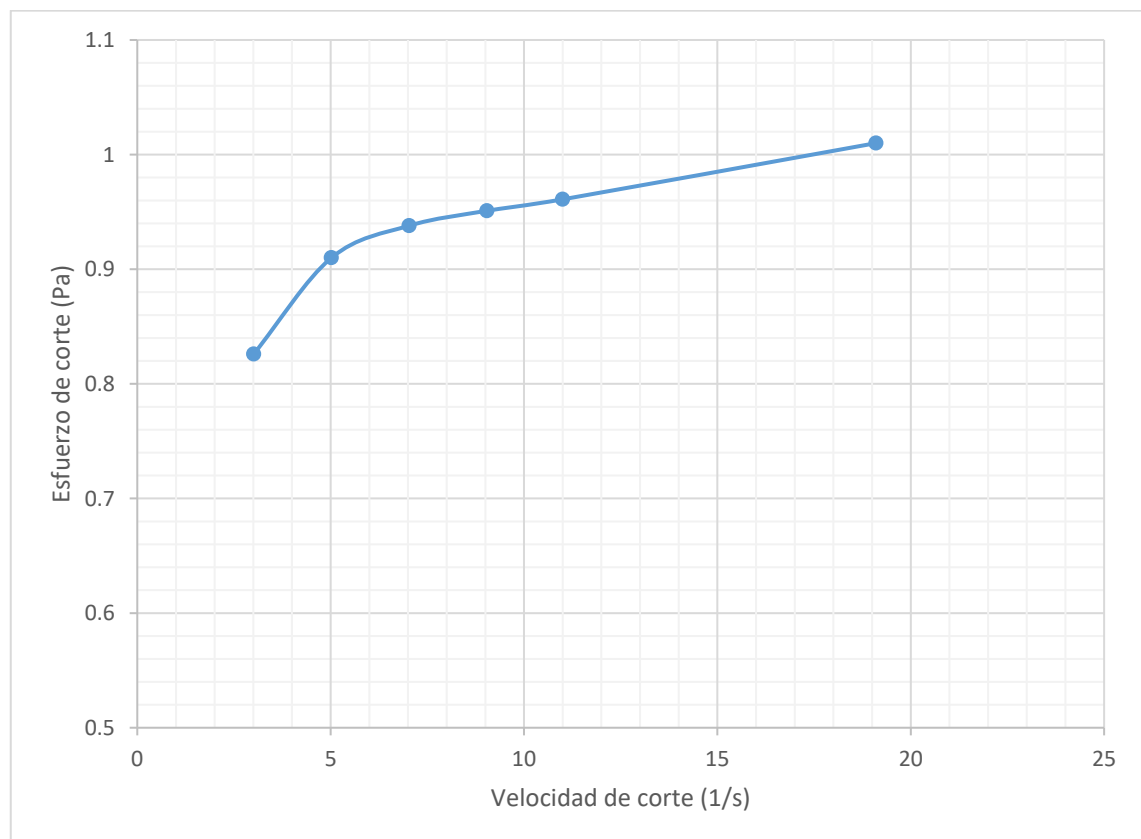


Figura 6

Grafico del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado al látex de la sangre de grado a 25°C

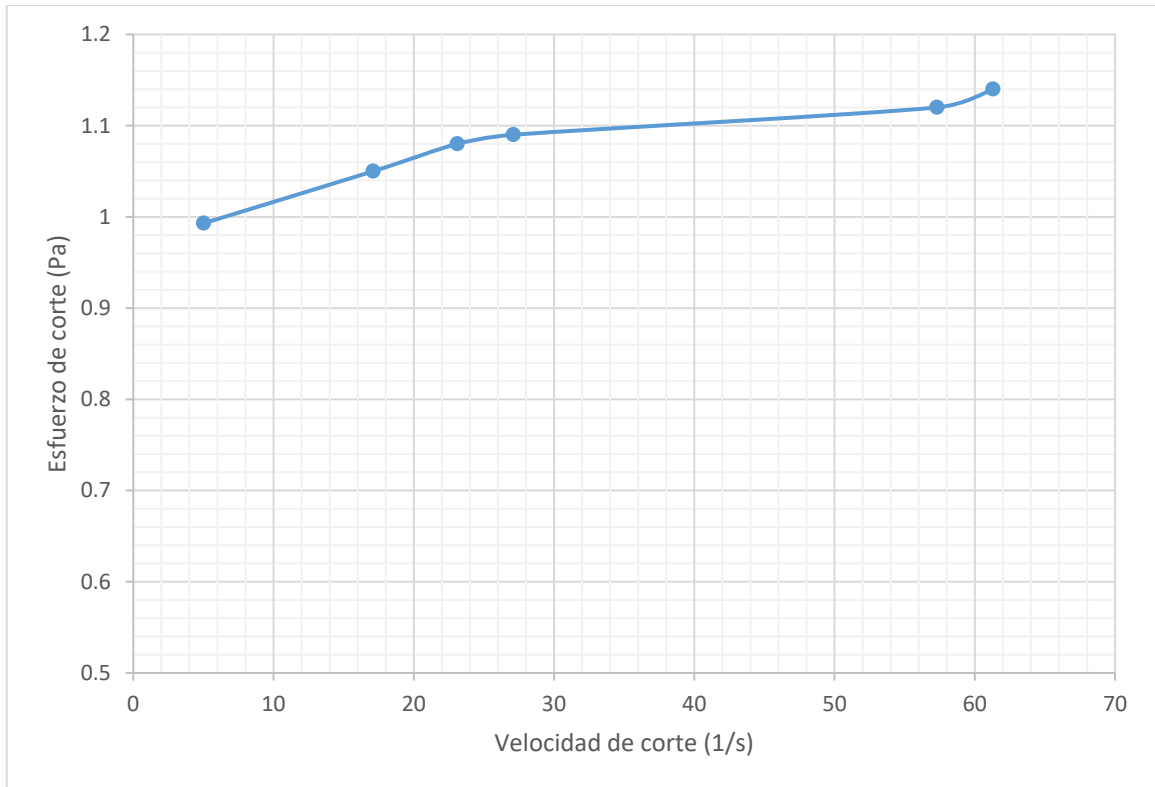
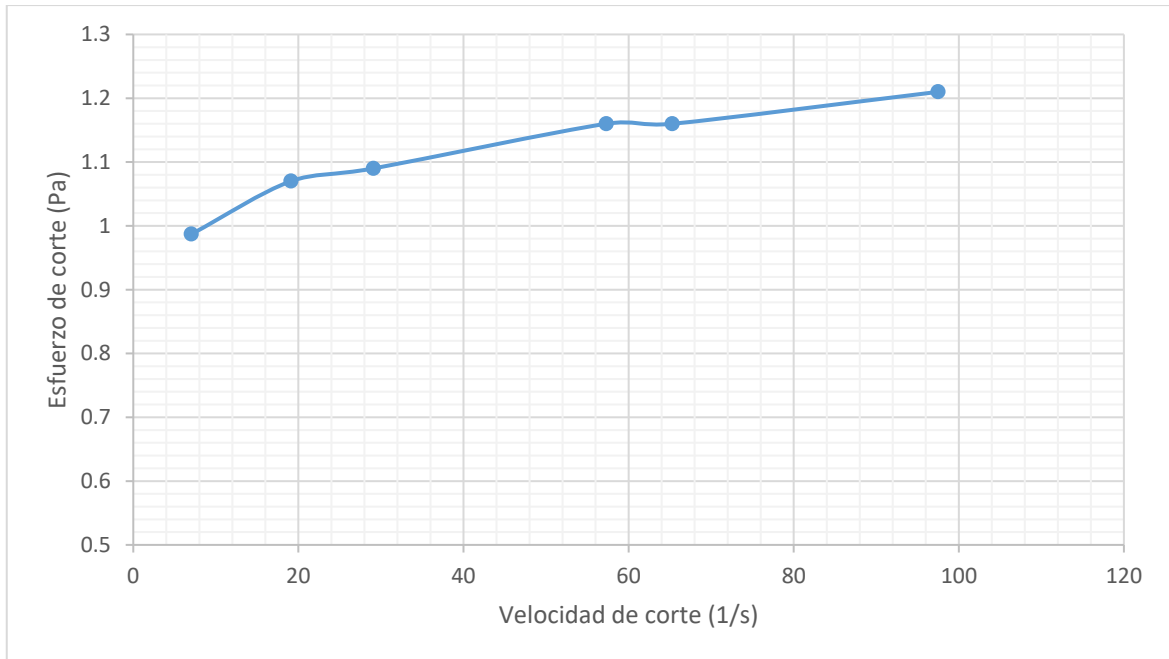


