

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DETERMINACIÓN DE MODELOS REOLÓGICOS ASOCIADO
A LA PASTA DE TOMATE (*Solanum Lycopersicum*) RÍO
GRANDE”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR

**ALVARADO ORTIZ ANGELICA DEL ROSARIO
BUSTAMANTE AQUINO ERIKA BETSABETH
PAUCAR BLAZ SASHA VANESSA**

ASESOR

ING° GUMERCINDO HUAMANÍ TAÍPE

CALLAO – 2020

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por las señoritas Bachiller **BUSTAMANTE AQUINO ERIKA BETSABETH, ALVARADO ORTIZ ANGELICA DEL ROSARIO** y **PAUCAR BLAZ SASHA VANESSA** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios :

| | |
|--------------------------------|------------|
| ING° CARLOS ANCIETA DEXTRE | PRESIDENTE |
| ING° JULIO CALDERÓN CRUZ | SECRETARIO |
| ING° RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ | VOCAL |
| ING° GUMERCINDO HUAMANÍ TAPE | ASESOR |

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 53 y Acta N° 52 de fecha **TREINTA Y UNO DE AGOSTO DE 2019**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309-2017-CU de fecha 24 de octubre de 2017 y en su Cuarta Disposición Transitoria, norman los requisitos de los expedientes para la obtención del Grado Académico de Bachiller

DEDICATORIA

A mis padres Almagro Paucar y Aída Blaz, quienes han sido siempre mi apoyo a lo largo de mi vida.

Sasha Paucar.

A mis padres por su incondicional apoyo para terminar mis metas, a mi hijo Alonso y a toda mi familia.

Erika Bustamante.

A Dios por ser mi guía y mi madre Angélica Ortiz por apoyarme a lograr mis metas.

Angélica Alvarado.

ÍNDICE

| | Pag. |
|---|------|
| I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 6 |
| 1.1 Descripción de la Realidad Problemática | 6 |
| 1.2 Formulación del problema | 6 |
| 1.2.1 Problema General | 6 |
| 1.2.2 Problemas Específicos | 7 |
| 1.3 Objetivos de la Investigación | 7 |
| 1.3.1 Objetivo General | 7 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 7 |
| 1.4 Justificación | 7 |
| 1.4.1 Económica | 7 |
| 1.4.2 Tecnológica | 8 |
| 1.4.3 Social | 8 |
| 1.5 Limitantes de la Investigación | 8 |
| II MARCO TEÓRICO | 9 |
| 2.1 Antecedente de la Investigación | 9 |
| 2.1.1 Antecedentes Internacionales | 9 |
| 2.1.2 Antecedentes Nacionales | 10 |
| 2.2 Bases Teórico Científicas | 11 |
| 2.2.1 Reología | 11 |
| 2.2.2 Fluidos Newtonianos | 12 |
| 2.2.3 Fluidos no newtonianos | 14 |
| 2.2.4 Constantes Reológicas Fundamentales | 17 |
| 2.2.5 Modelos de ajuste para comportamientos reológicos | 18 |
| 2.2.6 Factores que Influyen en la Viscosidad | 21 |
| 2.2.7 Instrumentos Para Determinar la Viscosidad de Fluidos | 22 |
| 2.2.8 El Tomate Río Grande | 23 |
| 2.2.9 Salsa de Tomate | 24 |
| 2.3 Marco Conceptual | 25 |
| 2.4 Definición de Términos Básicos | 26 |
| 2.4.1 Resistencia del fluido | 26 |
| 2.4.2 Velocidad de Deformación o Cizallamiento | 26 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.4.3 | Esfuerzo de Corte | 26 |
| 2.4.4 | Fluido | 26 |
| 2.4.5 | Viscosidad | 26 |
| 2.4.6 | Reogramas | 27 |
| 2.4.7 | Curva de Fluidez | 27 |
| III | HIPÓTESIS Y VARIABLES | 28 |
| 3.1 | Hipótesis General y Específico | 28 |
| 3.1.1 | Hipótesis General | 28 |
| 3.1.2 | Hipótesis Específica | 28 |
| 3.2 | Definición Conceptual de Variables | 28 |
| 3.2.1. | Operacionalización de Variables | 30 |
| IV | DISEÑO METODOLÓGICO | 31 |
| 4.1 | Tipo y Diseño de Investigación | 31 |
| 4.1.1 | Por su finalidad | 31 |
| 4.1.2 | Por su diseño interpretativo | 31 |
| 4.1.3 | Por el nivel de estudios | 31 |
| 4.1.4 | Por su ámbito de desarrollo | 31 |
| 4.1.5 | Diseño de la Investigación | 31 |
| 4.2 | Método de Investigación | 31 |
| 4.2.1 | Primera etapa de la investigación : Identificar X_1 | 31 |
| 4.2.2 | Segunda etapa de la investigación : Identificar X_2 | 31 |
| 4.2.3 | Tercera etapa de la investigación : Identificar X_3 | 32 |
| 4.2.4 | Cuarta etapa de la investigación : Identificar Y | 32 |
| 4.3 | Población y Muestra | 32 |
| 4.3.1 | Población | 32 |
| 4.3.2 | Muestra | 32 |
| 4.4 | Lugar del Estudio | 33 |
| 4.5 | Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información | 33 |
| 4.5.1 | Materiales y Equipos | 33 |
| 4.5.2 | Método | 33 |
| 4.6 | Análisis y Procesamiento de Datos | 40 |
| V | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 59 |
| | CONCLUSIONES | 60 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| RECOMENDACIONES | 61 |
| VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pag. |
|---|-------------|
| Tabla 1 Constantes fundamentales para diferentes tipos de fluidos | 17 |
| Tabla 2 Características Físicoquímicas de la pasta de tomate | 27 |
| Tabla 3 Resultados obtenidos a diferentes temperaturas y mallas | 42 |
| Tabla 4 Resultados del valor de la significancia para las diferentes temperaturas y mallas | 47 |
| Tabla 5 Parámetros ajustados al modelo de Otswald de Waelle a diferentes temperaturas y mallas | 47 |
| Tabla 6 Parámetros ajustados al modelo de Herschel a diferentes temperturas y mallas | 47 |
| Tabla 7 Parámetros ajustados al modelo de Cansson a diferentes temperaturas y mallas | 48 |
| Tabla 8 Parámetros ajustados al modelo de Sisko a diferentes temperaturas y mallas | 48 |
| Tabla 9 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Otswald | 49 |
| Tabla 10 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Herschel | 50 |
| Tabla 11 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Sisko | 51 |
| Tabla 12 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Cansson | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Perfil de velocidad entre dos placas paralelas, Ibarz 2005 | 13 |
| Figura 2 Curvas de fluidez y viscosidad para fluidos newtonianos, Ramírez 2006 | 14 |
| Figura 3 Comparación de las curvas de flujo, Ibarz 2005 | 15 |
| Figura 4 Comportamiento reológico de un fluido pseudoplástico, Bookfield 2014 | 15 |
| Figura 5 Variables de Investigación | 29 |
| Figura 6 Diseño de la Investigación | 32 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 7 | Limpieza externa del tomate | 34 |
| Figura 8 | Pelado de tomate | 34 |
| Figura 9 | Limpieza Interna del tomate | 35 |
| Figura 10 | Trituración del tomate | 35 |
| Figura 11 | Muestra triturada sin pasar malla | 36 |
| Figura 12 | Muestra triturada pasada por malla | 36 |
| Figura 13 | Baño de temperatura | 37 |
| Figura 14 | Viscosímetro rotacional | 38 |
| Figura 15 | Viscosímetro con baño de temperatura | 38 |
| Figura 16 | Cilindro CC39 con pasta de tomate | 39 |
| Figura 17 | Software de viscosímetro | 39 |
| Figura 18 | Verificación de los datos por el software | 40 |
| Figura 19 | Editor de datos | 41 |
| Figura 20 | Editor de daos para evaluar la normalidad de los datos | 41 |
| Figura 21 | Curva de fluidez a 25°C a diferentes mallas | 42 |
| Figura 22 | Curva de Fluidez a 30°C a diferentes mallas | 43 |
| Figura 23 | Curva de Fluidez a 35°C a diferentes mallas | 43 |
| Figura 24 | Curva de Fluidez a 25°C a diferentes mallas | 53 |
| Figura 25 | Curva de Viscosidad a 35°C a diferentes mallas | 53 |
| Figura 26 | Curva de Fluidez a 30°C a diferentes mallas | 54 |
| Figura 27 | Curva de Viscosidad a 30°C a diferentes mallas | 54 |
| Figura 28 | Curva de Fluidez a 35°C a diferentes mallas | 55 |
| Figura 29 | Curva de Viscosidad a 30°C a diferentes mallas | 55 |
| Figura 30 | Curva de Fluidez a 25°C a diferentes mallas | 56 |
| Figura 31 | Curva de Viscosidad a 25°C a diferentes mallas | 56 |
| Figura 32 | Curva de Viscosidad a 30°C | 57 |
| Figura 33 | Curva de Viscosidad a 30°C a diferentes mallas | 57 |
| Figura 34 | Curva de Fluidez a 35°C a diferentes mallas | 58 |
| Figura 35 | Curva de Viscosidad a 35°C a diferentes mallas | 58 |

INTRODUCCIÓN

La Reología estudia la forma como los materiales responden a esfuerzos o deformaciones aplicados en un tiempo determinado.

Diversos alimentos, tales como la leche, jarabes, jugos clarificados y aceites vegetales, reológicamente hablando, son fluidos newtonianos, para este tipo de fluidos, el conocimiento de su viscosidad en función de la temperatura y la concentración es suficiente para el diseño de la ingeniería de procesos, sin embargo, una gran cantidad de fluidos son de naturaleza no newtoniana, lo que ocasiona que el estudio de su comportamiento reológico sea muy complejo y su viscosidad depende de la temperatura, composición, esfuerzo, velocidad de corte, tiempo de aplicación del esfuerzo de corte, condiciones de obtención y preparación de la muestra.

El tomate es uno de los más importantes productos de frutas. Se comercializa principalmente como productos procesados, es decir, pastas, concentrados, salsa de tomate, y así sucesivamente. Aspectos importantes en la calidad de dichos productos son el color, gusto, y la viscosidad, los cambios de viscosidad durante el procesamiento de tomate están estrechamente relacionados con los cambios en la pectina, una pared celular polisacárido, debido a la acción de pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG). Por lo tanto, ambos sistemas enzimáticos deben ser controlados durante el procesamiento para obtener la viscosidad deseada.

El presente trabajo establecerá la relación de viscosidad y velocidad de corte para la industrialización del tomate, empleando el mejor modelo matemático.

I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Hoy en día, las industrias alimentarias procesan grandes cantidades de frutas, verduras y diversos alimentos para la producción de productos derivados como pastas, purés, mermeladas, etc. El éxito de estas industrias se basa en gran parte a la calidad de sus productos, reflejada mediante la aceptación de los consumidores, es por esto que el estudio del comportamiento reológico y propiedades reológicas de estos alimentos es muy importante ya que al determinarse y conocerse estos, se podrá tener un control eficiente sobre el proceso de producción y así obtener productos de calidad.

De la producción de tomate, la mayor parte se destina al mercado interior para el consumo directo debido a su calidad y estabilidad de la Producción.

Podemos considerar, además, que la variedad de tomate “Río Grande” tiene las siguientes ventajas: alta productividad; idoneidad para la conservación; transporte sin problemas; resistencia a la sequía y parásitos; resistencia a enfermedades; densidad de fruta; carnosidad de frutas; excelente sabor.

Surge por ello la necesidad de caracterizar el comportamiento reológico de la pasta de tomate Río Grande, haciendo uso de las constantes reológicas fundamentales, por medio de la determinación experimental de la viscosidad de ésta.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el modelo reológico óptimo relacionado a la pasta de tomate Río Grande?

1.2.2 Problemas Específicos

- 1) ¿Cuál es la relación numérica entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte determinado experimentalmente para la pasta de tomate Río Grande?
- 2) ¿Cómo debe ser la correlación no lineal de los datos experimentales conducentes a obtener los parámetros reológicos asociados a la pasta de tomate Río Grande?
- 3) ¿Cuál es el reograma óptimo asociado a la pasta de tomate Río Grande a temperaturas y mallas diversas?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar el modelo reológico óptimo asociado a la pasta de tomate Río Grande.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Determinar experimentalmente la relación numérica entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte para la pasta de tomate Río Grande.
- 2) Calcular los parámetros reológicos de los modelos asociados a la pasta de tomate Río Grande mediante el tratamiento estadístico.
- 3) Determinar el reograma óptimo asociado a la pasta de tomate Río Grande a las temperaturas y mallas de prueba.

1.4 Justificación

Las razones que justifican la investigación propuesta son las siguientes :

1.4.1 Económica

La variedad de tomate Río Grande es resistente al calor y la sequía, así como a muchos parásitos y enfermedades. Las frutas resisten el transporte prolongado, esto si son arrancadas en verde, maduran y en buenas condiciones mantienen intactas de 2 a 3 meses, lo que cultivarla y cosecharla la hace rentable.

1.4.2 Tecnológica

El uso del reómetro rotativo RheoLab QC Anton Paar está basado en la más innovadora y reciente tecnología usadas en reómetros de investigación, el cual proporciona un excelente desempeño combinado con su manejo sencillo y diseño robusto.

1.4.3 Social

El estudio del comportamiento reológico es muy importante porque controla el buen funcionamiento del proceso productivo, así como la calidad y los parámetros de textura de la pasta de tomate para que se encuentren dentro del rango deseable para los consumidores.

1.5 Limitantes de la Investigación

El tiempo de sembrado de febrero a mayo y el tiempo de cosecha puede ser de 3 a 6 meses de hecha su plantación.

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedente de la Investigación

El presente trabajo se basa en las siguientes investigaciones:

2.1.1 Antecedentes Internacionales

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

(De Hombre, 2016), en el artículo *Propiedades Reológicas de la Pasta de Tomate Envasada Asépticamente en la Fábrica Valle de Cuajeri*, determinaron las características reológicas del concentrado de tomate que se elabora en el valle de Cuajeri, Guantánamo. Se utilizó un reómetro Antón Paar para determinar las curvas de flujo del producto y el modelo reológico de mejor ajuste. Concluyeron que todos los concentrados se comportan como fluidos pseudoplásticos y que la Ley de Potencia es una expresión adecuada para describir dicho comportamiento.

(Gutierrez, 2013), en su trabajo de investigación *Efecto del tipo de carnaza sobre las propiedades reológicas del licor de gelatina pura de origen bovino*, determinó las propiedades reológicas de licor de gelatina pura de origen bovino, para lo cual se tomaron como factores principales de estudio, el tipo de carnaza (fresca y seca), la temperatura del licor de gelatina (50°C, 55°C y 60°C) y la concentración del licor de gelatina (43, 38, 34, 32, 30, 28 y 26 Brix),

utilizando un viscosímetro rotacional BROOKFIELD LVTD , concluyo que el comportamiento reológico del licor de gelatina es de tipo Newtoniano y no Newtoniano este último analizado a través del modelo de Ostwald de Waele o la ley de Potencia .

(Abu-jdayil, 2004), en su investigación *A Comparative Study of Rheological Characteristic of Tomato Paste and Tomato Powder Solutions*, estudiaron las curvas de flujo y las propiedades de flujo dependientes del tiempo de la pasta de tomate y la reconstituida del tomate, se evaluaron a diferentes concentraciones y temperaturas ,encontraron que el modelo de Bingham es el más apropiado para ajustar las curvas de flujo de pasta de tomate, también que la viscosidad de Bingham aumenta con la concentración y disminuye con la temperatura. Las curvas de flujo de la solución reconstituida de tomate también se ajustaron al modelo de Bingham. La pasta de tomate mostro un comportamiento tixotrópico a bajas tasas de cizallamiento y se convirtió en antitixotrópico en altas tasas de cizallamiento.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

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

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

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

(Márquez, 2012), en su *artículo Efecto de la temperatura y concentración de solidos solubles sobre las propiedades reológicas de la pulpa de la guanábana* , evaluaron las propiedades reológicas de la guanábana a 30°C, 40°C, 50°C y 60°C y concentraciones de solidos solubles de 15, 20, 25 y 30 brix usando un reómetro rotacional, concluyeron que el comportamiento fue de un fluido plástico general y fueron ajustados adecuadamente por el modelo de Herschel – Bulkley

2.2 Bases Teórico Científicas

2.2.1 Reología

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

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

Existen tres tipos de fluidos : Newtonianos (proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); No Newtonianos (no hay

proporcionalidad entre el Esfuerzo Cortante y la Velocidad de Deformación); y Viscoelásticos (se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos) (Ramírez, 2006)

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

$$\tau = \mu \frac{du}{dt} = u \cdot \gamma$$

(Ley de Viscosidad de Newton)

Donde :

τ : Esfuerzo Cortante (mPa)

μ : La Viscosidad Dinámica del Fluido (mPa·s)

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

2.1.3 Fluidos Newtonianos

La ley de viscosidad de Newton establece que en movimientos fluidos laminares existe una relación lineal entre las tensiones tangenciales y los gradientes de velocidad, siendo la constante de proporcionalidad una propiedad física del fluido llamada viscosidad dinámica o absoluta μ . (Ibarz, 2005)

Aquellos fluidos que verifican la ecuación de Newton, se denominan fluidos newtonianos, y muchos fluidos comunes tanto líquidos como gaseosos se comportan siguiendo esa relación (Ibarrola, p.1) Este comportamiento se ilustra en la **Figura 1 (Ver pag. Nº 9)**, en la que un fluido está contenido entre dos platos paralelos. El plato superior es obligado a moverse con una velocidad v , relativa al plato inferior. Esta velocidad es debida a la aplicación de una fuerza cortante F por unidad de área (se considera que los platos son de

extensión infinita o que los efectos de borde son despreciables). Las capas de 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 o láminas 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)

Hay que tener en cuenta también que la viscosidad de un fluido newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo, aunque puede depender tanto de la temperatura como de la presión a la que se encuentre.

