

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**TESIS**

**ESTUDIO DE LA CONCENTRACION Y LA TEMPERATURA SOBRE EL  
COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE LA PULPA DE SAUCO (*Sambucus nigra, sp  
peruviana H.B.K*)**

**PRESENTADO POR:**

Br: JOEL RAMOS RAMOS

Br. RAUL QUISPE HIGUERA

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ASESOR**  
Ing. UBER QUISPE VALENZUELA

**CUSCO - PERÚ**

**2024**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ..... Über Quispe Valenzuela.....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: ..... ESTUDIO DE LA CONCENTRACION Y .....

LA TEMPERATURA SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLOGICO  
DE LA PULPA DE SAUCO (Sambucus nigra, sp. Peruviana H.B.K)

Presentado por: ..... Soel Ramos Ramos ..... DNI N° 46484004,  
presentado por: ..... Raul Quispe Higuera ..... DNI N°: 40152643  
Para optar el título Profesional/Grado Académico de ..... Ingeniero Agrícola Industrial

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por ..... 3 ..... veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de ..... 9 ..... %.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

| Porcentaje     | Evaluación y Acciones   | Marque con una (X) |
|----------------|---|--------------------|
| Del 1 al 10%   | No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.   | X                  |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las subsanaciones.   |                    |
| Mayor a 31%    | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley. |                    |

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 18 de Diciembre de 2025

Firma

Post firma ..... Über Quispe Valenzuela.....

Nro. de DNI ..... 29710826.....

ORCID del Asesor ..... 0000-0001-6021-3129.....

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: ..... 27259:509634706.....

# Joel-Raul Ramos-Quispe

## ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN Y LA TEMPERATURA SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE SAUCO (*Sambucus nigra*)

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:509634706

128 páginas

Fecha de entrega

8 oct 2025, 6:44 a.m. GMT-5

22.653 palabras

127.011 caracteres

Fecha de descarga

24 dic 2025, 11:02 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS grado.pdf

Tamaño del archivo

3.8 MB

## 9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

### Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

|    |   |
|----|---|
| 8% | Fuentes de Internet                           |
| 1% | Publicaciones                                 |
| 5% | Trabajos entregados (trabajos del estudiante) |

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

##### Caracteres reemplazados

19 caracteres sospechosos en N.º de páginas

Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradecer a Dios por permitirnos seguir vivos y disfrutando el maravilloso viaje por la vida, por darnos fuerza para seguir cumpliendo nuestras metas.

“Nuestro profundo agradecimiento a nuestro asesor Ing. Uber Quispe Valenzuela por su apoyo durante todo este proceso y en confiar en nosotros.

De igual forma agradecer a nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial y a su plana de docentes y administrativos de nuestra casa de estudios del tricentenario Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por habernos y permitirnos realizar el pregrado y haber confraternizado en esta institución.

Finalmente agradecer nuestras familias por darnos el apoyo emocional y económico que siempre nos brindó, sobre todo en esta etapa académica. Gracias a todos por permitirnos escalar un escalón más en nuestras vidas dentro de la sociedad.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicado a Dios por darme la existencia y a mi madre por ser mi guía, fortaleza; quien con su amor, paciencia me ha permitido cumplir una meta más; a mis hermanos por su apoyo incondicional durante todo este proceso, por todo ello les agradezco de todo corazón el que estén conmigo.

Joel Ramos Ramos.

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, A mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mis tíos quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en una profesional. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

Raul Quispe Higuera.