Figura 7

Grafico del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado al látex de la sangre de grado a 35°C



5.2. Resultados inferenciales

Cálculos de los parámetros de los modelos de fluidos no newtonianos a partir de los datos experimentales

Los valores obtenidos se modelaron en el programa polymath ajustándose a seis modelos matemáticos: Herschel- Bulkley, Casson- Generalizada N°1, Ostwald-de Waele Nutting y Sisko,.

Cálculo de los parámetros del modelo matemático de Herschel- Bulkley

- Forma estándar

$$\tau = \tau_0 + \mu \left(\frac{d\mu}{dy} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (26)$$

- Forma alterna

$$\frac{d\mu}{dy} = \left(\frac{1}{\mu} \right)^m (\tau - \tau_0)^m \quad (27)$$

- Forma para la regresión

$$Y = A + BX^C \quad (28)$$

Tabla 8

Parámetros del modelo de Herschel- Bulkley

	15°C	25°C	35°C
A	0.561102	0.9379399	0.9258495
B	0.1936209	0.0078585	0.0244586
C	0.3081412	0.7973489	0.5487787
R²	0.9731106	0.9661577	0.9131212
R²adj	0.972199	0.9632149	0.9029001
Rmsd	0.0038081	0.0061611	0.0066411
Variance	0.0009448	0.0011157	0.0010378

Tabla 9

Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo de Herschel-Bulkey

GAMA	T=15°C		T=25°C		T=35°C	
	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO
25	0.043326226	1.083155662	0.041610632	1.040265803	0.042757343	1.068933573
35	0.032576806	1.140188199	0.030621532	1.071753611	0.031370013	1.097950442
45	0.026373665	1.18681492	0.024476518	1.101443318	0.024964457	1.12340058
55	0.022304129	1.226727087	0.020542069	1.129813813	0.020843613	1.146398742
65	0.019413664	1.261888185	0.017802335	1.157151801	0.01796267	1.167573532
75	0.017246413	1.293480965	0.01578196	1.183646993	0.015830954	1.187321553
85	0.015556224	1.322279071	0.01422863	1.209433575	0.014187205	1.205912415
95	0.014198097	1.348819256	0.012995906	1.234611107	0.012879363	1.223539457
105	0.013080865	1.373490806	0.011992916	1.259256174	0.011812829	1.240347024
115	0.012144226	1.396586005	0.011160255	1.283429369	0.01092562	1.256446324
125	0.011346644	1.418330501	0.010457438	1.307179736	0.010175402	1.271925231
Promedio	0.020687905	1.277432787	0.019242745	1.179816845	0.019142413	1.180886261

Figura 8

Grafico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Herschel-Bulkley

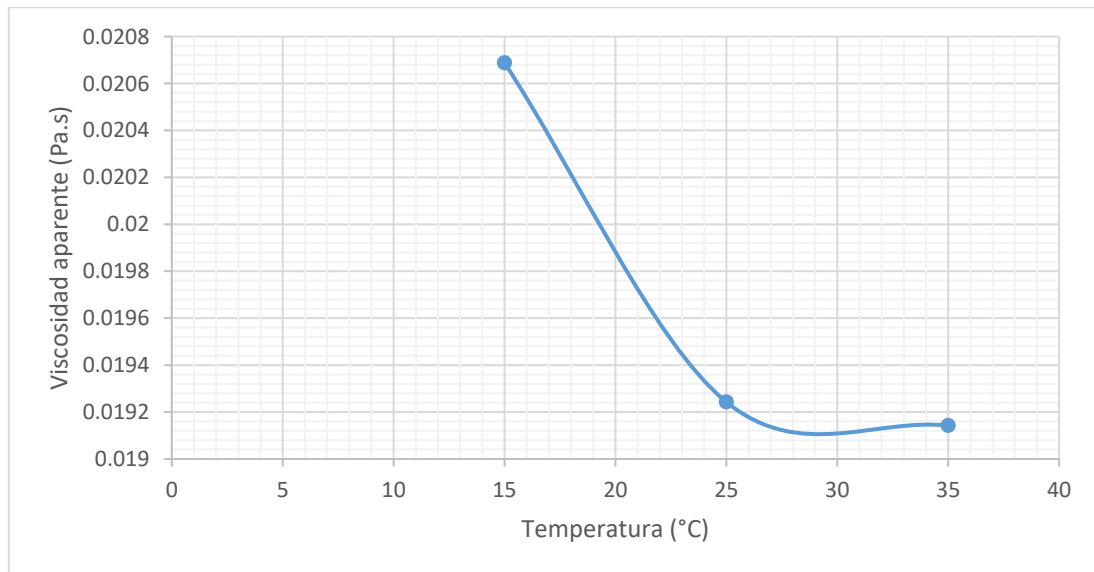
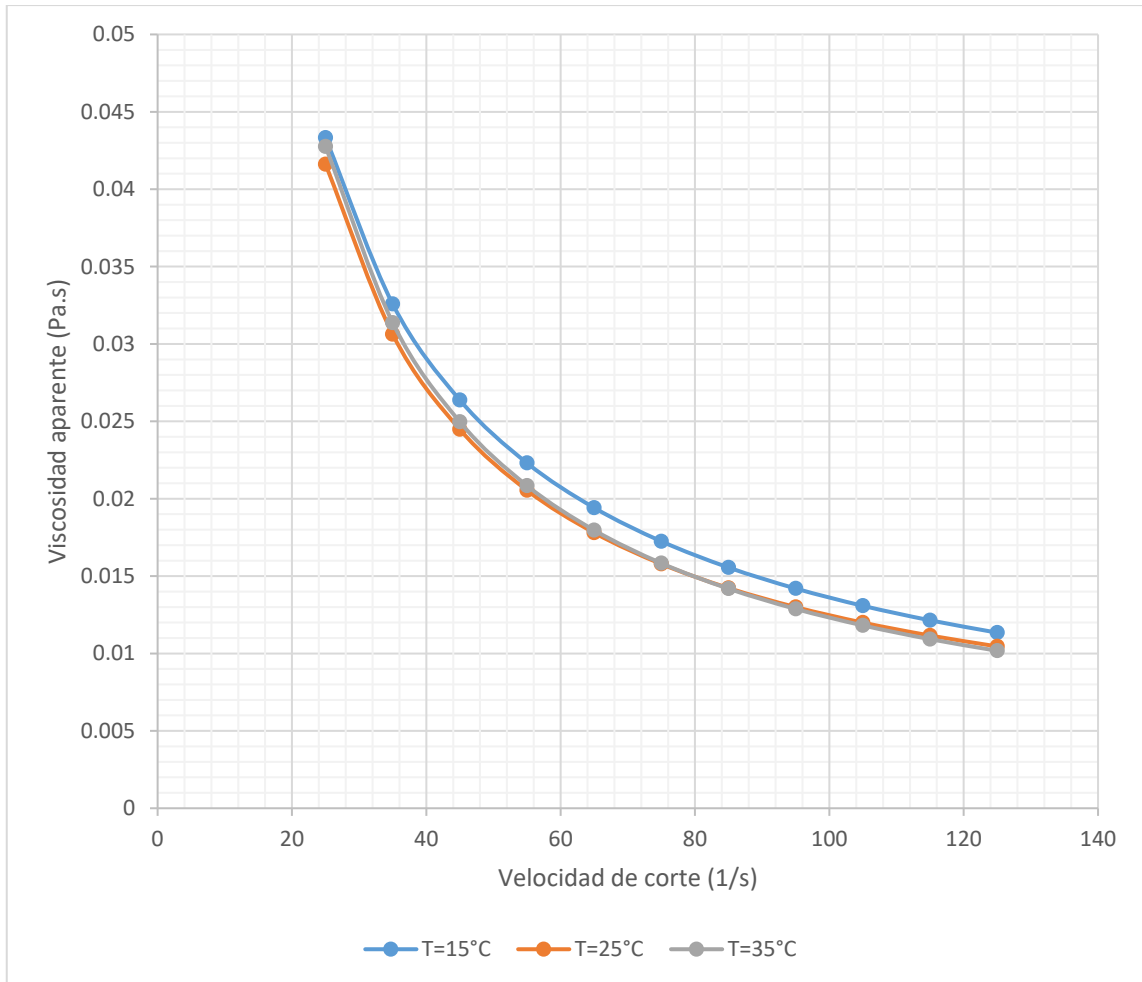