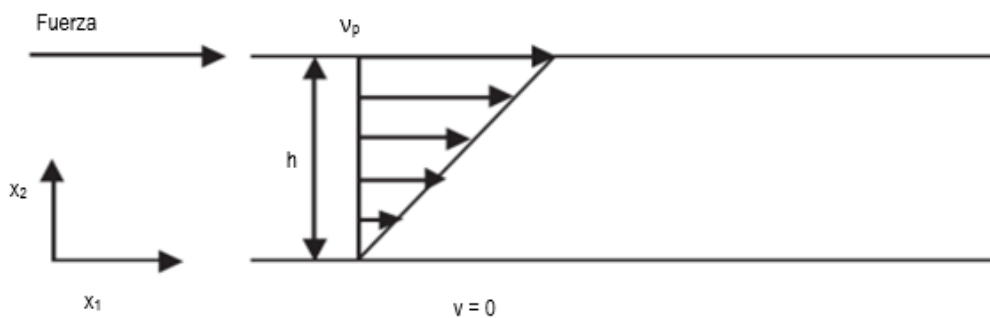


Figura 1 Perfil de velocidad entre dos placas paralelas, Ibarz 2005

Para poder entender mejor el comportamiento del fluido newtoniano se muestran dos graficas las cuales se representan en la **Figura 2 (Ver pag. Nº 14)** : (τ) esfuerzo de corte versus $(\dot{\gamma})$ llamada “curva de fluidez” y velocidad de corte y (μ) viscosidad versus $(\dot{\gamma})$ velocidad de corte llamada “curva de viscosidad” . (Ramírez, 2006)

2.1.4 Fluidos no newtonianos

- a) **Fluidos No Newtonianos Independientes del Tiempo.** - Los fluidos no newtonianos independientes del tiempo, se caracterizan porque las tensiones tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación, y se representan en tres formas equivalentes. (Ibarrola, 2019)

$$\tau = f \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) = f \left(\frac{d\gamma}{dt} \right) = (\gamma) .$$

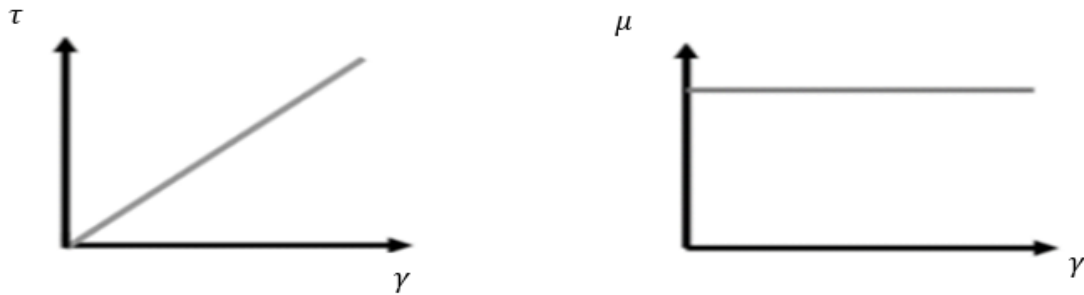


Figura 2 Curvas de fluidez y viscosidad para fluidos newtonianos, Ramírez 2006

La gran mayoría de los fluidos no newtonianos que tienen aplicaciones en problemas de ingeniería caen dentro de esta categoría, y en ciertos casos algunos fluidos dependientes del tiempo pueden ser aproximados o modelados como fluidos independientes del tiempo. Para visualizar y analizar los fluidos no newtonianos resulta más cómodo representarlo en un sistema de ejes de coordenada cartesianos τ vs γ , según se indica en la **Figura 3 (Ver pag. N° 15)** Pueden identificarse 4 tipos de fluidos no newtonianos independientes del tiempo. (Ibarrola, 2019)

- 1) **Fluidos Seudoplástico.**– En este fluido la viscosidad disminuye cuando la velocidad de corte se incrementa. Es el más común de los no-Newtonianos. Este tipo de fluido se muestra en la **Figura 4 (Ver pag. N° 15)**
- 2) **Fluidos Dilatantes.**– La dilatancia es una propiedad que se da cuando al haberse producido un empaquetamiento de las partículas de un cuerpo a este se le aplica una fuerza sobre ellas, esto hace que estas se alteren y que las partículas dispersas aumenten.

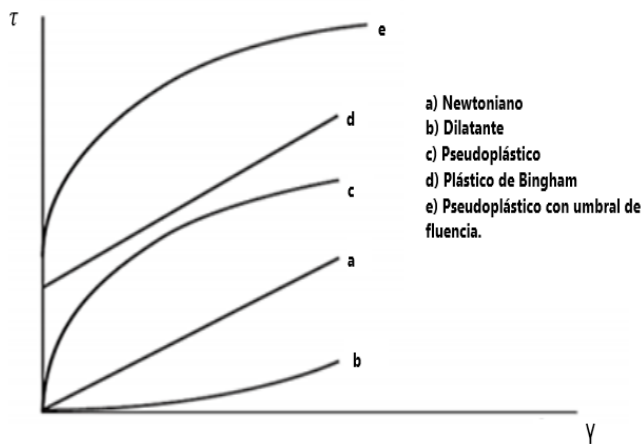


Figura 3 Comparación de las curvas de flujo, Ibarz 2005

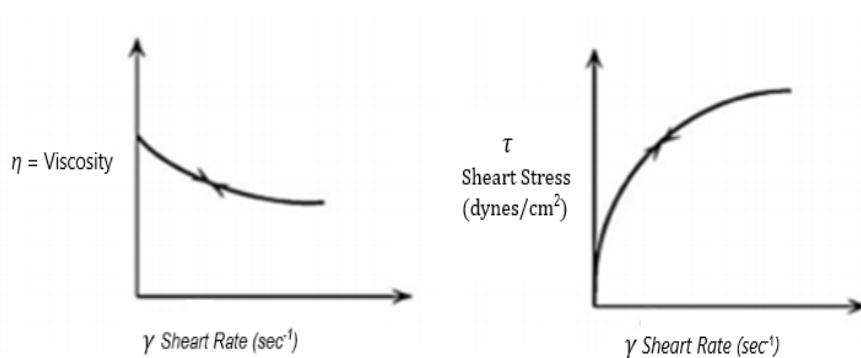


Figura 4 Comportamiento reológico de un fluido pseudoplástico, Bookfield 2014

Además, conforme se incrementa la velocidad de deformación aplicada, se producirá una gran cantidad de turbulencia y dará como resultado un mayor esfuerzo cortante.

Ejemplo de este tipo de fluido son la harina de maíz, las disoluciones de almidón muy concentradas, la arena mojada, etc. (Ramirez,2006)

- 3) Fluidos Plásticos.** - Este tipo de fluidos se comporta como un sólido en condiciones estáticas. Una cierta cantidad de tensión debe ser aplicada al fluido antes de que fluya, llamada “tensión de fluencia” (yield point) o “esfuerzo umbral”. La salsa de tomate es un buen

ejemplo de tipo de fluidos, puesto que el valor de la tensión de fluencia impide que fluya del envase, sin embargo, si aplastamos y empujamos se vencerá dicho valor y comenzará a fluir. Una vez que se supera el valor del esfuerzo umbral y comienza el flujo, los fluidos plásticos pueden mostrar comportamiento newtoniano, pseudoplástico o características de flujo dilatante. (Brookfield, 2014), mencionado en Berrospi, 2017

- b) Fluidos No Newtonianos Dependientes del Tiempo.-** Existen otro tipo de fluidos cuya viscosidad aparente depende también del tiempo durante el cual actúa la tensión tangencial τ . Se los clasifica en fluidos tixotrópicos y reopécticos.
- c) Fluidos Tixotrópicos.-** Es un fluido en la cual la viscosidad aparente decrece con el tiempo cuando es sujeto a una tasa de cizalladura constante (respuesta tixotrópica) Fluidos de esta clase son considerados como pequeñas partículas agregadas y unidas por fuerzas débiles. Cuando el fluido es sometido a un esfuerzo cortante ocasiona que las partículas de agregados sean distorsionadas, ofreciendo así menos resistencia al flujo por lo que la viscosidad decrece con el tiempo hasta que un valor constante se alcanza. Este valor constante puede corresponder al punto donde la razón de la distorsión estructural del fluido es igual a la razón de reformación estructural, o a la condición en la cual no hay más estructura para ser fracturada. Una vez que la fuerza cortante es removida, los agregados pueden reestructurarse con el tiempo, a medida que las partículas colisionan unas con otras debido al movimiento browniano, un ejemplo de este fluido es el yogurt (Ciro, 2006)
- d) Fluidos Reopécticos.-** La viscosidad aparente aumenta con el tiempo, cuando se somete el alimento a un determinado gradiente de velocidad, mostrando un comportamiento al flujo contrario a los tixotrópicos. El modelo reológico aplicable generalmente a estos fluidos es el de la ley de la

potencia modificado para tomar en consideración la dependencia del tiempo. También se pueden usar otros modelos con mayor o menor éxito.

2.1.5 Constantes Reológicas Fundamentales

En los fluidos no newtonianos se consideran, como mínimo, dos parámetros de viscosidad; éstos son los índices de consistencia K , que nos da la proporcionalidad entre la relación de deformación y el esfuerzo de corte aplicado y nos mide el grado de viscosidad en el fluido aplicado, y n el índice de comportamiento reológico n , es un número adimensional que indica la cercanía al flujo newtoniano (Gamarra, 2013) Para un líquido newtoniano n es 1; para un fluido dilatante n es mayor que 1; y para un fluido pseudoplástico n es menor que 1

Tabla 1 Constantes fundamentales para diferentes tipos de fluidos

| Tipo de Flujo | Índice de Consistencia | Índice de Comportamiento al flujo | Umbral de Fluencia | Ejemplo |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------|--|
| Newtoniano | Viscosidad $K > 0$ | $n = 1$ | $\sigma_0 = 0$ | Jugos Clarificados, aceites, leches, jarabes de pastelería |
| Seudoplástico | Viscosidad aparente $K > 0$ | $0 < n < 1$ | $\sigma_0 = 0$ | Jugos Concentrados cremogenados y purés de fruta, almidón |
| Plástico de Bingham | Plasticidad constante | $n = 1$ | $\sigma_0 > 0$ | Aderezos de ensalada, salsa de dulce de chocolate, Ketchup |
| Tipo Mixto | Índice de Consistencia de | $0 < n < 1$ | $\sigma_0 > 0$ | Mermelada, jalea |
| Dilatante | Índice de Consistencia de | $1 < n < 4$ | $\sigma_0 = 0$ | Mantequilla de maní, pastas de salchicha |

2.1.6 Modelos de ajuste para comportamientos reológicos

- a) **Modelo de Ostwald de Waele.**– Recibe el nombre de la ley de Potencia y se representa de la siguiente manera :

$$\tau = k * \gamma^n$$

Es un modelo representado por los siguientes parámetros :

K : Índice de consistencia (Pa.sn)

n : Índice de comportamiento al flujo (adimensional)

Cuando el índice de comportamiento al flujo es igual a 1 el modelo de Ostwald representa el comportamiento de un fluido newtoniano, cuando es mayor a 1 representa un comportamiento de fluido dilatante y cuando es menor que 1 el comportamiento de un fluido pseudoplástico.

Este modelo es capaz de predecir una viscosidad aparente de valores infinitos para fluidos dilatantes a altas velocidades de corte y nula para fluidos pseudoplasticos, por el contrario, predice viscosidad limite a esfuerzo de corte cero y nula para fluidos dilatantes e infinita para pseudoplasticos ,por todo esto es más adecuado usar el modelo de la ley de potencia truncada .

- b) **Modelo de la Ley Potencial Truncada.**– En este modelo el fluido se comporta como newtoniano hasta llegar a un valor de velocidad de corte (γ_1), luego de esto fluye de acuerdo con el modelo de Ostwald :

$$\begin{array}{ll} \gamma < \gamma_1 & \tau = \tau_1 \left(\frac{\gamma}{\gamma_1} \right) \\ \gamma > \gamma_1 & \tau = \tau_1 \left(\frac{\gamma}{\gamma_1} \right)^n \end{array}$$

Es un modelo que consta de tres parámetros, corrige la poca consistencia del modelo de Otswald cuando las velocidades de corte son bajas.

- c) **Modelo de Sisko.**– El modelo de Sisko está dada por la siguiente ecuación :

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

Siendo, n_{ap} la viscosidad aparente, γ , el gradiente de velocidad aplicada, k_s , el índice de consistencia, n_s , el índice de comportamiento y n_∞ , la viscosidad a gradiente infinito. Este modelo puede ser aplicado en procesos que implican altos gradientes de velocidad. Este modelo se puede considerar como una generalización del modelo de la potencia y que a su vez tiene una cierta componente newtoniana, siendo un modelo adecuado para sistemas en lo que bajo ciertas condiciones de operación pueda alcanzar un cierto comportamiento newtoniano. (Quintáns, 2008)

- d) **Modelo de Eyring.**– La ecuación que representa este modelo es el siguiente :

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

Este modelo consta de dos parámetros el cual cuando hay finitos de τ predice un comportamiento pseudoplástico y un comportamiento de fluido newtoniano cuando la velocidad de corte tiende a cero en cuyo caso cuyo caso $n = n_0$. Este modelo se basa la teoría cinética de los líquidos.

- e) **Modelo de Ellis.**– Este modelo consta tres parámetros :

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

Cuando el parámetro $\alpha > 1$, el modelo de Ellis predice, para valores de esfuerzo de corte bajos, un comportamiento newtoniano, cuando $\alpha < 1$ este modelo, a valores altos de esfuerzo cortante, converge hacia la ley de Newton. La velocidad dinámica límite estará dada en ambos casos por n_0

El parámetro $\tau_{1/2}$ + representa el valor del esfuerzo cortante cuando el valor de viscosidad dinámica sea la mitad de n_0

- f) **Modelo de Reiner – Philippoff.**- Este modelo está representado por la siguiente ecuación :

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

Donde :

n_0 : representa baja velocidad de corte

n_∞ : representa alta velocidad de corte

Este modelo representa el comportamiento entre n_0 y n_∞

El parámetro τ_s define el valor del esfuerzo de corte cuando la viscosidad adquiere un valor medio entre n_0 y n_∞

- g) **Modelo de Bingham.**– Se caracterizan por presentar una tensión inicial o residual, a partir de la cual el fluido presenta una relación lineal entre tensión de corte y tasa de deformación. (Toneli, Murr & Park, 2005, p.185)

Este modelo está dado por la siguiente ecuación :

$$\sigma = k\gamma + \sigma_0$$

Donde σ_0 , es el esfuerzo de corte límite, por encima del cual se produce el derramamiento newtoniano. (Sanchez & Franco, 2017)

h) Modelo de Herschel – Bulkley.- Esta dada por la siguiente ecuación :

$$\begin{aligned} \tau \leq \tau_0 & \quad \gamma = 0 \\ \tau > \tau_0 & \quad \tau = \tau_0 + k\gamma^n \end{aligned}$$

Este modelo se aplica a fluidos plásticos pseudoplasticos y plásticos dilatantes, se basa en la ecuación de Bingham y fue desarrollado para la aplicación en suspensiones no tixotrópicas de partículas.