## INDICE

|  |             |
|--|-------------|
| <b>PRESENTACION.....</b>                         | <b>I</b>    |
| <b>RESUMEN.....</b>                              | <b>II</b>   |
| <b>INTRODUCCION .....</b>                        | <b>III</b>  |
| <b>PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....</b>           | <b>IV</b>   |
| <b>PROBLEMA GENERAL.....</b>                     | <b>V</b>    |
| <b>OBJETIVO GENERAL .....</b>                    | <b>VI</b>   |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>               | <b>VI</b>   |
| <b>HIPOTESIS .....</b>                           | <b>VII</b>  |
| <b>HIPOTESIS GENERAL .....</b>                   | <b>VII</b>  |
| <b>HIPOTESIS ESPECÍFICOS .....</b>               | <b>VII</b>  |
| <b>JUSTIFICACIÓN .....</b>                       | <b>VIII</b> |
| <b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>     | <b>IX</b>   |
| <b>CAPITULO I.....</b>                           | <b>1</b>    |
| <b>REVISION BIBLIOGRAFICA.....</b>               | <b>1</b>    |
| <b>1.1.       GENERALIDADES DEL SAUCO.....</b>   | <b>1</b>    |
| <b>1.1.1.     Taxonomía.....</b>                 | <b>1</b>    |
| <b>1.1.2.     Distribución.....</b>              | <b>1</b>    |
| <b>1.1.3.     Nombres comunes .....</b>          | <b>2</b>    |
| <b>1.1.4.     Descripción de la especie.....</b> | <b>2</b>    |
| <b>1.1.5.     Utilización del fruto.....</b>     | <b>3</b>    |
| <b>1.1.6.     Ecología del suelo .....</b>       | <b>5</b>    |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.1.7. | <b>Fenología del sauco.....</b>   | 5  |
| 1.1.8. | <b>Propiedades físicas y químicas del fruto del sauco. ....</b>                   | 5  |
| 1.2.   | <b>REOLOGÍA.....</b>  | 7  |
| 1.2.1. | <b>Características de los fluidos .....</b>                                       | 8  |
| 1.2.2. | <b>Parámetros reológicos .....</b>  | 10 |
| 1.2.3. | <b>Viscosidad .....</b>   | 13 |
| 1.2.4. | <b>Variables que Influyen en la viscosidad .....</b>                              | 15 |
| 1.2.5. | <b>Esfuerzo cortante (<math>\sigma</math>) .....</b>                              | 17 |
| 1.2.6. | <b>Velocidad de corte( <math>Y</math>) .....</b>                                  | 18 |
| 1.2.7. | <b>Viscosidad aparente (<math>\eta</math>). ....</b>                              | 18 |
| 1.3.   | <b>MODELOS MATEMÁTICOS PARA COMPORTAMIENTOS<br/>REOLÓGICOS DE ALIMENTOS .....</b> | 19 |
| 1.3.1. | <b>Modelo de Ostwald De Waele o Ley de Potencia.....</b>                          | 19 |
| 1.3.2. | <b>Modelo de Bingham. ....</b>  | 20 |
| 1.3.3. | <b>Modelo de Herschel–Bulkley .....</b>   | 21 |
| 1.3.4. | <b>Modelo de Casson .....</b>   | 21 |
| 1.3.5. | <b>Modelo de Mizari y Berk.....</b>   | 22 |
| 1.4.   | <b>IMPORTANCIA DE LA REOLOGÍA DE ALIMENTOS .....</b>                              | 23 |
| 1.4.1. | <b>Propiedades reológicas de los alimentos.....</b>                               | 24 |
| 1.4.2. | <b>Clasificación reológica de los fluidos alimentarios .....</b>                  | 25 |
| 1.5.   | <b>PULPA DE FRUTA. ....</b>   | 26 |
| 1.5.1. | <b>Proceso productivo de pulpa .....</b>  | 27 |

|                                   |   |           |
|-----------------------------------|---|-----------|
| <b>1.5.2.</b>                     | <b>Usos de las pulpas .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>CAPITULO II .....</b>          |   | <b>30</b> |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b> |   | <b>30</b> |
| <b>2.1.</b>                       | <b>LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>2.2.</b>                       | <b>MATERIALES EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>2.2.1.</b>                     | <b>Materia prima.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>2.2.2.</b>                     | <b>Insumos .....</b>  | <b>30</b> |
| <b>2.2.3.</b>                     | <b>Instrumentos de vidrio de laboratorio. ....</b>  | <b>31</b> |
| <b>2.2.4.</b>                     | <b>Materiales de trabajo .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>2.2.5.</b>                     | <b>Instrumentos de laboratorio de uso específico. ....</b>  | <b>31</b> |
| <b>2.2.6.</b>                     | <b>Equipo de laboratorio .....</b>  | <b>32</b> |
| <b>2.3.</b>                       | <b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>2.3.1.</b>                     | <b>Metodología para la obtención de la pulpa de sauco .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>2.3.2.</b>                     | <b>Descripción de la metodología mediante las operaciones para la obtención<br/>de la pulpa de sauco. ....</b>    | <b>33</b> |
| <b>2.3.3.</b>                     | <b>Descripción de las operaciones.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>2.3.4.</b>                     | <b>Determinación de los parámetros reológico de la pulpa concentrada de sauco<br/>.....</b>                       | <b>35</b> |
| <b>2.3.5.</b>                     | <b>Descripción del proceso para la evaluación del perfil reológico de la pulpa<br/>concentrada de sauco .....</b> | <b>36</b> |
| <b>2.4.</b>                       | <b>DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>   | <b>36</b> |