Figura 9

Grafico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Herschel- Bulkley



**Cálculo de los parámetros del modelo matemático de Casson-
Generalizada N°1**

- Forma estándar

$$\tau^{1/n} = \tau_0^{1/n} + \mu_c \left(\frac{d\mu}{dy} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (29)$$

$$n > 1 \quad m > 1$$

- Forma alterna

$$\frac{d\mu}{dy} = \frac{1}{\mu_c^m} (\tau^{\frac{1}{n}} - \tau_0^{\frac{1}{n}})^m \quad (30)$$

- Forma para la regresión

$$Y = (A + BX^C)^n \quad (31)$$

Tabla 10

Parámetros del modelo de Casson- Generalizada N°1

	15°C	25°C	35°C
A	1.071634	0.9043663	1.272656
B	0.0029519	0.005848	0.0017999
C	0.9762888	1.065758	1.379162
n	0.6492386	0.4138707	0.2354415
R²	0.9537213	0.9624042	0.9746944
R²adj	0.9338876	0.9572775	0.9677929
Rmsd	0.0030685	0.0064938	0.0029262
Variance	0.0001628	0.0012957	0.0001751

Tabla 11

Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo Casson-Generalizada

N°1

GAMA	T=15°C		T=25°C		T=35°C	
	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO
25	0.043551884	1.0887971	0.04236347	1.05908665	0.04347951	1.08698786
35	0.031577646	1.10521759	0.031008	1.08527998	0.03150803	1.10278102
45	0.024919916	1.12139622	0.02461253	1.10756364	0.0248795	1.1195773
55	0.020679363	1.13736495	0.02048602	1.12673125	0.02067229	1.13697605
65	0.017740695	1.15314515	0.01759199	1.14347917	0.01776477	1.15470996
75	0.015583366	1.16875246	0.01544437	1.15832784	0.01563459	1.17259416
85	0.013931754	1.1841991	0.01378421	1.1716581	0.01400586	1.19049844
95	0.012626263	1.19949495	0.01246054	1.1837515	0.01271927	1.20833041
105	0.011568079	1.21464833	0.01137924	1.19482007	0.01167642	1.22602446
115	0.010692751	1.22966635	0.01047849	1.20502655	0.01081334	1.24353428
125	0.009956442	1.24455526	0.00971599	1.21449826	0.01008662	1.26082767
Promedio	0.019348014	1.16793068	0.01902953	1.15002027	0.01899214	1.1729856

Figura 10

Grafico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Casson-

Generalizada N°1

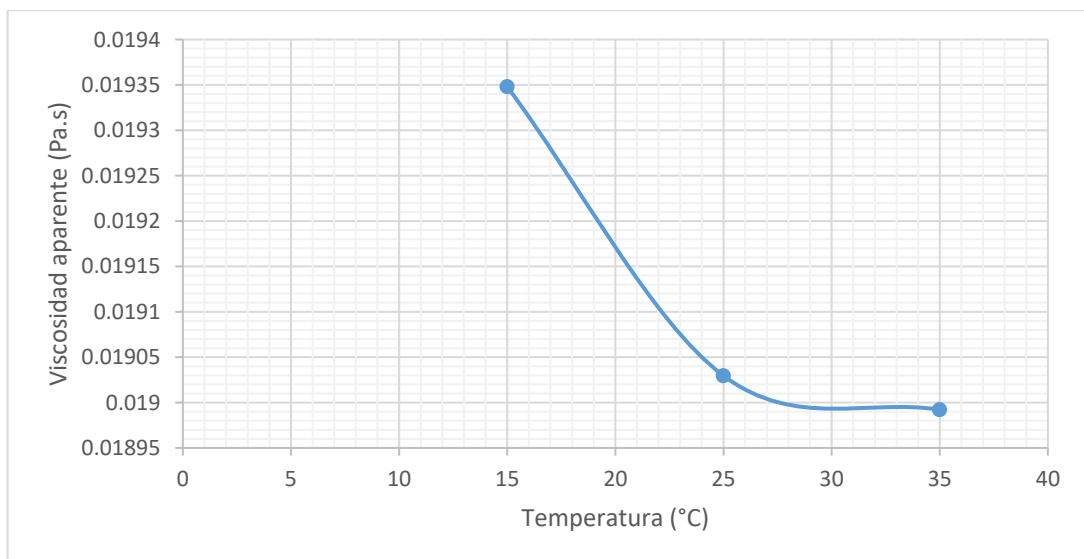
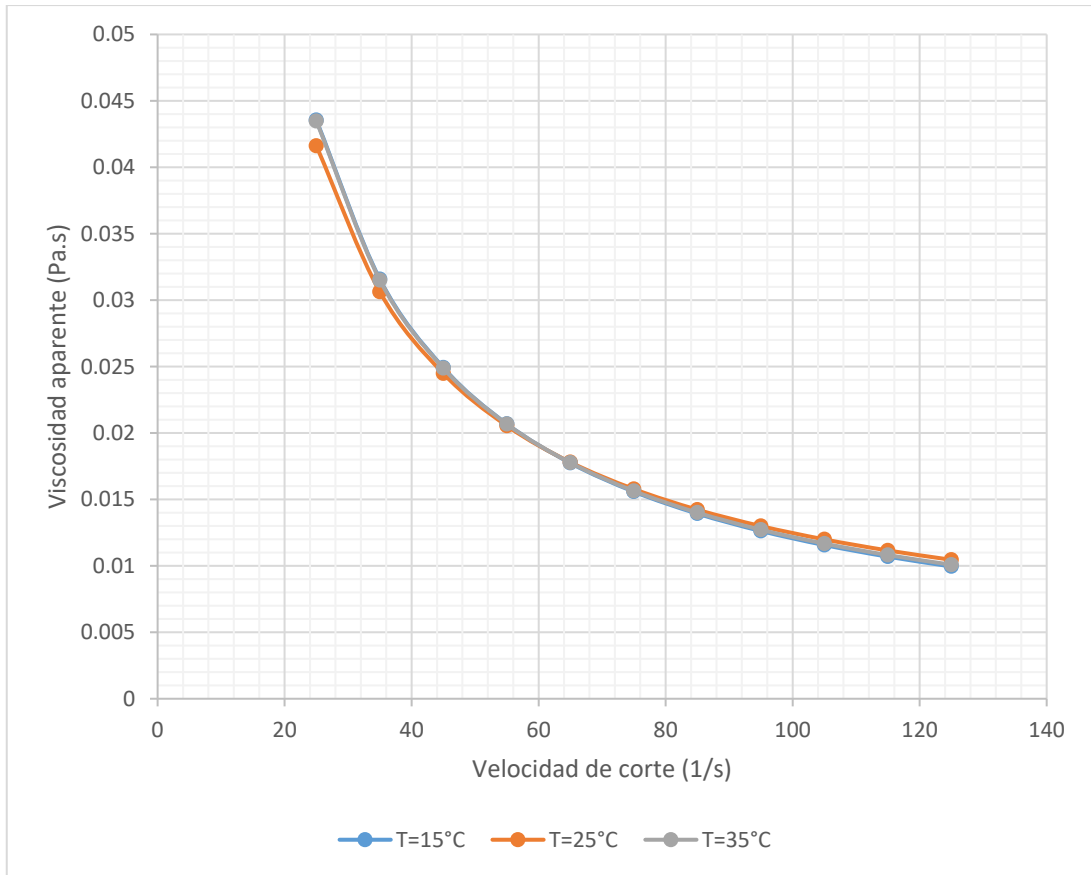