Cuando el índice de comportamiento n es mayor a 1 se puede predecir un comportamiento plástico dilatante, mientras cuando el índice de comportamiento n es menor a 1 se predice un comportamiento plástico pseudoplastico .Para un índice de comportamiento igual a 1 el modelo es equivalente al de Bingham con $K = n_0$ (Sánchez & Franco,2017)

i) Modelo de Casson, Carreau y Cross.- A continuación, se muestra en ecuaciones correspondientes para los modelos de Casson, Carreau y Cross.(Sánchez & Franco, 2017)

$$\text{Casson} \quad : \quad \tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K_1\gamma^{0,5}$$

$$\text{Carreau} \quad : \quad n_\infty + (n_0 - n_\infty) \cdot [1 + (k_1 \cdot \gamma)^2]^{\frac{n-1}{2}}$$

$$\text{Cross} \quad : \quad N = n_\infty + \frac{n_0 - n_\infty}{1 + k_1}$$

2.1.7 Factores que Influyen en la Viscosidad

La viscosidad está afectada por innumerables factores que dependen de los sólidos suspendidos y las características del medio de suspensión, influyen también el tamaño y la forma de las partículas, entre otros factores tenemos la

concentración, el peso molecular, la temperatura, la velocidad de corte y la presión . (Cubero, 2002), mencionado por Sánchez & Franco 2017

Entre la viscosidad y la temperatura existe una relación inversamente proporcional lo que quiere decir que el aumento de temperatura genera una disminución de la viscosidad.

En los gases, la temperatura con la viscosidad del gas tienen una proporción directa es decir cuando aumenta una produce el aumento de la otra, es decir provoca mayor fricción. (Sanchez & Franco 2017). Por otro lado, un aumento en la concentración del soluto genera un incremento no proporcional en la viscosidad a temperatura constante. A la misma concentración de soluto, un aumento en el peso molecular provoca un aumento no proporcional en la viscosidad del fluido. El efecto de la presión normalmente es ignorado en el estudio de los alimentos, porque la viscosidad de la mayoría de los líquidos es esencialmente constante en un rango de presión de 0 a 100 atm.

Las suspensiones de partículas simétricamente grandes (aproximadamente de 50 micras o mayores) tienen características newtonianas, en el rango newtoniano, la viscosidad está en función de la concentración de sólidos, en suspensiones de partículas más pequeñas o de formas asimétricas poseen la reología no newtoniana. Este incremento se debe principalmente a la forma en que están entrelazadas las partículas. Altas concentraciones de materia suspendida pueden encontrarse en productos no newtonianos que presenten flujo plástico o dilatante. Finalmente, la viscosidad será una función de la velocidad de corte para los fluidos no newtonianos. (Sanchez & Franco 2017)

2.1.8 Instrumentos Para Determinar la Viscosidad de Fluidos

Los viscosímetros son equipos que miden la viscosidad de un fluido en un rango de velocidades de corte muy limitado, a su vez estos no tienen la capacidad de medir propiedades visco elásticas.

Existen 3 tipos :

- a) **Capilares.**- Son los instrumentos más empleados para medir las viscosidades por su relativa facilidad en su uso. Este equipo consta de un tubo capilar por donde pasara el fluido donde se observara una distribución de velocidades en el tubo tipo parabólico en fluidos newtonianos y no newtonianos que son independientes del tiempo.
- b) **Rotacionales.**- Este tipo de viscosímetros tienen la capacidad de provocar un flujo de muestra que pueda producir medidas de viscosidad a diferentes velocidades de corte. Estos viscosímetros constan de dos partes que se encuentran separadas por el fluido a estudiar, dichas partes pueden ser dos cilindros, una superficie, dos superficies planas paralelas, y un cono de pequeño ángulo. Aquí encontramos a los cilindros concéntricos; Bob and cup, platos paralelos, cono y plato (Slaterry 1961), mencionado por (Sánchez & Franco 2017)
- c) **De Cuerpo Móvil.**- En este tipo de viscosímetros, permite determinar la viscosidad en las características del movimiento de un cuerpo que puede ser una esfera, burbuja, disco, etc. Un ejemplo es el viscosímetro de caída de bola o viscosímetro de Poiseuille (Mott, 2006), mencionado por (Sanchez & Franco 2017)
- d) **Los Reómetros.**- Son equipos de gran precisión y altamente sensibles pueden medir tanto viscoelasticidad de fluidos semi sólidos y sólidos , así como medir viscosidades dentro de un amplio rango de esfuerzos de corte así como de velocidades de corte. Existen diferentes tipos de reómetros, como son capilares y rotacionales. Los reómetros funcionan provocando un flujo del material experimental y midiendo el esfuerzo generado o viceversa (Llumiquinga, 2012) mencionado por Sánchez y Franco 2017

2.1.9 El Tomate Río Grande

El tomate Río Grande contiene principalmente carbohidratos y fibra, es la principal fuente dietética del antioxidante licopeno, el cual se sabe que tiene muchos beneficios para la salud, incluyendo la reducción del riesgo de enfermedades graves como las del corazón y el cáncer.

También son una gran fuente de vitamina C, potasio, ácido fólico y vitamina K

Según estimaciones del programa de investigación en hortalizas de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en las zonas Chancay, Huaral, Cañete se siembra el tomate rio grande, es responsable de un 60% a 70% de la producción de tomate en las zonas antes mencionadas.

Presentan un tamaño de fruto aproximadamente de 4 cm con un peso de 140 g como máximo. El fruto es de forma cuadrada y de consistencia muy firme, son plantas de maduración media a tardía y tienen adaptación climática amplia, son de crecimiento determinado y presentan un buen follaje. Tienen gran capacidad para conservar los frutos en buen estado en la planta, agregándose a esto el pedúnculo desprendible que facilita la separación del fruto de la planta en la cosecha, evitándole así mayores daños a la planta

2.1.10 Salsa de Tomate

Los tomates que van a ser usados en la elaboración de la salsa de tomate se seleccionan según su estado de madurez y variedad. Es muy importante conocer las características fisicoquímicas, así como su calidad intrínseca que se puede medir según su acidez, contenido de azúcares y materia seca. Por este motivo los tipos de tomate más utilizados para hacer salsa son los tomates de pera y los de ensalada, porque tienen menos agua en su interior y se aprovechan más.

Después de la elaboración de la salsa, se envasa manualmente, luego se pasteuriza haciendo hervir los recipientes al baño de María para garantizar su conservación.(monografías.com)

Características fisicoquímicas de la salsa de tomate **(Ver Tabla 2 Pag. N° 25)**

Aspecto. - Líquido, ligeramente consistente, con la presencia de especias.

Sabor.- Característico de la salsa de tomate.

Color.- Rojo con presencia de especias.

Aroma.- Característico de la salsa de tomate.

2.2 Marco Conceptual

El tomate es un producto muy comercializado en la industria alimentaria debido a que de este se puede derivar otros productos entre ellos la pasta de tomate. Al tener la pasta de tomate gran demanda en el mercado es muy importante estudiar su comportamiento reológico el cual servirá para brindar las características óptimas para la comercialización y proceso.

Tabla 2 *Características fisicoquímicas de la salsa de tomate*

| | Min | Max | Unidad de Medida |
|--|------------|------------|-------------------------|
| °Brix | 10,5 | 13,0 | °Brix |
| pH | 4,0 | 4,4 | - |
| Acidez Titulable | - | 1,2 | % |
| Sal(cloruro de sodio) – natural de la fruta | 1,0 | 2,5 | % |
| Consistencia Bostwick (12,0°Brix a 20°C) | - | 12,0 | cm ³ /seg |

Aguiar C. Especificaciones estándar salsa de tomate

La 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, Cansson, Herschel – Bulkey, Ostwald de Waele, etc.

Debido a la poca información que existe acerca de las características de este fluido y la importancia que tiene en la determinación de la calidad de la pasta de tomate, en el presente trabajo se realiza el estudio reológico de este

producto tomando en cuenta la influencia de la temperatura y diversos tipos de malla.

2.2 Definición de Términos Básicos

2.2.1 Resistencia del fluido

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

2.2.2 Velocidad de Deformación o Cizallamiento

El cizallamiento ejercido sobre el material es relacionado con la velocidad relativa de movimiento y la distancia entre platos.

2.2.3 Esfuerzo de Corte

La fuerza F requerida para mover el plato superior se relaciona con el área en contacto con la sustancia y para llegar a una medida específica es necesario dividir la fuerza total necesaria para el movimiento por el área en contacto con la sustancia. A esta relación se le denomina Esfuerzo de Corte τ .

2.2.4 Fluido

Sustancia que no es capaz de resistir fuerzas o esfuerzos de corte, sin sufrir deformación aunque el esfuerzo sea pequeño. También se le denomina a las sustancias que son capaces de fluir. (Duarte, 2001), mencionado por Berrospi & Villacorta 2017.

2.2.5 Viscosidad

La viscosidad de un fluido es una medida de su “resistencia a la deformación”. La viscosidad se debe a la fuerza de fricción interna que se desarrolla entre las diferentes capas de los fluidos a medida que se obligan a moverse una con relación a las otras. En los líquidos, la viscosidad se origina por las fuerzas de cohesión entre las moléculas mientras que, en los gases por las colisiones moleculares, además de que ésta varía mucho con la temperatura. (Berrospi & Villacorta, 2017)

2.2.6 Reogramas

Son gráficos que representan el comportamiento de los fluidos o sus parámetros reológicos, estos se obtienen a partir de datos experimentales.

2.2.7 Curva de Fluidéz

Es la representación gráfica de los análisis reológicos de los fluidos, estos se grafican a partir de los valores de esfuerzo de corte (Pa) en el eje de ordenadas y la velocidad de corte ($1/S$) en el eje de abscisas .

III HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis General y Específico

3.1.1 Hipótesis General

La pasta de tomate Río Grande tiene un comportamiento reológico característico de los fluidos pseudoplásticos y el modelo que mejor se ajusta es el de Ostwald de Waele.

3.1.2 Hipótesis Específica

- a) Existe una relación no lineal entre el esfuerzo de corte y velocidad de corte asociado a la pasta de tomate Río Grande.
- b) El tratamiento estadístico de los datos de esfuerzo de corte y velocidad de corte permite obtener los parámetros de los modelos asociados a la pasta de tomate Río Grande.
- c) El reograma de la pasta de tomate rio grande tiene el comportamiento típico de un fluido no newtoniano específicamente al del fluido pseudoplástico.

3.2 Definición Conceptual de Variables

Por su naturaleza, las variables identificadas son del tipo cualitativas y cuantitativas.

Por su dependencia, la variable Y es dependiente y las variables X_1 , X_2 , X_3 son independientes.

Es decir :

$$Y : f(X_1, X_2, X_3)$$

En la **Figura 5 (Ver pag. N° 29)** se muestra la relación entre las variables :

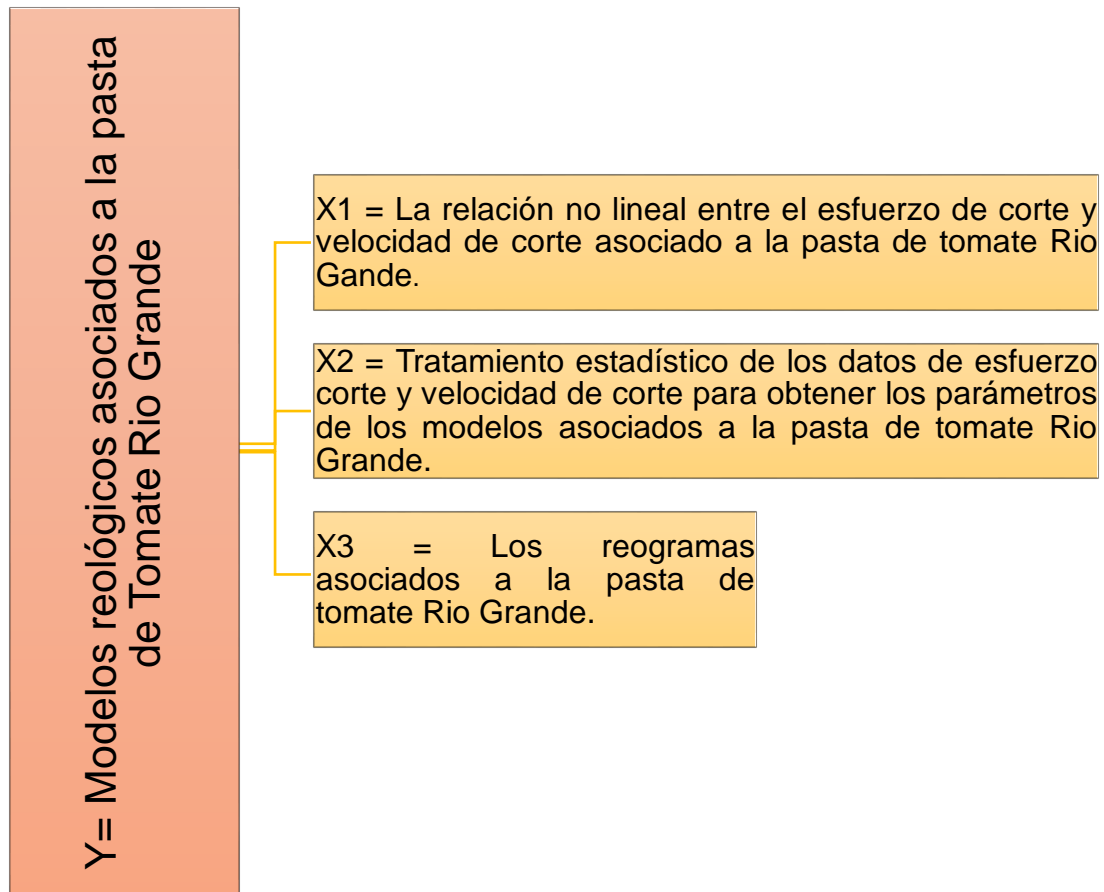


Figura 5 Variables de Investigación

3.2.1. Operacionalización de Variables

Determinación de modelos reológicos asociado a la pasta de tomate Río Grande (*Solanum Lycopersicum*)”

| VARIABLE DEPENDIENTE | DIMENSIONES | INDICADORES | MÉTODO |
|---|--|---|---|
| Y = Modelos matemáticos del fluido no newtoniano asociado a la pasta de tomate Río Grande. | Reproducibilidad de los datos experimentales mediante los modelos reológicos asociados al comportamiento de la pasta de tomate Río Grande. | Los índices de correlación múltiple y análisis de la varianza. | Correlacionando las variables X_1 , X_2 y X_3 . |
| VARIABLES INDEPENDIENTES | DIMENSIONES | INDICADORES | MÉTODO |
| X₁ = La relación no lineal entre el esfuerzo de corte y velocidad de corte asociado a las muestras de pasta de tomate Río Grande. | Análisis cualitativo de la relación entre la velocidad de corte y esfuerzo de corte. | Diferencias respecto a la relación lineal. | Grafico |
| X₂ = Tratamiento estadístico de los datos de esfuerzo corte y velocidad de corte para obtener los parámetros de los modelos asociados a las muestras de pasta de tomate Río Grande. | Correlación cuantitativa entre los datos de esfuerzo de corte y velocidad de corte asociados a la pasta de tomate Río Grande. | Índice de correlación y varianza | Regresión no lineal. |
| X₃ = Los reogramas asociados a la pasta de tomate Río Grande. | Forma típica de los reogramas de los modelos que representan el comportamiento reológico de la pasta de tomate Río Grande. | Desviación respecto al comportamiento a las propiedades del fluido No Newtoniano. | Grafico |

IV DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y Diseño de Investigación

4.1.1 Por su finalidad

- a) **Aplicada.**– Esta se dará porque al obtener los resultados de nuestra investigación, los cuales resultaron de aplicar los conocimientos teóricos, estos serán aplicados en los procesos de identificación.

4.1.2 Por su diseño interpretativo

- a) **Experimental.**- Esto se dará porque al realizar la experiencia nos permite realizar la manipulación de las variables independientes para obtener la variable respuesta.

4.1.3 Por el nivel de estudios

- a) **Cualitativo.**- Puesto que se busca determinar los modelos reológicos asociados a la pasta de tomate.

4.1.4 Por su ámbito de desarrollo

- a) **De laboratorio.**– Porque se realizara la investigación en los laboratorios de la Universidad Nacional del Callao.