Figura 11

Grafico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Casson- Generalizada N°1



Cálculo de los parámetros del modelo matemático de Ostwald- de Waele

Nutting

- Forma estándar

$$\tau = k\left(\frac{d\mu}{dy}\right)^n \quad (32)$$

$$0 < n < 1$$

- Forma alterna

$$\frac{d\mu}{dy} = \left(\frac{\tau}{k}\right)^{1/n} \quad (33)$$

- Forma para la regresión

$$Y = AX^n \quad (34)$$

Tabla 12

Parámetros del modelo de Ostwald- de Waele Nutting

	15°C	25°C	35°C
A	0.6443991	0.6548576	0.7894159
n	0.1632486	0.1420262	0.0968082
R²	0.9648843	0.88832	0.9404094
R²adj	0.964327	0.8808747	0.9361529
Rmsd	0.0041996	0.0085743	0.0063814
Variance	0.0011828	0.0014165	0.0007446

Tabla 13

Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo Ostwald- de Waele

Nutting

GAMA	T=15°C		T=25°C		T=35°C	
	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO
5	0.167606476	0.83803238	0.16460724	0.82303618	0.18450235	0.92251173
15	0.066843459	1.00265189	0.06413445	0.96201677	0.06840217	1.02603257
25	0.043593995	1.08984986	0.04137624	1.03440588	0.0431219	1.07804757
35	0.032896813	1.15138846	0.03100109	1.0850381	0.03182118	1.11374128
45	0.026657968	1.19960855	0.02498814	1.12446609	0.02535934	1.14117013
55	0.02253741	1.23955756	0.02103591	1.15697499	0.02115556	1.16355589
65	0.01959734	1.27382713	0.01822698	1.18475368	0.01819271	1.18252614
75	0.017385804	1.30393533	0.01612105	1.20907906	0.01598696	1.19902207
85	0.015657086	1.33085231	0.01447958	1.23076436	0.0142781	1.21363877
95	0.014265662	1.35523789	0.0131617	1.25036106	0.01291345	1.2267773
105	0.013119641	1.3775623	0.01207868	1.2682612	0.01179734	1.23872119
Promedio	0.040014696	1.19659124	0.03829191	1.12083249	0.03801251	1.13688588

Figura 12

Grafico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Ostwald- de Waele Nutting

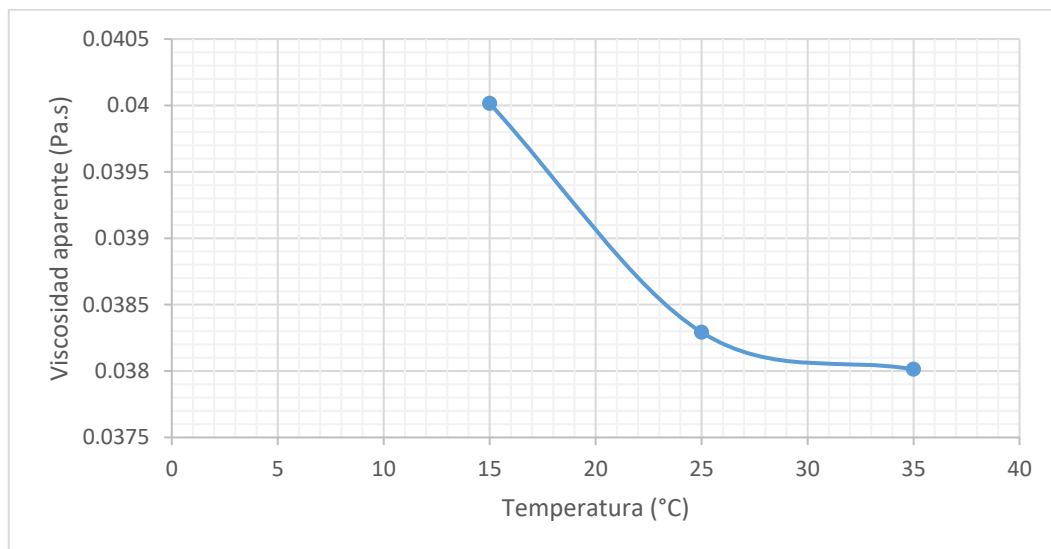
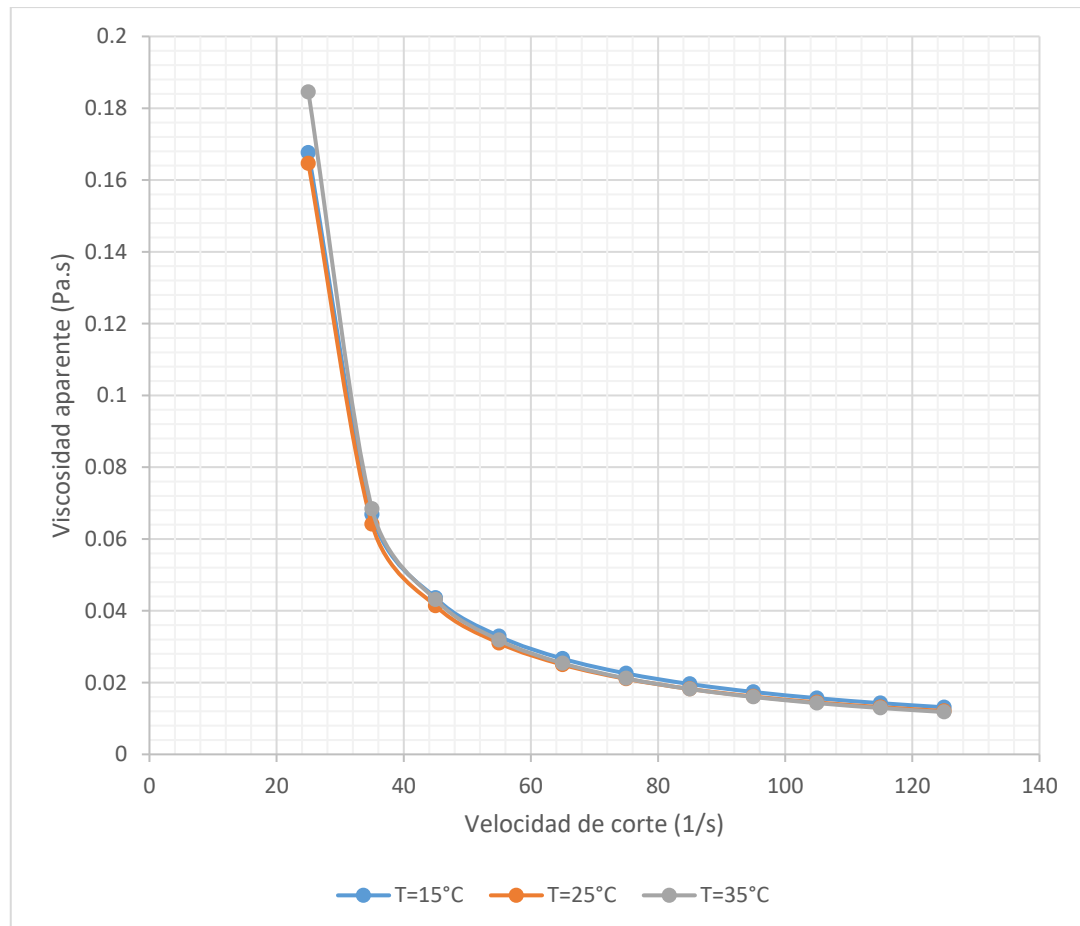