4.1.5 Diseño de la Investigación

La investigación está diseñada considerando cuatro momentos los cuales se muestran en la **Figura 6 (Ver pag. N° 32)**

4.2 Método de Investigación

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

4.2.1 Primera etapa de la investigación : Identificar X_1

Gráfico para conocer la relación no lineal entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte asociado a la pasta de tomate Rio Grande, lo que nos permitirá conocer la relación numérica entre ambas variables.

4.2.2 Segunda etapa de la investigación : Identificar X_2

Regresión no lineal para realizar el tratamiento estadístico de los datos de la velocidad de corte y el esfuerzo de corte, lo que nos permitirá obtener los parámetros de los modelos asociados a la pasta de tomate rio grande y cómo

será la correlación no lineal entre ambos parámetros.

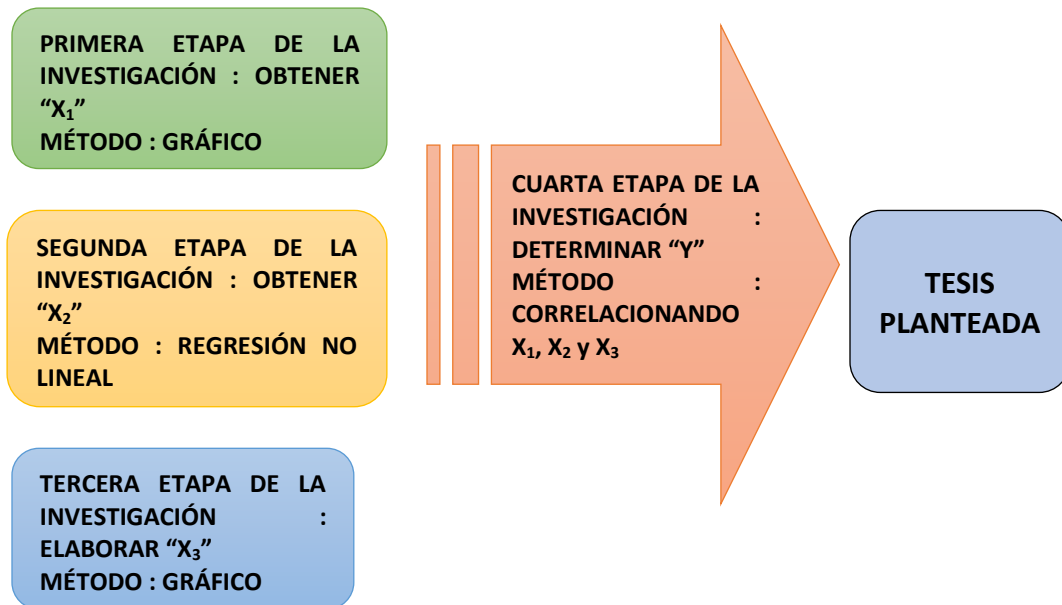


Figura 6 Diseño de la Investigación

4.2.3 Tercera etapa de la investigación : Identificar X_3

Gráfico para caracterizar el comportamiento de un fluido no newtoniano específicamente el del fluido seudoplástico.

4.2.4 Cuarta etapa de la investigación : Identificar Y

Correlacionando las variables X_1 , X_2 y X_3 determinamos el modelo reológico de la pasta de tomate Río Grande.

4.3 Población y Muestra

4.3.1 Población

La población está conformada por todos los tomates de la variedad Río Grande sembradas el Huerto de la Universidad Nacional Agraria de la Molina

4.3.2 Muestra

Se tomaron 5 kilos de tomate de variedad Río Grande seleccionados del Huerto de la Universidad Nacional Agraria de la Molina.

4.4 Lugar del Estudio

Plantaciones Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima
(recolección de muestra)

Universidad Nacional del Callao – Callao (análisis reológico)

4.5 Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información

4.5.1 Materiales y Equipos

a) Materiales :

Pasta de tomate

Cortador

Triturador

Vaso precipitado

Tamices

b) Equipos :

Reómetro Rotativo (Marca Antón Paar, Modelo RheoLab QC)

Refractómetro (Marca ATAGO, Modelo PR – 201)

4.5.2 Método

- a) Preparación de la Muestra.** - La preparación de la pasta se hizo con el uso de un triturador, el tomate previamente ha sido limpiado y pelado, así mismo se eliminaron las pepas del fruto.

El procedimiento de esta preparación de muestra fue el siguiente :

- 1) Limpieza externa del tomate (Ver Figura N° 7 pag. N° 34)**
- 2) Pelado del tomate con ayuda de un cuchillo (Ver Figura N° 8 pag. N° 34)**
- 3) Se retiró las pepas del tomate (Ver Figura N° 9 pag. N° 35)**
- 4) Se procedió a triturar la muestra (Ver Figura N° 10 pag. N° 35)**
- 5) Se pasó la muestra a través de malla, obteniéndose las siguientes muestras, la muestra triturada sin pasar por malla (Ver Figura N° 11 pag. N° 36)**
- 6) Muestra triturada y pasada por malla (Ver Figura N° 12 pag. N° 36)**



Figura 7 Limpieza externa del tomate, elaboración propia



Figura 8 Pelado de tomate, elaboración propia



Figura 9 Limpieza Interna del tomate, elaboración propia



Figura 10 Trituración del tomate, elaboración propia



Figura 11 Muestra triturada sin pasar malla, elaboración propia



Figura 12 Muestra triturada pasada por malla, elaboración propia

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

Con el reómetro obtuvimos la curva de flujo del fluido en este caso pasta de tomate, ya que el equipo es totalmente automatizado.

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

Se procedió a los análisis en el reómetro de la siguiente forma :

- a) Encender la computadora y abrir el software Rheo Plus en la computadora.
- b) Encender el baño de temperatura primero con el botón frontal superior y el botón de inicio del panel frontal superior. Fijar la temperatura de trabajo presionando el botón con la letra T y ajustando la temperatura con las flechas de panel de control.



Figura 13 Baño de temperatura, elaboración propia

- c) Encender el viscosímetro rotacional con el botón que está situado en la parte superior del motor.



Figura 14 Viscosímetro rotacional, elaboración propia



Figura 15 Viscosímetro con baño de temperatura, elaboración propia

d) Llenar la copa que le corresponde al cilindro CC39 con el fluido (zumo de tomate) hasta aforo interno.

Dejar 10 minutos para que el fluido alcance la temperatura seleccionada. Abrir en el software la plantilla respectiva para el análisis con el viscosímetro.



Figura 16 Cilindro CC39 con pasta de tomate, elaboración propia

e) Una vez obtenida la curva del flujo del fluido guardamos los resultados obtenidos.

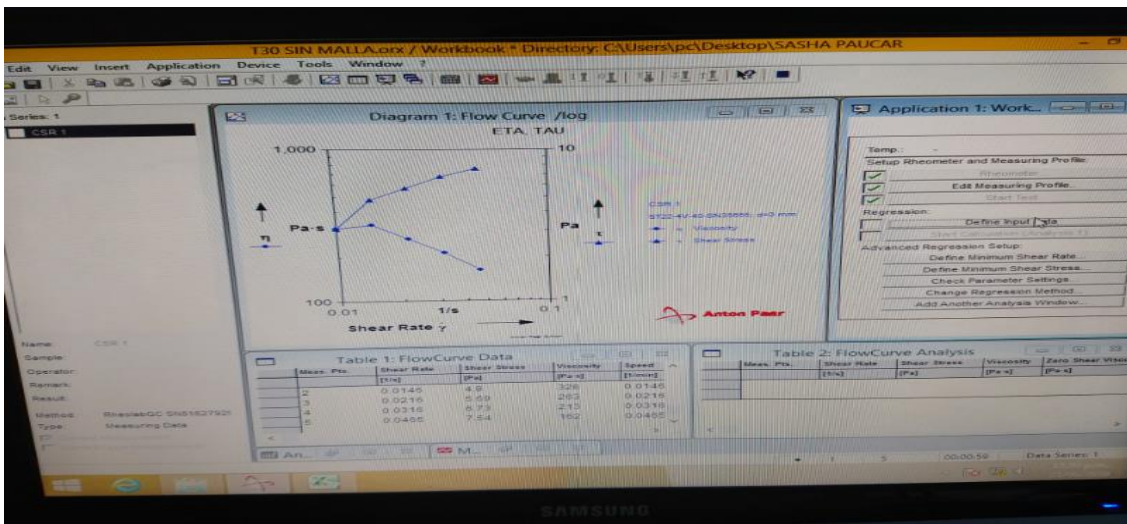


Figura 17 Software de viscosímetro, elaboración propia

f) Se repite el procedimiento para verificar la reproducibilidad de la curva.



Figura 18 Verificación de los datos por el software, elaboración propia

4.6 Análisis y Procesamiento de Datos

Los resultados dados por el reómetro nos arroja los valores del esfuerzo de corte (τ) versus velocidad de corte (γ), se realizara pruebas de normalidad para saber si son resultados son normales o no normales , de acuerdo a esto se hará la prueba de regresión y luego ajustarlos a los modelos matemáticos adecuados. Para esto se contará con el software IBM SPSS Statistic 25

En la **figura 16 (Ver pag. N° 39)** podemos observar el editor de datos que se usara para el ingreso de datos

4.6.1 Prueba de Normalidad

Se realizará la prueba de normalidad para evaluar la distribución normal de los datos, se pueden realizar mediante la prueba de Kolmogórov – Smirnov (tamaño muestral mayor a 50) y Shapiro Wilk (tamaño muestral menor a 50) Se aceptará la normalidad cuando el nivel de significancia **$p > 0,05$** .

Software IBM SPSS Statistic 25

| | x | y | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var |
|----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 3,44 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 12,70 | 1,50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 24,70 | 1,99 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 40,10 | 2,49 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 58,80 | 2,99 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 80,40 | 3,49 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 19 Editor de datos, elaboración propia

| | x | y | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var | var |
|----|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 3,16 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 4,64 | 1,50 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 6,81 | 1,99 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 2,49 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 14,70 | 2,99 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 21,50 | 3,49 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 20 Editor de datos para evaluar la normalidad de los datos, elaboración propia

VRESULTADOS

Se muestran los resultados obtenidos de la relación numérica entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte para la pasta de tomate a 25°C, 30°C y 35°C, utilizando distintas mallas.

Tabla 2 Resultados obtenidos a diferentes temperaturas y mallas

| Esfuerzo de corte | 25°C | | 30°C | | 35°C | |
|-------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| | Velocidad de Corte sin malla | con malla | Velocidad de corte Sin malla | con malla | Velocidad de corte sin malla | con malla |
| 1 | 6,25 | 1,00 | 3,44 | 3,16 | 6,26 | 6,81 |
| 1.5 | 14,80 | 1,47 | 12,70 | 4,64 | 13,90 | 10,00 |
| 1.99 | 26,90 | 2,15 | 24,70 | 6,81 | 25,30 | 14,70 |
| 2.49 | 42,10 | 3,16 | 40,10 | 10,00 | 39,60 | 21,50 |
| 2.99 | 60,70 | 4,64 | 58,80 | 14,7 | 57,10 | 31,60 |
| 3.49 | 82,40 | 6,81 | 80,40 | 21,5 | 78,40 | 46,40 |

Elaboración propia

Con estos datos podemos graficar los datos esfuerzo de corte versus velocidad de corte a las temperaturas 25°C, 30°C, 35°C a diferentes mallas .

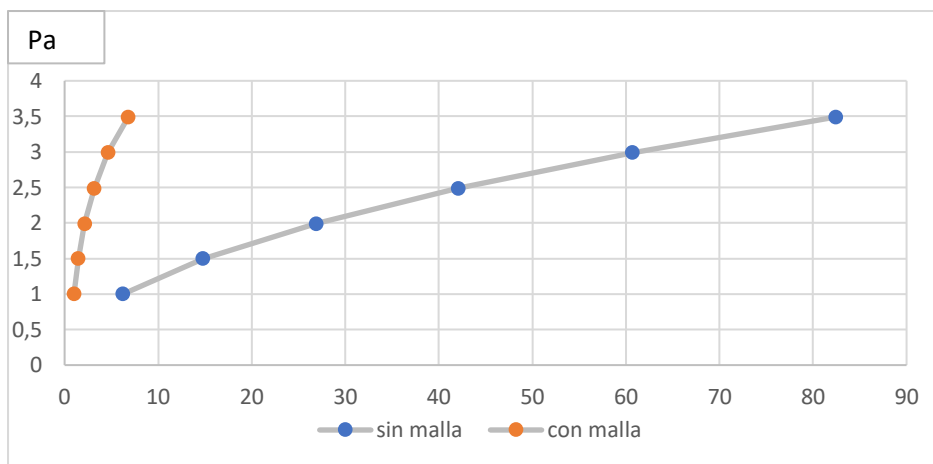


Figura 21 Curva de fluidez a 25°C a diferentes mallas, elaboración propia

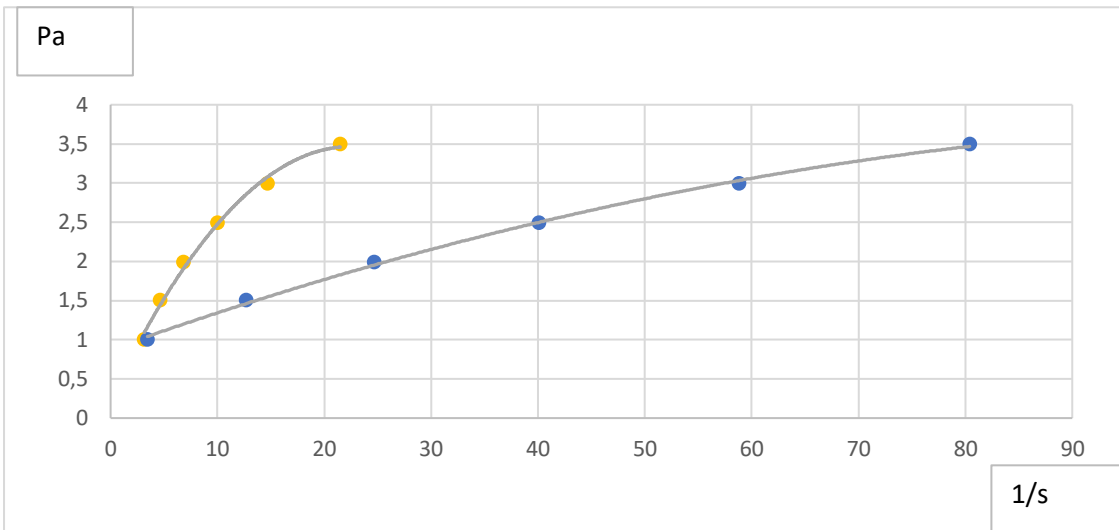


Figura 22 Curva de Fluidez a 30°C a diferentes mallas, elaboración propia

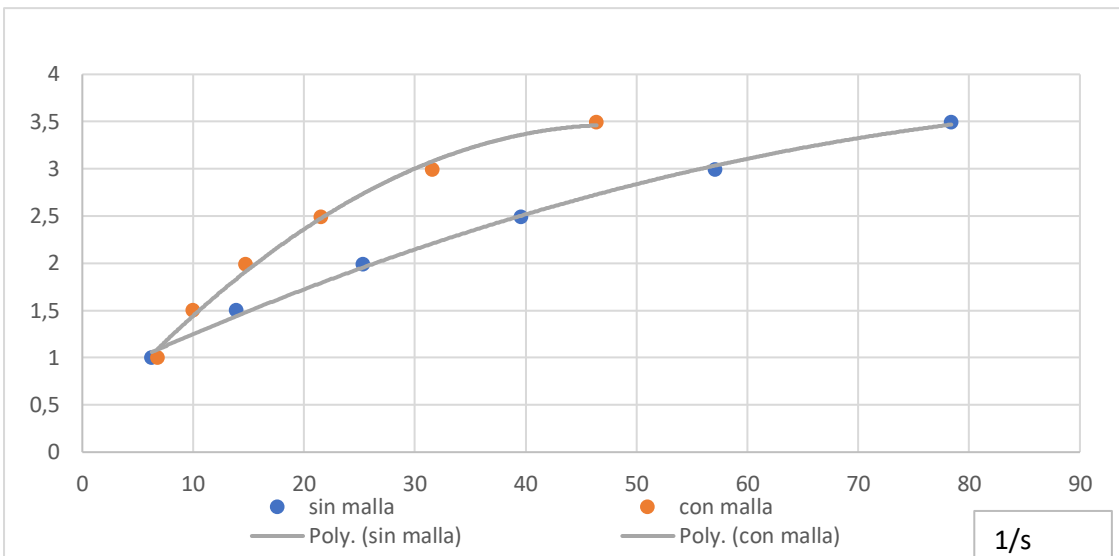


Figura 23 Curva de Fluidez a 35°C a diferentes mallas, elaboración propia

De acuerdo a estos resultados se puede observar que existe una relación no lineal.

5.1 Resultados Descriptivos

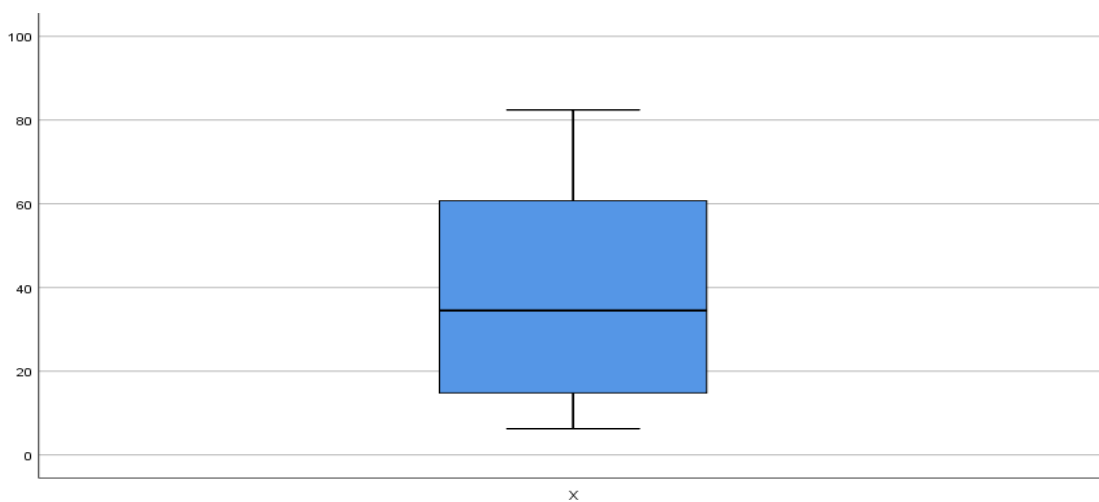
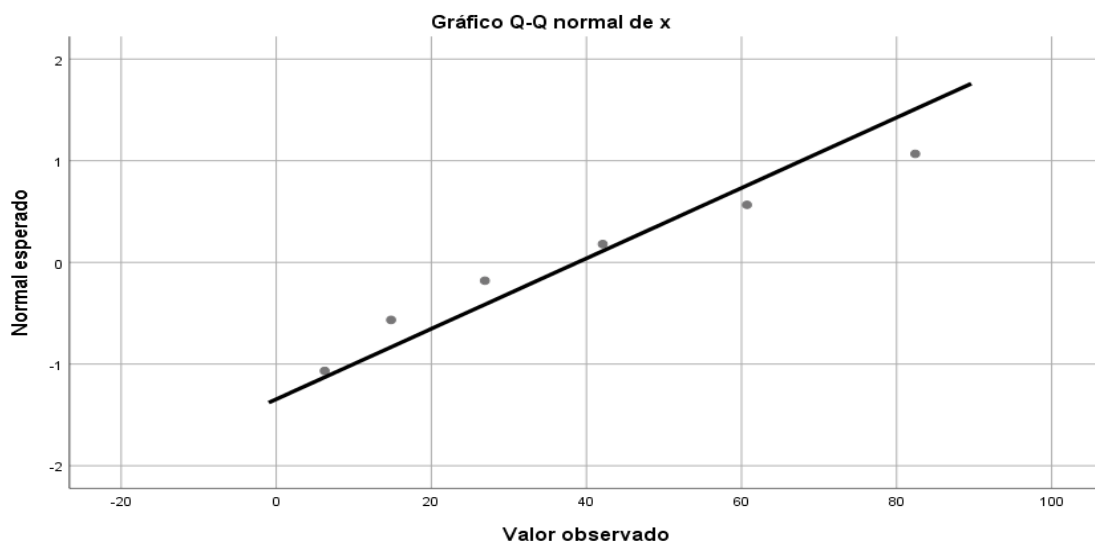
- a) Se realizará la prueba de normalidad en los resultados mediante la prueba de Shapiro – Wilk

| Resumen de procesamiento de casos | | | |
|-----------------------------------|---|-----------------|-------------|
| Descriptivos | | | |
| | | Estadístico | Desv. Error |
| | Media | 38,8583 | 11,78778 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 8,5569 |
| | | Límite superior | 69,1598 |
| | Media recortada al 5% | 38,2509 | |
| | Mediana | 34,5000 | |
| | Varianza | 833,710 | |
| x | Desv. Desviación | 28,87404 | |
| | Mínimo | 6,25 | |
| | Máximo | 82,40 | |
| | Rango | 76,15 | |
| | Rango intercuartil | 53,46 | |
| | Asimetría | 0,532 | 0,845 |
| | Curtosis | - 0,904 | 1,741 |
| | Media | 2,2433 | 0,38014 |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 1,2662 |
| | | Límite superior | 3,2205 |
| | Media recortada al 5% | 2,2431 | |
| | Mediana | 2,2400 | |
| | Varianza | 0,867 | |
| y | Desv. Desviación | 0,93114 | |
| | Mínimo | 1,00 | |
| | Máximo | 3,49 | |
| | Rango | 2,49 | |
| | Rango intercuartil | 1,74 | |
| | Asimetría | 0,007 | 0,845 |
| | Curtosis | - 1,194 | 1,741 |

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|----|--------|----------------|----|-------|
| | Kolmogorov – Smirnov ^a | | | Shapiro – Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| x | 0,161 | 6 | 0,200* | 0,958 | 6 | 0,803 |
| y | 0,122 | 6 | 0,200* | 0,982 | 6 | 0,962 |

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

a. Corrección de significación de Lilliefors



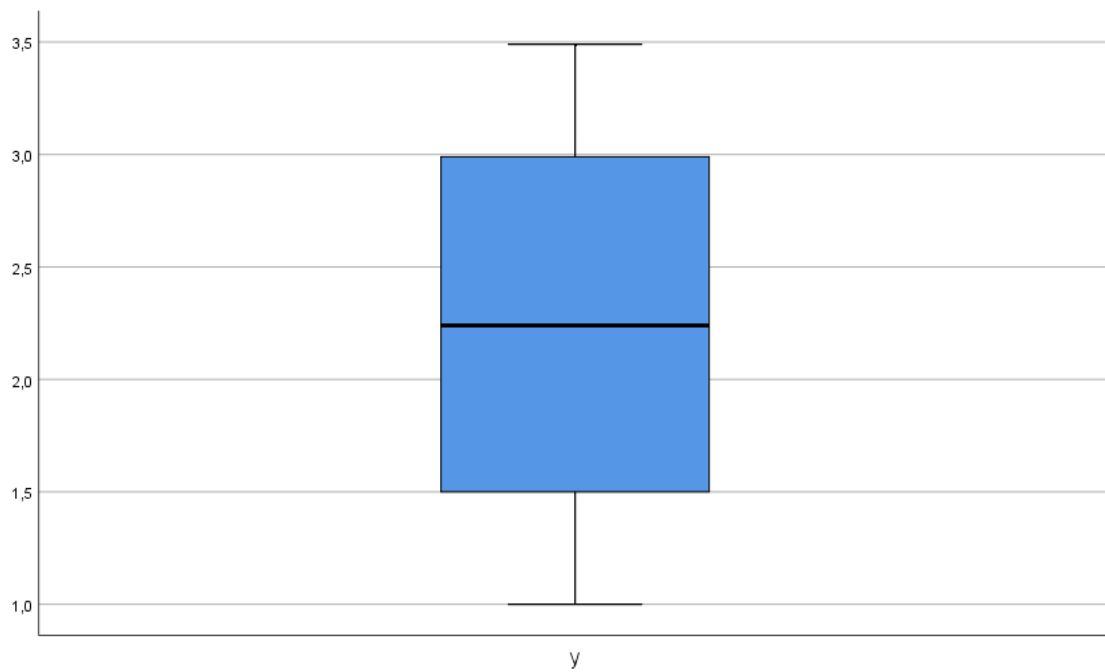


Tabla 3 Resultados del valor de la significancia para las diferentes temperaturas y mallas

| | 25°C | | 30°C | | 35°C | |
|----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | Significancia (p) | | Significancia (p) | | Significancia (p) | |
| | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla |
| x | 0,803 | 0,539 | 0,823 | 0,542 | 0,783 | 0,540 |
| y | 0,962 | 0,962 | 0,962 | 0,962 | 0,962 | 0,962 |

De acuerdo al nivel de significancia los resultados son normales .

- b) Mediante el tratamiento estadístico de los datos de esfuerzo de corte y velocidad de corte obtendremos los parámetros de los modelos asociados a la pasta de tomate Río Grande,, cumpliendo así con la segunda hipótesis.

Tabla 4 Parámetros ajustados al modelo de Otswald de Waelle a diferentes temperaturas y mallas

| Parámetro | 25°C | | 30°C | | 35°C | |
|----------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla |
| K | 0,399 | 1,224 | 0,51 | 0,638 | 0,407 | 0,414 |
| n | 0,491 | 0,565 | 0,434 | 0,565 | 0,493 | 0,565 |
| R ² | 0,99977 | 0,976 | 0,994 | 0,976 | 1 | 0,976 |
| Varianza | 0,00000000 | 0,0260000 | 0,0070000 | 0,026000 | 0,0000000 | 0,026000 |

Elaboración propia

Tabla 5 Parámetros ajustados al modelo de Herschel a diferentes temperaturas y mallas

| Parámetro | 25°C | | 30°C | | 35°C | |
|----------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|--------------|
| | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla |
| to | 0,153000 | - 116,60360 | 0,56900 | - 590,55000 | 0,001000 | - 45,0290000 |
| K | 0,321000 | 117,60600 | 0,19900 | 59,110000 | 0,406000 | 43,9350000 |
| N | 0,531000 | 0,01060 | 0,61200 | 0,021000 | 0,493000 | 0,0270000 |
| R ² | 0,999986 | 0,99999 | 0,99991 | 0,999990 | 0,999993 | 0,9999960 |
| Varianza | 2,006e - 40 | 4,45 e-6 | 0,00013 | 2,006e-4 | 8,99e - 4 | 5,80e - 40 |

Elaboración propia

Tabla 6 *Parámetros ajustados al modelo de Cansson a diferentes temperaturas y mallas*

| Parámetro | 25°C | | 30°C | | 35°C | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla |
| to | 2,61500 | 2,15200 | 2,2130 | 2,1500 | 2,1710 | 2,1520 |
| K | 0,02000 | 0,25100 | 0,0200 | 0,0800 | 0,0210 | 0,0370 |
| R ² | 0,95072 | 0,89520 | 0,9531 | 0,8965 | 0,9463 | 0,8952 |
| Varianza | 0,05340 | 0,11348 | 0,0507 | 0,1121 | 0,0582 | 0,1136 |

Elaboración propia

Tabla 7 *Parámetros ajustados al modelo de Sisko a diferentes temperaturas y mallas*

| Parámetro | 25°C | | 30°C | | 35°C | |
|----------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla | Sin malla | Con malla |
| A | 0,42600 | 58,47900 | 0,6590 | 9,7090 | 0,4080 | 2,1520 |
| K | 0,00500 | - 57,34500 | 0,0160 | - 9,9220 | 0,0000 | 0,2520 |
| n | 0,44600 | 0,99400 | 0,2760 | 0,9890 | 0,4910 | 1,3370 |
| R ² | 0,99998 | 0,99290 | 0,9994 | 0,9929 | 0,9999 | 0,9966 |
| Varianza | 2,007e-4 | 0,01025 | 0,0507 | 0,1019 | 8,009e-4 | 4e-3 |

Elaboración propia

- c) Con los resultados obtenidos calculamos la viscosidad aparente y realizamos el reograma óptimo cumpliendo con la hipótesis que tiene un comportamiento de un fluido no newtoniano.

En las posteriores tablas se adjunta los valores de la viscosidad aparente a diversas temperaturas y mallas según el modelo de Otswald, Herschel, Sisko y Cansson

Tabla 8 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Otswald

| CÁLCULO DE PARAMETROS REOLOGICOS SEGÚN EL MODELO DE OTSWALD | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Velocidad de Corte (1/s) | 25°C | | | | 30°C | | | | 35°C | | | |
| | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | |
| | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente |
| 5 | 0,87936 | 0,17587219 | 3,038780 | 0,60775630 | 0,41087 | 0,0821748 | 1,58394 | 0,31678800 | 0,89988 | 0,1799768 | 1,02782 | 0,20556463 |
| 10 | 1,23587 | 0,12358703 | 4,495540 | 0,44955354 | 0,36048 | 0,0360477 | 2,34326 | 0,23432611 | 1,26647 | 0,1266469 | 1,52055 | 0,15205487 |
| 20 | 1,73692 | 0,08684576 | 6,650640 | 0,33253194 | 0,31626 | 0,0158131 | 3,46659 | 0,17332956 | 1,78239 | 0,0891194 | 2,24948 | 0,11247404 |
| 30 | 2,11953 | 0,07065098 | 8,362860 | 0,27876206 | 0,29296 | 0,0097652 | 4,35907 | 0,14530245 | 2,17678 | 0,0725594 | 2,82862 | 0,09428717 |
| 40 | 2,44109 | 0,06102733 | 9,838870 | 0,24597180 | 0,27747 | 0,0069367 | 5,12843 | 0,12821079 | 2,50848 | 0,0627119 | 3,32785 | 0,08319634 |
| 50 | 2,72375 | 0,05447499 | 11,16091 | 0,22321813 | 0,26602 | 0,0053205 | 5,81753 | 0,11635063 | 2,80018 | 0,0560037 | 3,77501 | 0,07550025 |
| 60 | 2,97883 | 0,04964710 | 12,37191 | 0,20619856 | 0,25702 | 0,0042837 | 6,44876 | 0,10747931 | 3,06354 | 0,0510589 | 4,18462 | 0,06974363 |
| 70 | 3,21304 | 0,04590056 | 13,49776 | 0,19282519 | 0,24965 | 0,0035664 | 7,03560 | 0,10050856 | 3,30543 | 0,0472204 | 4,56542 | 0,06522029 |
| 80 | 3,43076 | 0,04288447 | 14,55550 | 0,18194381 | 0,24343 | 0,0030429 | 7,58694 | 0,09483672 | 3,53035 | 0,0441294 | 4,92319 | 0,06153982 |
| 90 | 3,63501 | 0,04038903 | 15,55709 | 0,17285658 | 0,23808 | 0,0026454 | 8,10901 | 0,09010008 | 3,74142 | 0,0415713 | 5,26196 | 0,05846620 |
| 100 | 3,82801 | 0,03828009 | 16,51131 | 0,16511306 | 0,23339 | 0,0023339 | 8,60638 | 0,08606383 | 3,94089 | 0,0394089 | 5,58471 | 0,05584706 |

Elaboración propia

Tabla 9 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Herschel

| CÁLCULO DE PARAMETROS REOLOGICOS SEGÚN EL MODELO DE HERSCHEL | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Velocidad de Corte (1/s) | 20°C | | | | 30°C | | | | 35°C | | | |
| | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | |
| | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente |
| 5 | 0,90713 | 0,18142526 | 3,08695 | 0,6173896 | 1,10296 | 0,22059252 | 1,59118 | 0,31823694 | 0,89909 | 0,17981737 | 0,61819 | 0,12363849 |
| 10 | 1,24239 | 0,12423932 | 3,99606 | 0,3996063 | 1,38547 | 0,13854701 | 2,48720 | 0,24872029 | 1,26500 | 0,12650025 | 1,49491 | 0,14949099 |
| 20 | 1,72678 | 0,08633901 | 4,91208 | 0,2456041 | 1,81738 | 0,09086901 | 3,39635 | 0,16981761 | 1,78007 | 0,08900375 | 2,38837 | 0,11941851 |
| 30 | 2,10466 | 0,07015527 | 5,45114 | 0,1817047 | 2,16933 | 0,07231112 | 3,93433 | 0,13114448 | 2,17388 | 0,07246263 | 2,91890 | 0,09729667 |
| 40 | 2,42661 | 0,06066533 | 5,83506 | 0,1458765 | 2,47770 | 0,06194260 | 4,31883 | 0,10797063 | 2,50510 | 0,06262761 | 3,29889 | 0,08247233 |
| 50 | 2,71249 | 0,05424986 | 6,13368 | 0,1226736 | 2,75725 | 0,05514502 | 4,61866 | 0,09237324 | 2,79642 | 0,05592842 | 3,59570 | 0,07191400 |
| 60 | 2,97256 | 0,04954273 | 6,37821 | 0,1063036 | 3,01579 | 0,05026310 | 4,86469 | 0,08107819 | 3,05943 | 0,05099055 | 3,83955 | 0,06399258 |
| 70 | 3,21297 | 0,04589950 | 6,58534 | 0,0940763 | 3,25806 | 0,04654374 | 5,07344 | 0,07247774 | 3,30102 | 0,04715749 | 4,04668 | 0,05780970 |
| 80 | 3,43772 | 0,04297148 | 6,76505 | 0,0845631 | 3,48724 | 0,04359046 | 5,25482 | 0,06568521 | 3,52567 | 0,04407093 | 4,22680 | 0,05283506 |
| 90 | 3,64963 | 0,04055145 | 6,92378 | 0,0769309 | 3,70554 | 0,04117267 | 5,41522 | 0,06016915 | 3,73649 | 0,04151658 | 4,38623 | 0,04873591 |
| 100 | 3,85075 | 0,03850752 | 7,06594 | 0,0706594 | 3,91462 | 0,03914621 | 5,55905 | 0,05559048 | 3,93574 | 0,03935739 | 4,52928 | 0,04529280 |