Figura 13

Grafico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Ostwald- de Waele Nutting



Cálculo de los parámetros del modelo matemático de Sisko

- Forma estándar

$$\tau = A\left(\frac{d\mu}{dy}\right) + B\left(\frac{d\mu}{dy}\right)^n \quad (35)$$

$$0 < n < 1$$

- Forma alterna

$$\frac{d\mu}{dy} = \frac{\tau}{A + B\left(\frac{d\mu}{dy}\right)^{n-1}} \quad (36)$$

- Forma para la regresión

$$Y = AX + BX^n \quad (37)$$

Tabla 14

Parámetros del modelo de Sisko

	15°C	25°C	35°C
A	0.0007393	0.0021124	0.0015916
B	0.6980809	0.9157267	0.9740481
n	0.1323733	0.0266372	0.0193296
R²	0.9696761	0.9721877	0.9473794
R²adj	0.9686979	0.9697692	0.9403633
Rmsd	0.0039026	0.0055853	0.0047677
Variance	0.0010379	0.0009169	0.000491

Tabla 15

Viscosidad aparente y esfuerzo de corte con el modelo Sisko

GAMA	T=15°C		T=25°C		T=35°C	
	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO	Viscosidad aparente	TAO
5	0.17350627	0.86753135	0.19328008	0.96640042	0.20255696	1.01278481
15	0.067342881	1.01014321	0.06772729	1.01590933	0.07001782	1.05026723
25	0.043497132	1.08742831	0.04202069	1.05051715	0.04305472	1.07636809
35	0.032671666	1.1435083	0.03087496	1.08062347	0.03140137	1.09904783
45	0.026415718	1.18870731	0.02463354	1.10850917	0.02488988	1.12004452
55	0.0223128	1.22720403	0.02063754	1.13506488	0.02072791	1.14003512
65	0.019401968	1.2611279	0.01785743	1.16073286	0.01783623	1.15935522
75	0.017222918	1.29171884	0.01581021	1.18576541	0.01570928	1.17819598
85	0.015526651	1.31976533	0.01423906	1.21032026	0.01407855	1.19667675
95	0.01416633	1.34580132	0.01299477	1.23450268	0.01278818	1.21487714
105	0.013049581	1.37020597	0.01198463	1.25838648	0.01174146	1.23285289
Promedio	0.04111236	1.19210381	0.04099123	1.12788474	0.04098712	1.13459142

Figura 14

Grafico de la viscosidad aparente vs temperatura para el modelo de Sisko

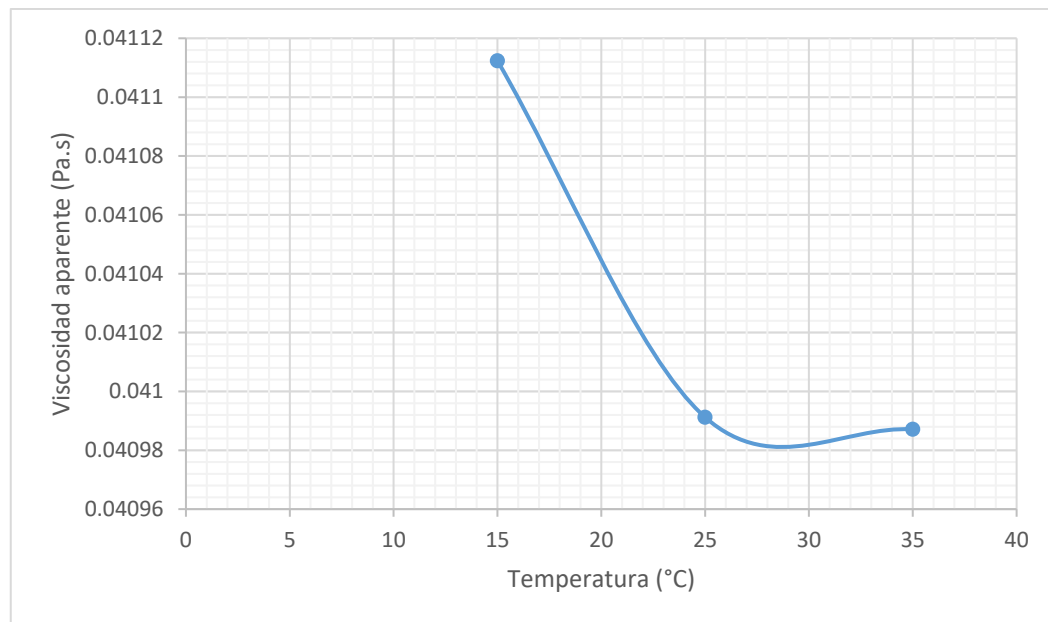
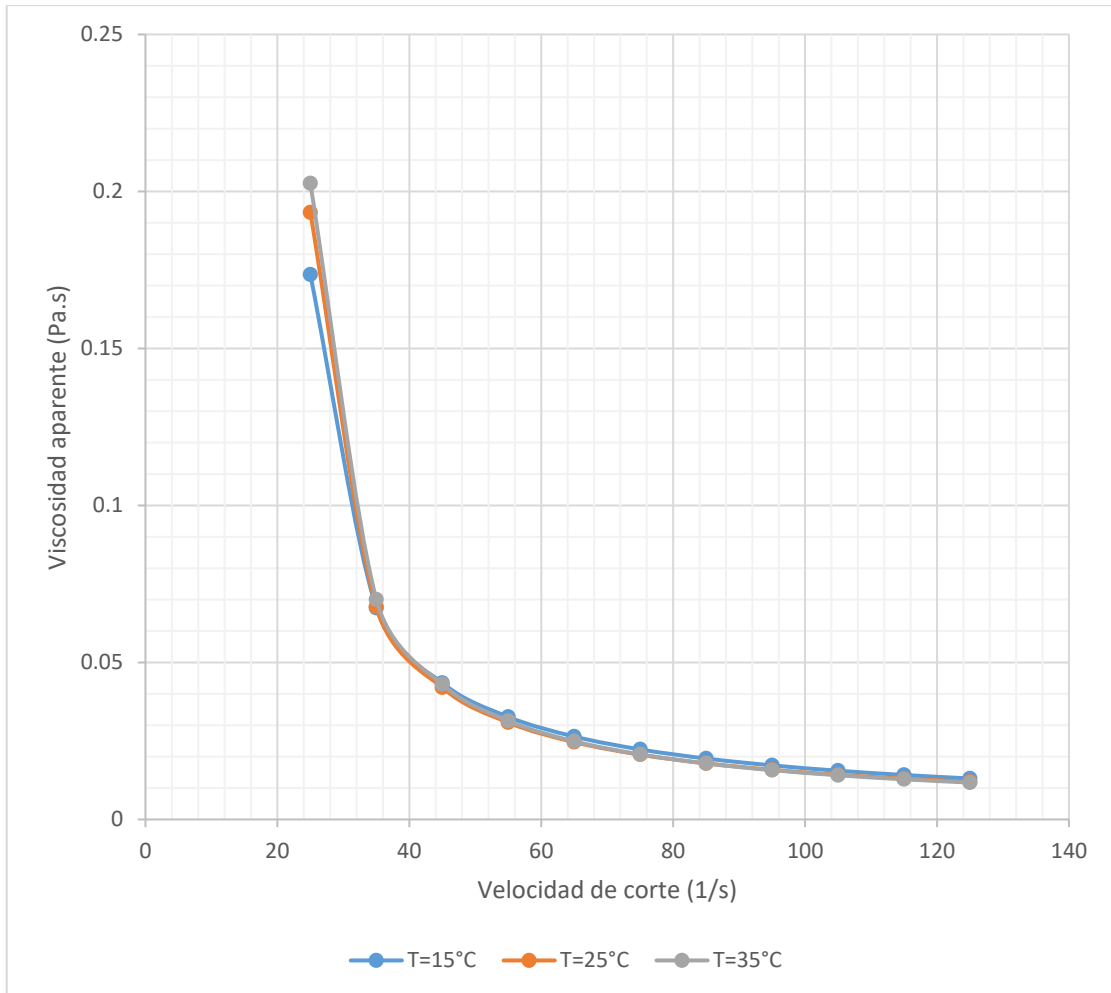