Elaboración propia

Tabla 10 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Sisko

| CÁLCULO DE PARAMETROS REOLOGICOS SEGÚN EL MODELO DE SISCO | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Velocidad de Corte (1/s) | 20°C | | | | 30°C | | | | 35°C | | | |
| | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | |
| | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente |
| 5 | 0,90113 | 0,1802250 | 3,09246 | 0,6184925 | 1,10769 | 0,2215376 | 1,57967 | 0,3159340 | 0,89993 | 0,1799851 | 0,84102 | 0,16820384 |
| 10 | 1,24478 | 0,1244779 | 3,90445 | 0,3904447 | 1,40465 | 0,1404647 | 2,43267 | 0,2432674 | 1,26541 | 0,1265410 | 1,46241 | 0,14624148 |
| 20 | 1,72993 | 0,0864966 | 3,26588 | 0,1632942 | 1,82778 | 0,0913892 | 3,42309 | 0,1711545 | 1,77986 | 0,0889930 | 2,37007 | 0,11850350 |
| 30 | 2,10512 | 0,0701707 | 0,92502 | 0,0308342 | 2,16709 | 0,0722364 | 3,87678 | 0,1292261 | 2,17336 | 0,0724455 | 2,97027 | 0,09900914 |
| 40 | 2,42478 | 0,0606195 | - 2,51851 | - 0,0629627 | 2,46730 | 0,0616826 | 3,98364 | 0,0995909 | 2,50453 | 0,0626132 | 3,33884 | 0,08347101 |
| 50 | 2,70953 | 0,0541906 | - 6,780580 | - 0,1356115 | 2,74419 | 0,0548837 | 3,83344 | 0,0766689 | 2,79597 | 0,0559194 | 3,51690 | 0,07033796 |
| 60 | 2,96979 | 0,0494964 | - 11,69409 | - 0,1949016 | 3,00534 | 0,0500889 | 3,47892 | 0,0579820 | 3,05925 | 0,0509875 | 3,53100 | 0,05885004 |
| 70 | 3,21167 | 0,0458810 | - 17,14879 | - 0,2449826 | 3,25506 | 0,0465008 | 2,95482 | 0,0422118 | 3,30123 | 0,0471605 | 3,39999 | 0,04857131 |
| 80 | 3,43913 | 0,0429891 | - 23,06635 | - 0,2883294 | 3,49604 | 0,0437004 | 2,28581 | 0,0285726 | 3,52638 | 0,0440797 | 3,13806 | 0,03922571 |
| 90 | 3,65488 | 0,0406098 | - 29,38829 | - 0,3265366 | 3,73009 | 0,0414454 | 1,49029 | 0,0165587 | 3,73778 | 0,0415309 | 2,75635 | 0,03062608 |
| 100 | 3,86090 | 0,0386090 | - 36,06924 | - 0,3606924 | 3,95849 | 0,0395849 | 0,58252 | 0,0058252 | 3,93769 | 0,0393769 | 2,26390 | 0,02263896 |

Elaboración propia

Tabla 11 Resultados de la viscosidad aparente según el modelo de Cansson

| CÁLCULO DE PARAMETROS REOLOGICOS SEGÚN EL MODELO DE CANSSON | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Velocidad de Corte (1/s) | 20°C | | | | 30°C | | | | 35°C | | | |
| | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | | SIN MALLA | | CON MALLA | |
| | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente | Esfuerzo de Corte (Pa) | Viscosidad Aparente |
| 5 | 2,30057 | 0,46011304 | 4,11498 | 0,82299541 | 2,34874 | 0,4697479 | 2,70383 | 0,54076541 | 2,31333 | 0,46266621 | 2,40086 | 0,4801718 |
| 10 | 2,35771 | 0,23577125 | 5,11267 | 0,51126682 | 2,40617 | 0,2406172 | 2,95171 | 0,29517109 | 2,37353 | 0,23735325 | 2,50782 | 0,2507817 |
| 20 | 2,43973 | 0,12198639 | 6,70830 | 0,33541518 | 2,48858 | 0,1244289 | 3,32083 | 0,16604139 | 2,45999 | 0,12299952 | 2,66306 | 0,1331528 |
| 30 | 2,50361 | 0,08345370 | 8,07939 | 0,26931308 | 2,55275 | 0,0850917 | 3,61880 | 0,12062675 | 2,52738 | 0,08424602 | 2,78534 | 0,0928446 |
| 40 | 2,55811 | 0,06395271 | 9,33425 | 0,23335618 | 2,60749 | 0,0651871 | 3,87995 | 0,09699877 | 2,58490 | 0,06462251 | 2,89056 | 0,0722639 |
| 50 | 2,60661 | 0,05213216 | 10,51482 | 0,21029645 | 2,65619 | 0,0531238 | 4,11757 | 0,08235131 | 2,63611 | 0,05272226 | 2,98487 | 0,0596975 |
| 60 | 2,65085 | 0,04418078 | 11,64263 | 0,19404390 | 2,70061 | 0,0450101 | 4,33846 | 0,07230772 | 2,68284 | 0,04471408 | 3,07145 | 0,0511908 |
| 70 | 2,69186 | 0,03845510 | 12,73046 | 0,18186378 | 2,74178 | 0,0391683 | 4,54669 | 0,06495276 | 2,72618 | 0,03894545 | 3,15215 | 0,0450307 |
| 80 | 2,73031 | 0,03412890 | 13,78664 | 0,17233302 | 2,78038 | 0,0347548 | 4,74490 | 0,05931119 | 2,76683 | 0,03458538 | 3,22821 | 0,0403526 |
| 90 | 2,76668 | 0,03074086 | 14,81695 | 0,16463277 | 2,81689 | 0,0312987 | 4,93490 | 0,05483224 | 2,80528 | 0,03116981 | 3,30047 | 0,0366719 |
| 100 | 2,80129 | 0,02801294 | 15,82560 | 0,15825601 | 2,85163 | 0,0285163 | 5,11805 | 0,05118046 | 2,84190 | 0,02841896 | 3,36955 | 0,0336955 |

Elaboración propia

5.2.3. Gráficos de los reogramas

- a) Con los resultados obtenidos podemos graficar los reogramas a las diferentes temperaturas y mallas.