Figura 15

Grafico de la viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Sisko



5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo con la naturaleza del problema y la Hipótesis

Análisis de índice de determinación y varianza

Para la determinación del modelo matemático que mejor describa el comportamiento reológico del látex de la sangre de grado se analizó los índices de determinación obtenidos en las tablas 8, 10, 12 y 14 representando el resumen en la tabla 16, el análisis se realizó mediante gráficos de cajas en Excel representado en la figura 16.

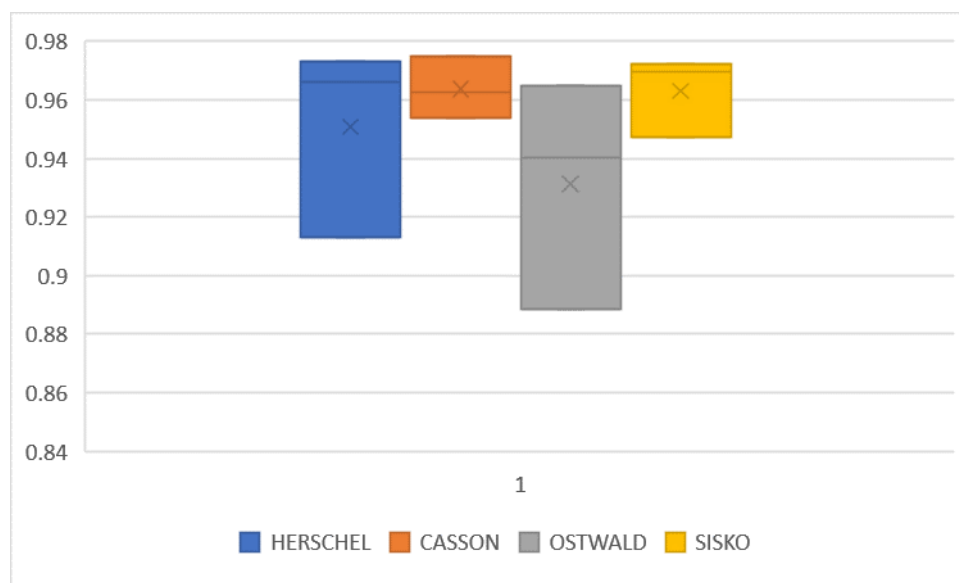
Tabla 16

Resumen de coeficientes de determinación de los modelos reológicos

	15°C	25°C	35°C
HERSCHEL	0,9731	0,9662	0,9131
CASSON	0,9537	0,9624	0,9747
OSTWALD	0,9649	0,8883	0,9404
SISKO	0,9697	0,9722	0,9474

Figura 16

Gráfico de cajas para índices de determinación (R2)



Para la determinación del modelo matemático que mejor describa el comportamiento reológico del látex de la sangre de grado se analizó varianzas obtenidas en las tablas 8, 10, 12 y 14 representando el resumen en la tabla 17, el análisis se realizó mediante gráficos de cajas en Excel representado en la figura 17. La varianza será siempre un valor positivo o cero.

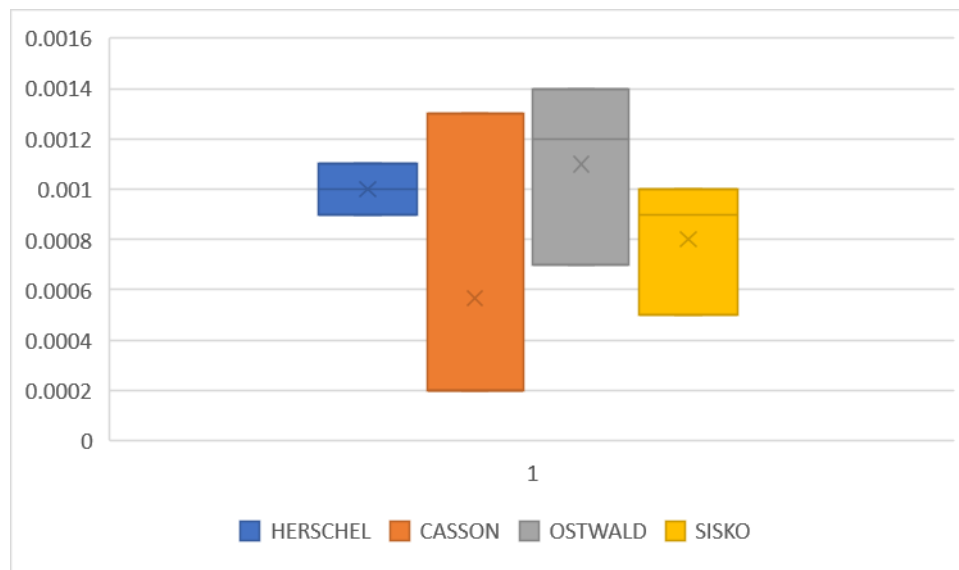
Tabla 17

Resumen de las varianzas obtenidos de los modelos reológicos

	15°C	25°C	35°C
HERSCHEL	0,0009	0,0011	0,0010
CASSON	0,0002	0,0013	0,0002
OSTWALD	0,0012	0,0014	0,0007
SISKO	0,0010	0,0009	0,0005

Figura 17

Gráfico de cajas para la varianza



Resultados del cálculo de la energía de activación para el látex de la sangre de grado.