Reograma de acuerdo al modelo de Otswald

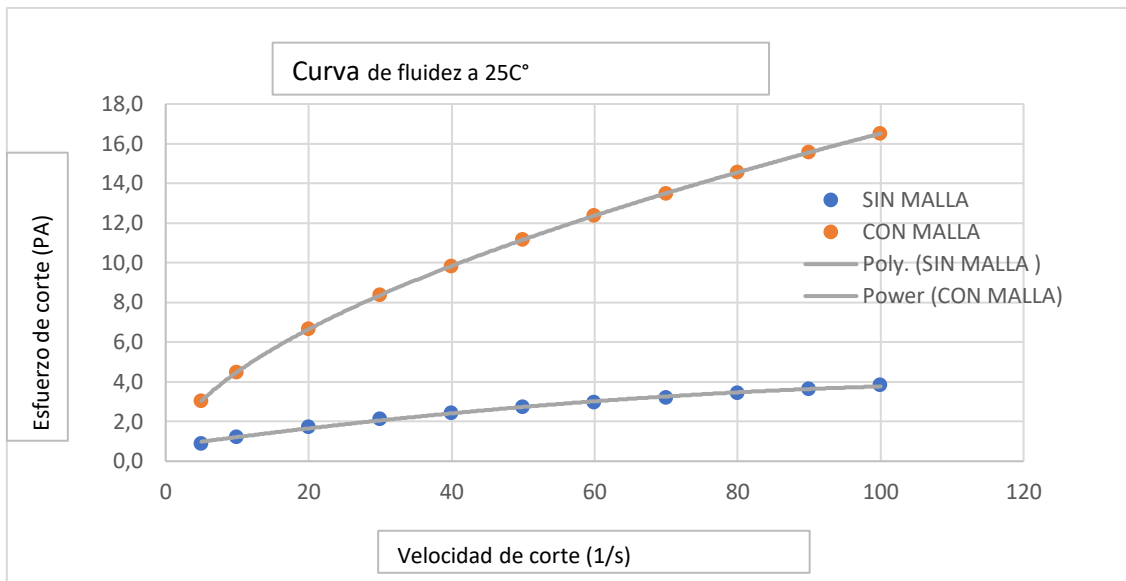


Figura 24 Curva de Fluidez a 25°C a diferentes mallas, elaboración propia

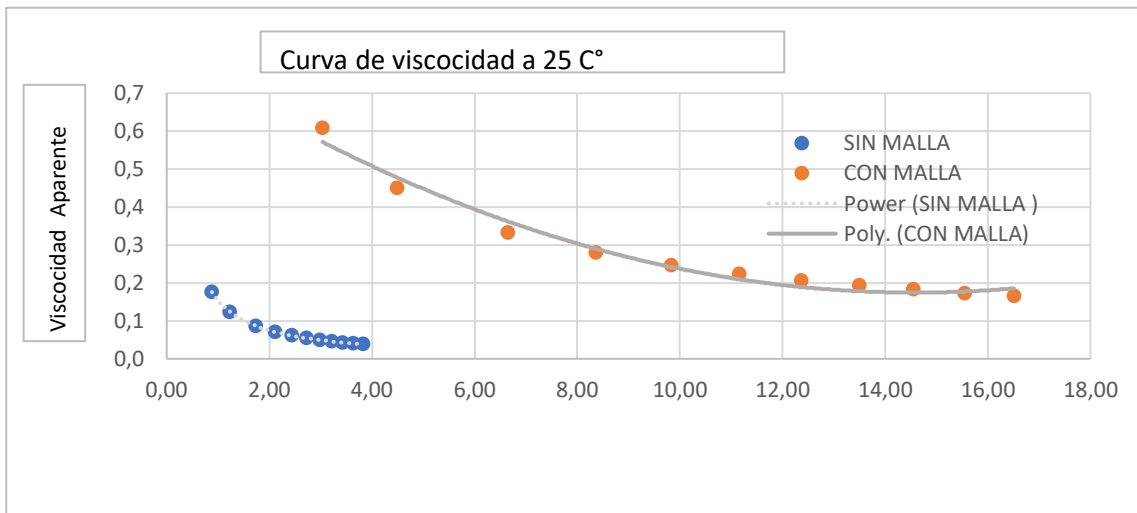


Figura 25. Curva de Viscosidad a 35°C a diferentes mallas, elaboración propia

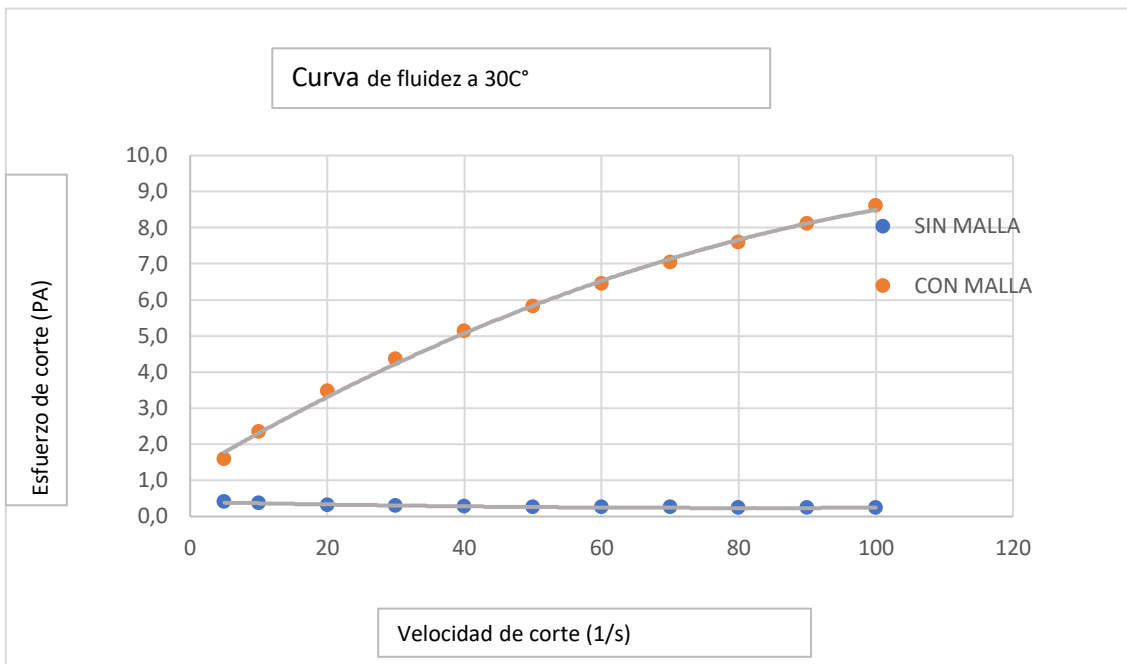


Figura 26 Curva de Fluidez a 30°C a diferentes mallas, elaboración propia

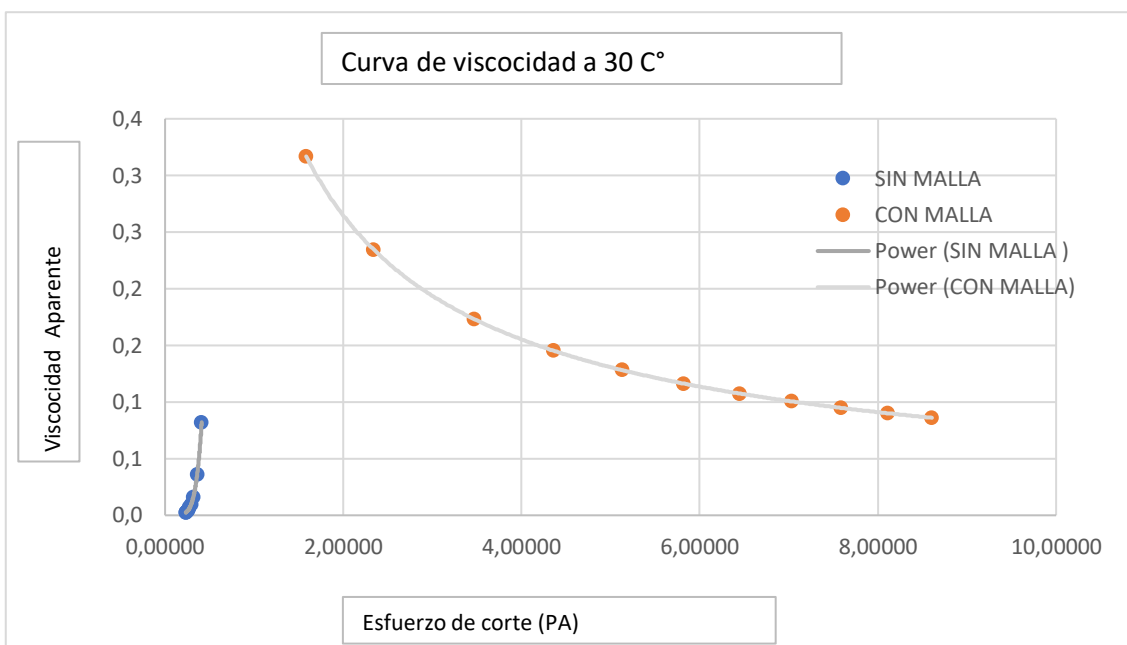


Figura 27 Curva de Viscosidad a 30°C a diferentes mallas, elaboración propia

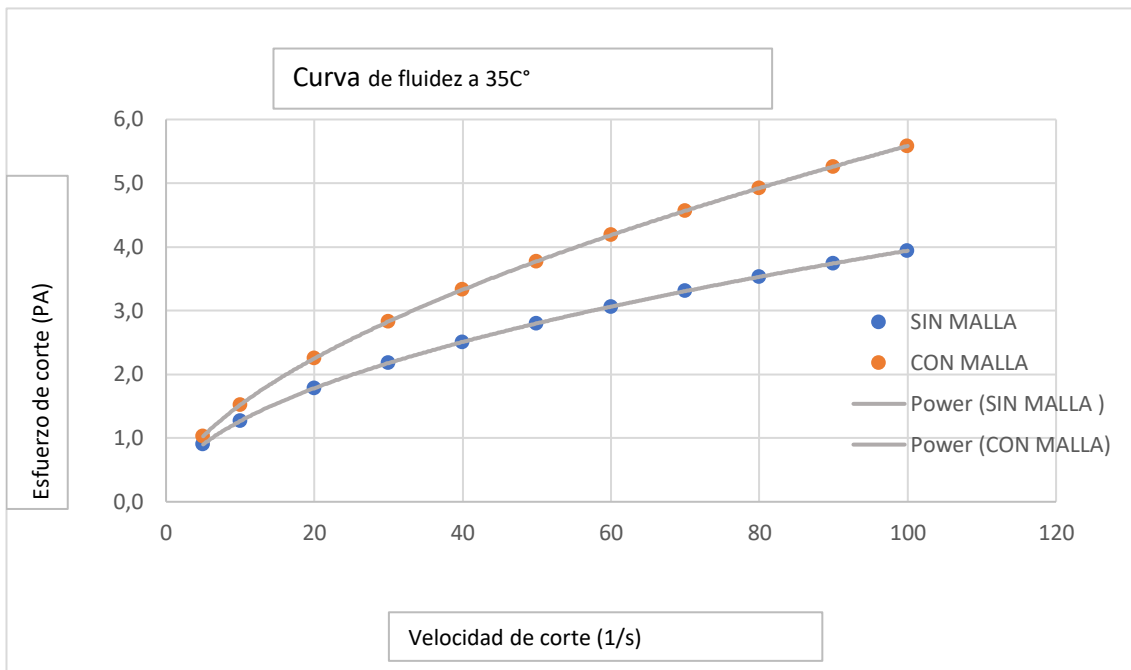


Figura 28 Curva de Fluidez a 35°C a diferentes mallas, elaboración propia

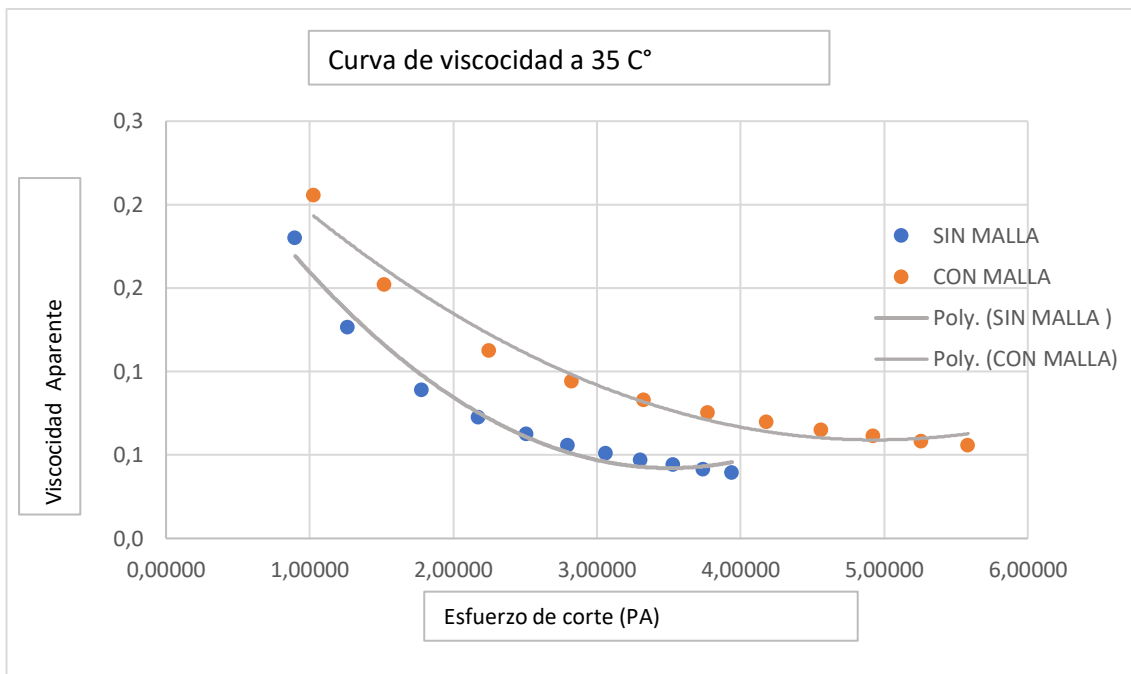


Figura 29 Curva de Viscosidad a 30°C a diferentes mallas, elaboración propia

Reograma de acuerdo al modelo de Herschel

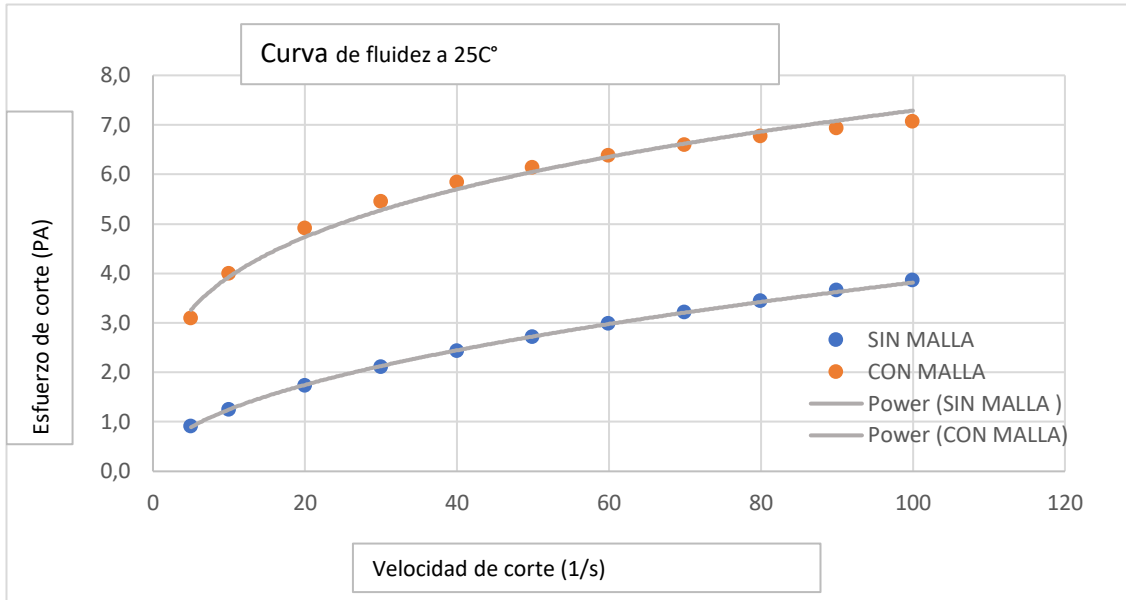


Figura 30 Curva de Fluidez a 25°C a diferentes mallas, elaboración propia

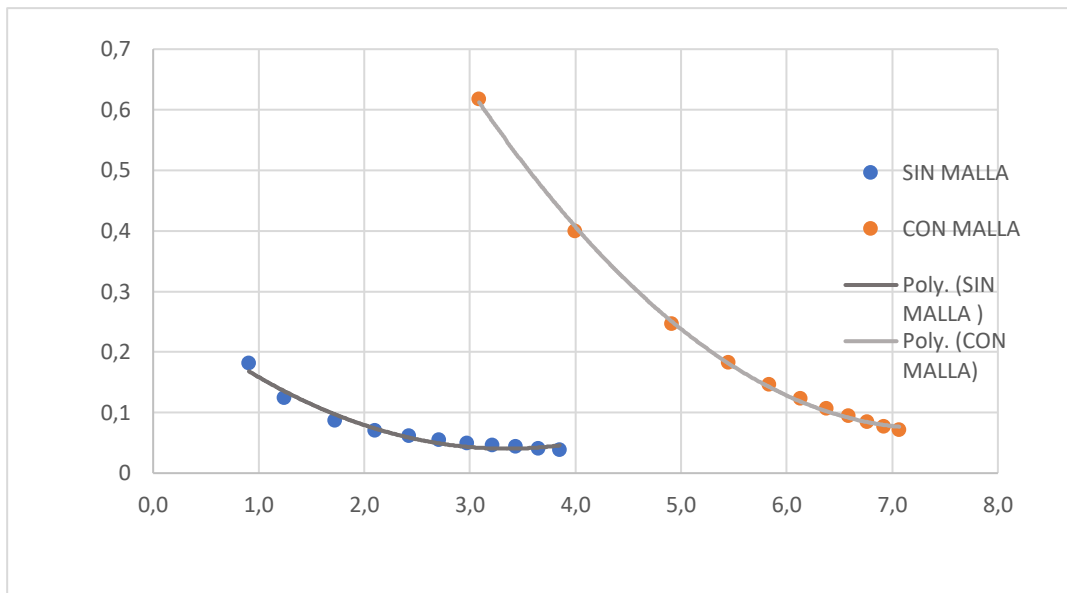


Figura 31 Curva de Viscosidad a 25°C a diferentes mallas, elaboración propia

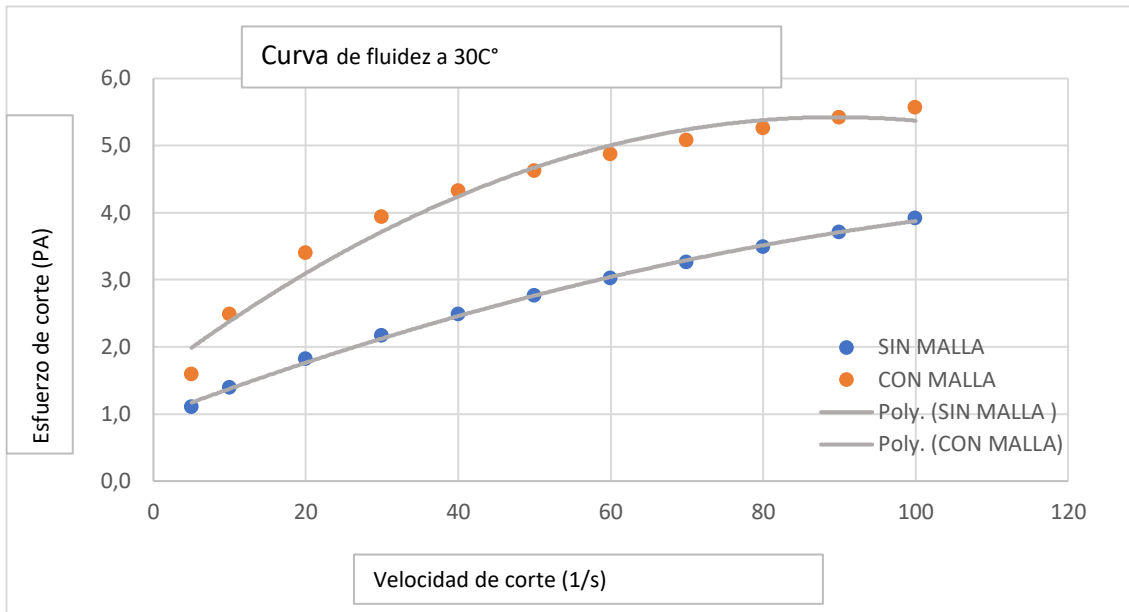


Figura 32 Curva de Viscosidad a 30°C, elaboración propia

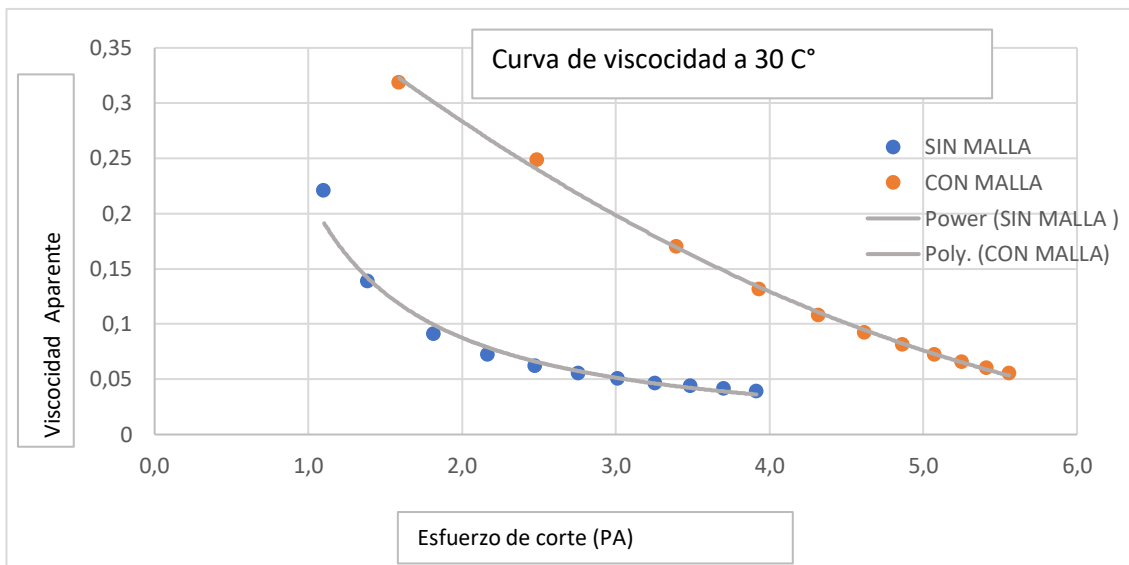


Figura 33 Curva de Viscosidad a 30°C a diferentes mallas, elaboración propia

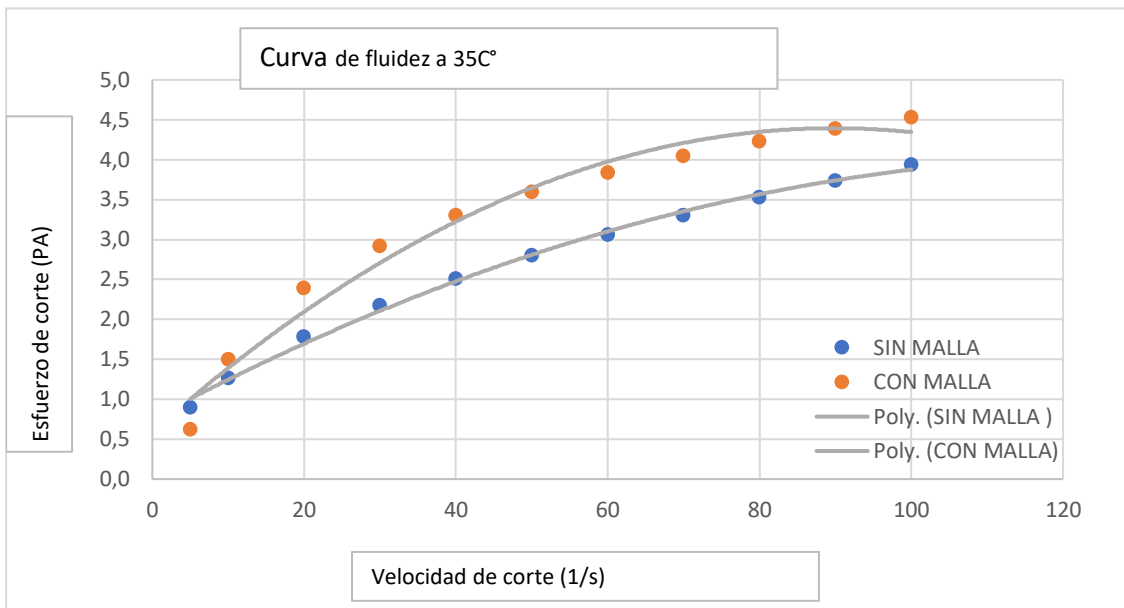


Figura 34 Curva de Fluidez a 35°C a diferentes mallas, elaboración propia

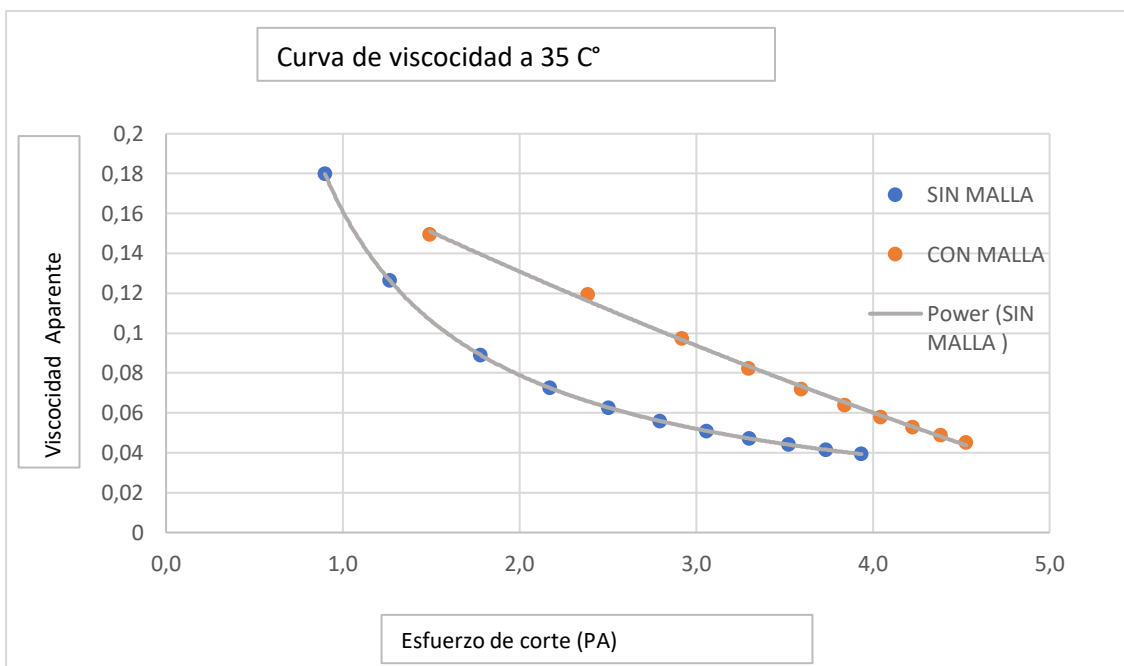


Figura 35 Curva de Viscosidad a 35°C a diferentes mallas, elaboración propia

VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En los resultados hallados experimentalmente representados en tabla 3, se puede observar que la velocidad de corte a diversas temperaturas y mallas aumenta con el esfuerzo de corte.

Al representar las diversas gráficas (**Figura 22 y Figura 23 Ver pag. N° 43 y Figura 24 Ver pag. N° 53**) que se hallaron experimentalmente a diversas temperaturas y mallas, se puede observar que presenta un comportamiento típico de un fluido pseudoplástico.

Al realizar el ajuste de los modelos reológicos se puede observar que a los modelos de Otswald, Herchsel y Sisko son los que probablemente se ajuste nuestro fluido.

También se puede observar que el índice de comportamiento reológico es menor a 1 por lo que confirma que nuestro fluido es de tipo pseudoplástico.

CONCLUSIONES

- 1) Al evaluar el comportamiento reológico de la pasta de tomate Rio Grande a diversas temperaturas y diferentes mallas podemos concluir que existe una relación no lineal entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte, esto se puede observar en las **Figuras 22 y 23 (Ver pag. N° 43) y 24 (Ver pag. N° 53)**
- 2) Al realizar el tratamiento estadístico concluimos que el comportamiento reológico de la pasta de tomate, en el rango de temperaturas y mallas estudiadas, tiene un comportamiento no lineal por lo cual se puede considerar que describe el modelo de Herchsel – Bulkley
- 3) La temperatura y malla que más se ajusta a nuestro modelo reológico es a $T = 25^{\circ}\text{C}$ y sin malla
- 4) Al estudiar los diferentes reogramas, correspondientes a las diferentes temperaturas y diferentes mallas se nota claramente que la velocidad de corte aumenta a medida que se incrementa el esfuerzo de corte.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda realizar el proceso de pelado y triturado del tomate consumo cuidado para evitar la pérdida de fluido antes del proceso de lectura en el reómetro
- 2) Es recomendable ajustar el rango de velocidad de corte o esfuerzo para ajustarlo a las velocidades de trabajo del fluido
- 3) Para ajustar a diversos modelos matemáticos es necesario usar un software estadístico conocido que garantice los ajustes óptimos.

VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu – Jdayil, B., Banat, F. Jumah, R., Al – Asheh, S., & Hammad, S., (2004) A Comparative Study of Rheological Characteristic of tomato Powder Solutions. *International Journal of Food Properties*, 3 (7), pp 483 – 497
- Amaranto, I., & López, G., (2016) *Caracterización Reológica de jalea elaborada a base de Sábila, membrillo y mango* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú
- Asto, A., & Suere, A., (2013) *Comportamiento Reológico de la salsa de ají jalapeño a diferentes concentraciones de goma xantana* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú, Tarma, Perú
- Berrosipi, D., & Villacorta (2017) *Modelos Reológicos asociados a soluciones azucaradas* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú
- Bird, R. (1997) *Fenómenos de Transporte*. México D.F., México : Editorial Reverté, S.A. 4nd Edición
- Bourne, M.C. (1982) *Food Texture and Viscosity : Concept and Measurement*. , New York, USA : Academic Press p. 325
- Brookfield engineering laboratories. More Solutions to Sticky Problems. Disponible en: [https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/tech%20sheets/more%20solutions%202017.pdf](https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/tech%20sheets/more%20solutions%202017.pdf?la=en) ?la=en. Artículo web(08/06/2016).
- Cheftel, J.C., Cheftel, H., & Besancon, P. (1983) *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos*. Zaragoza, España : Editorial Acribia S.A pp. 47 – 80
- Chhabra, R., & Richardson, J. (2008) *Non Newtonian. Flow and Applied Rheology*. Second Edition. B/H

- Ciro, H. (2006) *Reología de fluidos y su aplicación en el área de alimentos*. Trabajo presentado a promoción como profesor asociado .Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Colombia
- Cubero, N., Monferrer, A. & Villalta, J. (2002) *Aditivos Alimentarios. Colección Tecnología de Alimentos. Series Tecnología de Alimentos*. Barcelona, España : Mundi – Prensa libros
- De Hombre R. & Panades G., Sardiñas L. (2016) *Propiedades Reológicas de la Pasta de Tomate Envasada Asépticamente en la Fábrica Valle de Cuajeri. Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 26 (3), pp. 55 – 59
- Duarte, C. (2001) *Introducción a la mecánica de fluidos*. Ed. Universidad nacional de Colombia.
- Fernández, M. M. (2018) *Comportamiento Reológico de las Salsas y Pastas de Tomate Presentes en el Mercado Ecuatoriano* (Tesis de pregrado) Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador
- Gamarra, O.H. (2013) *Caracterización del comportamiento reológico de pulpa de aguaymanto (Physalis Peruviana L.) a diferentes concentraciones y temperaturas* (Tesis de Pregrado).Universidad Nacional del Centro, Huancayo, Perú
- Geapolis, C.J (1986).*Procesos de transporte y operaciones unitarias* .México : Editorial C.E.C.S.A 2^{da} Edición en español
- Gutiérrez, L., (Ecuador) (2013) *Efecto del tipo de carnaza sobre las propiedades reológicas del licor de gelatina pura de origen bovino* (Trabajo de Investigación).Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador
- Ibarrola, E. *Introducción a los fluidos no newtonianos*. Disponible en : https://www.academia.edu/32273482/INTRODUCCION_A_LOS_FLUIDOS_NO_NEWTONIANOS . (07/06/2019).
- Ibarz, A. *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid, España : Editorial Mundi Prensa. 2005 (07/06/2019)

- Llumiquina, J. (2012) *Estudio de las viscosidades medias en tuberías de sistemas de distribución de fluidos no newtonianos tipo barbotina en la empresa FV para propósitos de aumento de eficiencia en procesos de producción.* (Tesis de Pregrado) *Escuela Politécnica Nacional, Quito*
- Mad Farmer *Descripción, foto, Características de cultivar tomate Rio Grande*
<https://es.madlofefarms.com/5780-description-photo-features-of-agricultural-engineering-tomato-rio-grande> (13 de julio 2019).
- Márquez, L., Pretell, C., & Siche, R., (2012) Efecto de la Temperatura y concentración de solidos solubles sobre las propiedades reológicas de la pulpa de guanábana. *Pueblo Continente*, 23 (1), pp.113 – 124
- Mott, R., (2006) *Mecánica de Fluidos*. México. Editorial Pearson Educación, S.A. Sexta Edición
- Müller, H.G. (1973) *Introducción a la Reología de los Alimentos*. Zaragoza, España : Editorial Acribia
- Pardo, M., & Ruiz, D.,(2005) *Análisis de Datos con SPSS 13 Base*. Mc Graw – Hill/Interamericana – 1^{era} Edición
- Perry, R.H. & Chilton, C.H. (1982) *Manual del Ingeniero Químico*. México : Editorial Mc Graw – Hill. 2^{da} Edición
- Quintáns, L. (2008) *Reología de Productos Alimentarios*. Tesis Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela, España
- Quispe, A.Y. (2015) *Perfil Reológico de la pulpa de Cocona*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Centro. Perú
- Ramírez, J. (2006) *Introducción a la Reología en Alimentos*. Cali, Valle, Colombia : *Editorial Recíeta. Vol. 6*
- Rao, M.A. (1975) *Measurements of Flow Properties of Food Suspensions with a Mixer*. Editorial J. Texture Stud. pp.6, 533 – 539
- Rao, M.A. (1977 b) *Measurement of flow Properties of Fluid Foods. Developments, Limitations, and Interpretation of Phenomena*. Editorial J. Texture Stud. pp. 8, 257 – 282

- Regalado, A., & Noriega, O., (2008), *Comportamiento Reológico de un Fluido*, México : *Ciencia y Mar*, Vol. XII, pp. 35 – 42
- Rha, CH. (1978) *Rheology of Fluid Foods. Food Technol.* Nueva York, USA.
- Rosero D.F., (2007) *Salsa de Tomate*. Cali, Valle Colombia : Universidad del Valle. <http://www.ilustrados.com>
- Sánchez., & Franco, C.(2017). *Determinación de los Modelos Reologicas asociados al zumo de piña*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Callao .Callao, Peru,2017
- Sisko, A. (1958) *Flow of the lubricating greases. Industrial Engineering and Chemistry.*
- Tinoco, L., (2016) *Efecto de la Temperatura y concentración en el perfil reológico de la pulpa de melón* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú, Tarma, Perú
- Toneli et al. (2005). Estudio da reología de polissacarídeos utilizados en la industria de alimentos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande. Volumen (7)*, pp. 181 – 204

ANEXOS

A1. MATRIZ DECONSISTENCIA

| PROBLEMA GENERAL | OBJETIVO GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL | VARIABLE DEPENDIENTE | DIMENSIONES | INDICADORES | MÉTODO |
|---|---|--|--|--|--|---|
| ¿Cuál es el modelo reológico óptimo relacionado a la pasta de tomate Río Grande? | Determinar el modelo reológico óptimo asociado a la pasta de tomate Río Grande. | La pasta de tomate Río Grande tiene un comportamiento reológico característico de los fluidos pseudoplásticos y el que mejor se ajusta es el de Ostwald de Waele, | Y = Modelos de flujo no newtoniano asociado a la pasta de tomate Río Grande. | Reproducibilidad de los datos experimentales mediante los modelos reológicos asociados al comportamiento del zumo de tomate. | Los índices de correlación múltiple y análisis de la varianza. | Correlacionando las variables X_1 , X_2 y X_3 . |
| SUB – PROBLEMA | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | VARIABLES INDEPENDIENTES | DIMENSIONES | INDICADORES | MÉTODO |
| a) ¿Cuál es la relación numérica entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte determinado experimentalmente para la pasta de tomate? | a) Determinar experimentalmente la relación numérica entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte para la pasta de tomate Río Grande | Existe una relación no lineal entre el esfuerzo de corte y velocidad de corte asociado a la pasta de tomate Río Grande. | X_1 = La relación no lineal entre el esfuerzo de corte y velocidad de corte asociado a la pasta de tomate Río Grande. | Análisis cualitativo de la relación entre la velocidad de corte y esfuerzo de corte. | Diferencias respecto a la relación lineal | Grafico |
| b) ¿Cómo debe ser la correlación no lineal de los datos experimentales conducentes a obtener los parámetros reológicos asociados a la pasta de tomate. | b) Calcular los parámetros reológicos de los modelos asociados a la pasta de tomate Río Grande mediante el tratamiento estadístico. | El tratamiento estadístico de los datos de esfuerzo de corte y velocidad de corte permite obtener los parámetros de los modelos asociados a la pasta de tomate Río Grande. | X_2 = Tratamiento estadístico de los datos de esfuerzo de corte y velocidad de corte para obtener los parámetros de los modelos asociados a la pasta de tomate Río Grande. | Correlación cuantitativa entre los datos de esfuerzo de corte y velocidad de corte asociados al zumo de tomate. | Índice de correlación y varianza | Regresión no lineal. |
| c) ¿Cuál es el reograma óptimo asociado a la pasta de tomate Río Grande a temperaturas y mallas diversas? | c) Determinar el reograma óptimo asociado a la pasta de tomate Río Grande a las temperaturas y malla de prueba. | El reograma de la pasta de tomate Río Grande tiene el comportamiento típico de un fluido no newtoniano específicamente al del fluido pseudoplástico. | X_3 = Los reogramas asociados al zumo de tomate. | Forma típica de los reogramas de los modelos que representan el comportamiento reológico del zumo de tomate. | Desviación respecto al comportamiento o a las propiedades reológico del fluido newtoniano. | Grafico |

A2. ESTUDIO BOTÁNICO DE PLANTA DE TOMATE RÍO GRANDE



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

CONSTANCIA N° 223-USM-2019

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (rama y frutos) recibida de **SASHA VANESSA PAUCAR BLAZ**, estudiante de la Universidad Nacional del Callao, ha sido estudiada y clasificada como: ***Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (Alef.) Fosberg** y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

DIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: MAGNOLIOPSIDA

SUBCLASE: ASTERIDAE

ORDEN: SOLANALES

FAMILIA: SOLANACEAE

GENERO: *Solanum*

ESPECIE: *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (Alef.) Fosberg

Nombre Vulgar: "Tomate Rio grande"

Determinado por: Mag. Asunción A. Cano Echevarría y Paul Gonzáles

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que considere pertinente.

Lima, 18 de julio de 2019



Mag. ASUNCIÓN A. CANO ECHEVARRÍA
JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE/yr.

| Resumen de procesamiento de casos | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|------------|----------|------------|-------|------------|
| | Válido | | Perdidos | | Total | |
| | N | Porcentaje | N | Porcentaje | N | Porcentaje |
| x | 6 | 100,0% | 0 | 0,0% | 6 | 100,0% |
| y | 6 | 100,0% | 0 | 0,0% | 6 | 100,0% |

| Descriptivos | | | | |
|---|---|-----------------|-------------|---------|
| | | Estadístico | Desv. Error | |
| x | Media | 38,85830 | 11,78778 | |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 8,55690 | |
| | | Límite superior | 69,15980 | |
| | Media recortada al 5% | 38,25090 | | |
| | Mediana | 34,50000 | | |
| | Varianza | 833,71000 | | |
| | Desv. Desviación | 28,87404 | | |
| | Mínimo | 6,25000 | | |
| | Máximo | 82,40000 | | |
| | Rango | 76,15000 | | |
| | Rango intercuartil | 53,46000 | | |
| | Asimetría | 0,53200 | 0,84500 | |
| | Curtosis | - 0,90400 | 1,74100 | |
| | y | Media | 2,24330 | 0,38014 |
| 95% de intervalo de confianza para la media | | Límite inferior | 1,26620 | |
| | | Límite superior | 3,22050 | |
| Media recortada al 5% | | 2,24310 | | |
| Mediana | | 2,24000 | | |
| Varianza | | 0,86700 | | |
| Desv. Desviación | | 0,93114 | | |
| Mínimo | | 1,00000 | | |
| Máximo | | 3,49000 | | |
| Rango | | 2,49000 | | |
| Rango intercuartil | | 1,74000 | | |
| Asimetría | | 0,00700 | 0,84500 | |
| Curtosis | | - 1,194 | 1,74100 | |

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|----|--------|----------------|----|-------|
| | Kolmogorov – Smirnov ^a | | | Shapiro – Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| x | 0,161 | 6 | 0,200* | 0,958 | 6 | 0,803 |
| y | 0,122 | 6 | 0,200* | 0,982 | 6 | 0,962 |

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