Para la determinación de la energía de activación se utilizó la viscosidad aparente, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se calculo la inversa de las temperaturas de estudio. $T(1/K)$
- Se calculo el logaritmo natural de la viscosidad aparente. $\ln(\mu_{15^\circ C})$, $\ln(\mu_{25^\circ C})$, $\ln(\mu_{35^\circ C})$.
- Se organizo la información obtenida en la tabla N°18

Tabla 18

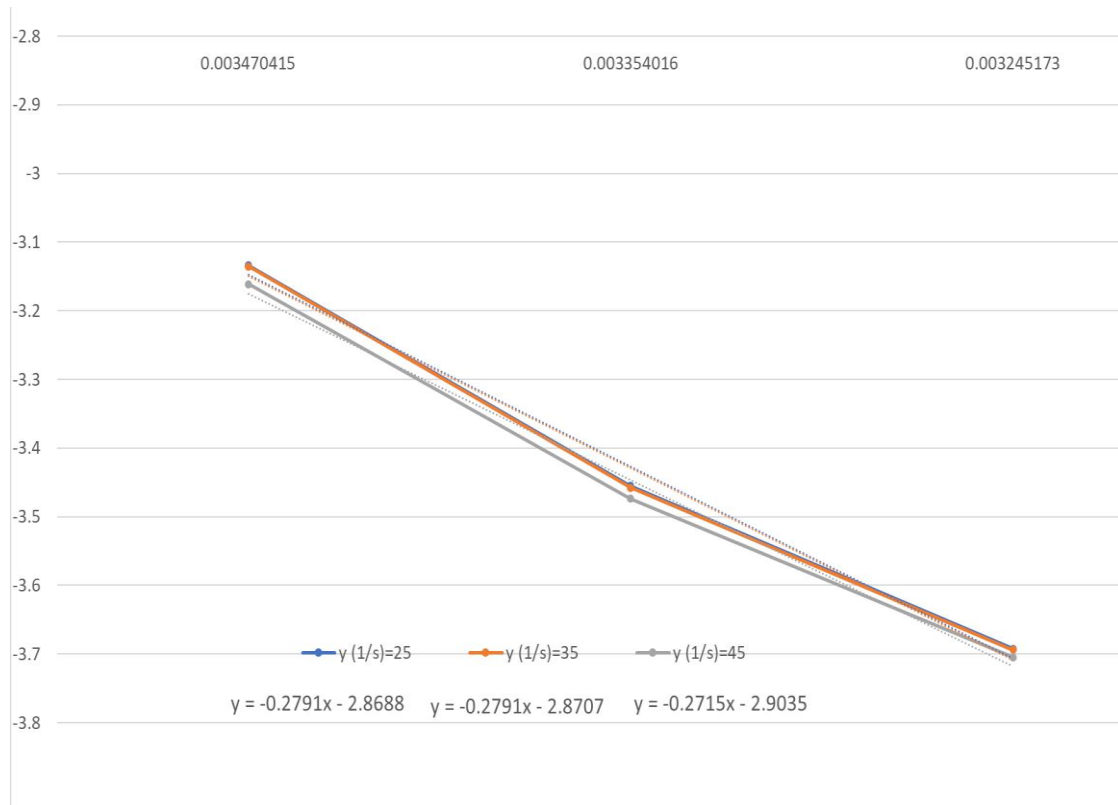
Datos de para la determinación de la energía de activación

	T1=0,003470415	T2=0,003354016	T3=0,003245173
γ (1/s)	$\ln(\text{viscosidad})$	$\ln(\text{viscosidad})$	$\ln(\text{viscosidad})$
25	-3,133802316	-3,135465486	-3,161468845
35	-3,455305814	-3,457758209	-3,473510043
45	-3,692087956	-3,693711108	-3,704499616
55	-3,878619033	-3,878961123	-3,888012577
65	-4,031894126	-4,030537996	-4,040311594
75	-4,161551216	-4,158269512	-4,170510743
85	-4,273584584	-4,268279466	-4,284231545
95	-4,371976269	-4,364637113	-4,385188428
105	-4,459505784	-4,450183855	-4,475964636
115	-4,538189244	-4,526974722	-4,558430694
125	-4,6095355	-4,596545486	-4,633982297

- Para cada punto $\gamma(1/s)$, se graficó la inversa de la temperatura $T(1/K)$ frente a $\ln(\mu)$ y se obtuvo la pendiente m y el intercepto b .

Figura 18

Pendientes para la energía de activación



En base a la gráfica obtuvimos los valores de las pendientes y el intercepto, para calcular la energía de activación E_a .

- Para $Y(1/s) = 25$ $m = -0.2791$ y $b = 2.8688$

$$E_a = -(-0.2791) \cdot \frac{8.3144}{1000} = 2.321 \text{ J}$$

- Para $Y(1/s) = 35$ $m = -0.2791$ y $b = 2.8707$

$$E_a = -(-0.2791) \cdot \frac{8.3144}{1000} = 2.321 \text{ J}$$

- Para $Y(1/s) = 45$ $m = -0.2715$ y $b = 2.9035$

$$E_a = -(-0.2715) \cdot \frac{8.3144}{1000} = 2.257 \text{ J}$$

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de las hipótesis con los resultados

Hipótesis general: El comportamiento reológico del látex de la sangre de grado en flujo de corte se ajusta a un fluido no newtoniano de tipo pseudoplastico.

En los resultados obtenidos confirman la convergencia de esta hipótesis.

Mediante los reogramas elaborados en las figuras 5,6 y 7 con los datos de las tablas 5, 6 y 7 de las muestras y a diferentes temperaturas. Se observa que la relación existente entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte tiene un comportamiento no lineal y esto se ve reflejado en los reogramas; en base a ello se comprueba que obedece al comportamiento de un fluido no newtoniano.

Así mismo tomando como base los datos de la tabla 16 que resume los coeficientes de determinación de los 4 modelos trabajados, y con ayuda del gráfico de cajas para los índices de determinación (R^2) se demostró que el modelo con el mejor ajuste es el modelo de Casson Generalizada N°1 seguido también por el modelo de Herschel Bulkley; comprobando así la hipótesis que el látex de la sangre de grado tiene un comportamiento no newtoniano pseudoplastico. siendo descrito por el modelo de Casson Generalizada N°1 y Herschel Bulkley.

Hipótesis específica 1: La velocidad y el esfuerzo de corte del látex de la sangre de grado tienen un relación directa y no lineal

De acuerdo con las gráficas 5, 6 y 7 de las muestras a las diferentes temperaturas se comprueba que a medida que aumenta la velocidad y el esfuerzo de corte también aumenta, demostrando la relación directa entre ambos parámetros reológicos; así mismo se observa que la gráfica es una curva comprobando su relación no lineal.

Hipótesis específica 2: A medida que aumenta la temperatura del látex de la sangre de grado la viscosidad disminuye.

De acuerdo con las gráficas 8, 10, 12 y 14 elaborados de las tablas 9, 11, 13 y 15 se comprueba que a medida que aumenta la temperatura la viscosidad aparente disminuye.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

En contraste con los estudios que anteceden nuestro trabajo de investigación, los resultados complementan los trabajos de Thompson (2020), Torres et al. (2009), Marqués et al. (2015), Ortega et al. (2015) y Tinoco (2016), en cuanto a la importancia del efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de fluidos no newtonianos y de tipo pseudoplástico, demostraron que, para este tipo de fluido, la viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura. De la misma manera en el presente trabajo de investigación el látex de la sangre de grado al presentar un comportamiento reológico no newtoniano de tipo pseudoplástico, se demostró que la viscosidad guarda una relación inversa con la temperatura.

Según Aguilar (2017) En su investigación titulada "Modelo matemático de flujo no newtoniano que caracterizan muestras de shampoo para cabello", determinó que el comportamiento reológico de las muestras en estudio se ajustaron a la de un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico descrito por los modelos matemáticos de Bellet N°1, Casson-Generalizada N°1, Casson Generalizado N°2, Ostwald de Waele Nutting, Powell-Eyring Williamson y Sisko, de la misma manera en nuestra investigación el modelo matemático que mejor describe el comportamiento reológico del latex de la sangre de grado es el de Casson-Generalizada N°1, con un índice de determinación cercano a la unidad.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en el presente trabajo de tesis, de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de la investigación de la Universidad Nacional del Callao, según Resolución de Consejo Universitario N° 260- 2019-CU.

CONCLUSIONES

- En los reogramas de las figuras 5,6 y 7 del látex de la sangre de grado, se observa que existe una dependencia de la tensión de corte con la velocidad de corte. Esta variación no es lineal sino que corresponde a una expresión del tipo potencial con un exponente denominado índice de flujo menor a la unidad, que le da el carácter de un fluido no Newtoniano del tipo pseudoplástico. Asimismo, presenta una tensión de umbral al inicio de la deformación. La ecuación matemática que mejor se ajusta los datos experimentales es el modelo reológico de Casson Generalizado N° 1, que representan las características del fluido con un índice de flujo promedio de 0,43285 y una tensión de umbral de 1.082885 Pa.
- A fin de conocer el efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente del látex de la sangre de grado se hicieron corridas experimentales en el reómetro a 15, 25 y 35 °C. Los resultados indican que la viscosidad aparente disminuye con la temperatura mediante una relación exponencial del tipo Arrhenius, donde la energía de activación promedio es de 2,2299J/mol.
- Finalmente se concluye, que el látex de sangre de grado en flujo de corte presenta un comportamiento no Newtoniano del tipo pseudoplástico con una tensión de umbral al inicio de la deformación.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar investigaciones sobre el diseño de equipos que promuevan la industrialización del látex de la sangre de grado sirviendo como base este trabajo de investigación.
- Antes de realizar la medición reológica se debe esperar al menos 15 minutos luego del cambio de temperatura del reómetro para que la muestra alcance la temperatura de trabajo.
- Se sugiere realizar investigaciones sobre el comportamiento reológico del látex de la sangre de grado tomando muestras provenientes de otros lugares del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, J (1996). Principios de ingeniería aplicados a alimentos. Primera edición

Alvarado, J (2013). Principios de ingeniería aplicados en alimentos. Segunda Edición.

Arbildo, L; Pérez, J. (2014). Rendimiento de taspina aislada de 2 muestras de crotón lechleri (sangre de grado) de las cuencas del bajo nana y alto napo respectivamente. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonia]

<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/3577>

Betancourt, R. (2003). Transferencia Molecular de Calor, Masa y Cantidad de Movimiento.

Bird, R.; Steward, E. (2002). Fenómenos de Transporte.

Carrasco, L. (2014). Fenómenos de Transporte.

Díaz, Z. (2014). Caracterización fisicoquímica y comportamiento reológico del zumo de naranjita de quito (Solanum quitoense). Universidad Nacional del Callao.

<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2296>

Espinoza C.; Serna, D. (2018). Efecto antibacteriano in vitro del látex de crotón lechleri Müll. Arg. (sangre de grado) frente a staphylococcus. [Tesis de pregrado, Universidad Inca Garcilaso de la Vega.]

<http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/2985/Tesis%20SERNA%20QUISPE%20-%20ESPINOZA%20%20RIVERA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Fabián, H. (2011). Caracterización Físico-Química para la determinación de la calidad y rendimiento del látex de Sangre de Grado (*Croton perpeciosus* Croizat) en la provincia de San Ignacio Cajamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/433>
- Herrera, B. (2019). Actividad antifúngica de los extractos de plantas *croton lechleri* y *maytenus laevis* en cepas de *candida albicans* ATCC 10231. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30358>
- James, F. (1996). Rheological methods in food process engineering. Segunda edición.
- Lezama, K. (2017). Determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del aceite de uva (*vitis vinífera*) obtenido con y sin tratamiento enzimático.
<http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/1904>
- .
- Lifford, M. (1992). Sensory and dietary properties of phenols, 16th International conference of polyphenol.
- Lopez, J. (2008). Los alimentos funcionales: importancia y aplicaciones. Revista. Chile. Escuela agrícola Panamericana Zamorano.
- Maestro, A. (2002) "Reología de espesantes celulósico para pinturas al agua: modelización y mecanismo de espesamiento asociativo". [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona]
https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/1536/04.AMG_SISTEMA_EXPERIMENTAL.pdf?sequence=5&isAllowed=y

- Obando, L. (2015). Estudio de los alcaloides de Croton Draconoides “Sangre de Grado”, su actividad cicatrizante y el diseño de una forma farmacéutica. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4262>.
- Ocampo, R. (2018). Reología aplicada a sistemas alimentarios Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador.
- Ortega, F.; Salcedo, E; Arrieta R.; Torres, R. (2015). Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins. Revista Ion http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120100X2015000200008.
- Palá, J. (2002). Contribución al conocimiento de los aceites esenciales del género “eryngium” L, en la Península Ibérica. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid] <https://eprints.ucm.es/id/eprint/4593>
- Panduro, G. (2006). Impacto de la extracción de Croton lechleri. Muell. Arg. “Sangre de grado” en poblaciones naturales y en la economía de la comunidad del caserío Tarapoto, cuenca del rio Nanay. Tesis. Iquitos.
- Paniagua, L. (2008). Biosensores amperométricos de tirosinasa para la determinación de compuestos fenólicos en medios acuosos y no acuosos. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/8131/1/T30542.pdf>
- Peñarrieta, M.; Tejeda, L.; Mollinedo, J.; Vila, J.; Bravo, J. (2014). Phenolic compounds in food, Revista Boliviana de Quimica. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025054602014000200006

Ramírez, L.; Castillo, A.; Vargas, A. (2013); Melo, A. Evaluación del potencial antibacterial in vitro de *Crotón lechleri* frente a aislamientos bacterianos de pacientes con úlceras cutáneas.
<http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v11n19/v11n19a05.pdf>

Risco, E. ; Iglesias, J.; Cañigüeral S. (2001). Interés Terapéutico del látex de *Croton lechleri*. Forum De Natura Rerum. París.
<https://www.fitoterapia.net/archivos/200812/roda-sangre-de-drago.pdf?1>

Méndez, D. (2015). Desarrollo de procesos biocatalíticos para la preparación de compuestos orgánicos de alto valor añadido empleando hidrolasas y oxidorreductasas. Diseño de reacciones en cascada. [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]
https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/36372/TD_danielmendez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Shahidi, F.; Naczk, M. (1995). Food phenolics sources, chemistry, effects. Applications. Technomic Publishing Co. EEUU.

Torres, R.; Perez A.; Peña, E. (2009). Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero (*Achras sapota* L.). Rev. Fac.Agron
http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S037878182009000400008&script=sci_abstract

ANEXOS

Matriz de consistencia

Título: Caracterización reológica del látex de la sangre de grado (*croton lechleri*) en flujo de corte

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	MÉTODO
¿Cuál es el comportamiento reológico que presenta el látex de la sangre de grado (<i>Crotón lechleri</i>) en flujo de corte?	Describir el comportamiento reológico del látex de la sangre de grado (<i>Crotón lechleri</i>) en flujo de corte.	El comportamiento reológico del látex de la sangre de grado en flujo de corte se ajusta a un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico.	Y= Comportamiento reológico del látex de la sangre de grado (<i>croton lechleri</i>) en flujo de corte.	Reogramas.	Tensión de corte Correlación de los reogramas	Pa.	Descriptiva- Aplicada
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	
¿Cómo influye la velocidad en el esfuerzo de corte del látex de sangre de grado?	Determinar la influencia de la velocidad sobre el esfuerzo de corte del látex de la sangre mediante un reograma.	La velocidad y el esfuerzo de corte del látex de la sangre de grado tienen una relación directa y no lineal.	X1= Velocidad de corte del látex de la sangre de grado	Velocidad de corte	Lecturas del reómetro	s-1	
¿Cómo influye la temperatura en la viscosidad del látex de la sangre de grado?	Determinar la influencia de la temperatura en la viscosidad del látex de la sangre de grado.	A medida que aumenta la temperatura del látex de la sangre de grado la viscosidad disminuye.	X2= Temperatura del látex de la sangre de grado	Temperatura	Lecturas del termómetro	°C	

Y: Comportamiento reológica del látex de la sangre de grado (*Crotón Lechleri*) en flujo de corte.

X1: Velocidad de corte del látex de la sangre de grado

X2: Temperatura del látex de la sangre de grado