|                                 |   |    |
|---------------------------------|---|----|
| <b>2.4.1.</b>                   | <b>Diagrama de variables del proceso para la medición instrumental reológica</b>  | 36 |
| <b>2.4.2.</b>                   | <b>Variables independientes</b>   | 37 |
| <b>2.4.3.</b>                   | <b>Variables dependientes</b>   | 37 |
| <b>2.5.</b>                     | <b>MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL</b>  | 38 |
| <b>2.5.1.</b>                   | <b>Matriz para la evaluación reológica</b>  | 38 |
| <b>2.5.2.</b>                   | <b>Para determinar los parámetros reológicos</b>  | 38 |
| <b>2.5.3.</b>                   | <b>Matriz experimental de parámetros reológicos</b>   | 39 |
| <b>2.6.</b>                     | <b>Métodos para determinar el efecto de la temperatura y concentración de la pulpa de sauco.</b>                                      | 40 |
| <b>2.7.</b>                     | <b>DISEÑO ESTADÍSTICO</b>   | 41 |
| <b>2.8.</b>                     | <b>METODOS DE EVALUACION FISICA</b>   | 42 |
| <b>2.8.1.</b>                   | <b>Determinación de sólidos solubles</b>  | 42 |
| <b>2.8.2.</b>                   | <b>Determinación del pH</b>   | 43 |
| <b>CAPITULO III</b>             |   | 44 |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> |   | 44 |
| <b>3.1</b>                      | <b>Comportamiento reológico de la pulpa de sauco</b>  | 44 |
| <b>3.1.1</b>                    | <b>Reogramas de la pulpa de sauco</b>   | 44 |
| <b>3.2</b>                      | <b>Parámetros reológico (índice de consistencia e índice de comportamiento de fluido) de la pulpa de sauco</b>                        | 50 |
| <b>3.3</b>                      | <b>Graficas del comportamiento del efecto de la concentración y temperatura sobre los parámetros reológicos de la pulpa de sauco.</b> | 54 |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| <b>3.3.1</b>  | <b>Comportamiento del efecto de la concentración sobre el índice de comportamiento de flujo (n) de la pulpa de sauco.....</b>       | <b>54</b> |
| <b>3.3.2</b>  | <b>Comportamiento del efecto de la concentración sobre el índice de consistencia (k) de la pulpa de sauco.....</b>                  | <b>55</b> |
| <b>3.3.3</b>  | <b>Comportamiento del efecto de la temperatura sobre el índice de consistencia (k) en la pulpa de sauco. ....</b>                   | <b>58</b> |
| <b>3.3.4</b>  | <b>Viscosidad aparente corregida.....</b>   | <b>60</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>ANÁLISIS DE RESULTADO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN SOBRE LOS PARAMETROS REOLOGICOS DE LA PULPA DE SAUCO.....</b> | <b>66</b> |
| <b>3.4.1</b>  | <b>Efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia ...</b>   | <b>66</b> |
| <b>3.4.2</b>  | <b>Efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de comportamiento de flujo (n).....</b>                                 | <b>71</b> |
| <b>3.4.3</b>  | <b>Efecto de la temperatura y concentración sobre viscosidad aparente corregida. ....</b>   | <b>75</b> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  |   | <b>80</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>  |   | <b>82</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  |   | <b>83</b> |
| <b>ANEXOS</b>   | <b>90</b>   |           |
| <b>ANEXO A: Resultados del análisis reológico de laboratorio de la pulpa de sauco...</b>  |   | <b>90</b> |
| <b>ANEXO B: Elaboración de la pulpa concentrada de sauco a tres concentraciones .....</b> |   | <b>98</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 1</b> <i>Composición bromatológica .....</i>  | <b>7</b>  |
| <b>Tabla 2</b> <i>Principales modelos matemáticos para fluidos .....</i>   | <b>10</b> |
| <b>Tabla 3</b> <i>Constantes reológicas fundamentales para distintos tipos de fluidos .....</i>  | <b>13</b> |
| <b>Tabla 4</b> <i>Uso y aplicaciones de la pulpa según su proceso.....</i>   | <b>29</b> |
| <b>Tabla 5</b> <i>Matriz de Diseño Experimental para la evaluación reológica .....</i>   | <b>38</b> |
| <b>Tabla 6</b> <i>Matriz experimental de parámetros reológicos .....</i>   | <b>39</b> |
| <b>Tabla 7</b> <i>Diseño experimental multifactorial (3x3).....</i>  | <b>41</b> |
| <b>Tabla 8</b> <i>Esquema del ANOVA Multifactorial para determinar el efecto de la temperatura y concentración sobre los parámetros reológicos .....</i> | <b>42</b> |
| <b>Tabla 9</b> <i>MUESTRA 01 (10°Brix) .....</i>   | <b>44</b> |
| <b>Tabla 10</b> <i>MUESTRA 02 (15°Brix) .....</i>  | <b>46</b> |
| <b>Tabla 11</b> <i>MUESTRA 03 (20°Brix) .....</i>  | <b>47</b> |
| <b>Tabla 12</b> <i>Valores de Índice de comportamiento Índice de consistencia.....</i>   | <b>53</b> |
| <b>Tabla 13</b> <i>Coeficientes del modelo potencial.....</i>  | <b>56</b> |
| <b>Tabla 14</b> <i>Coeficientes del modelo exponencial.....</i>  | <b>57</b> |
| <b>Tabla 15</b> <i>Datos extraídos del efecto del efecto de temperatura.....</i>   | <b>59</b> |
| <b>Tabla 16</b> <i>Viscosidad aparente corregida para 10 °Brix .....</i>   | <b>60</b> |
| <b>Tabla 17</b> <i>Viscosidad aparente corregida para 15 °Brix .....</i>   | <b>62</b> |
| <b>Tabla 18</b> <i>Viscosidad aparente corregida para 20 °Brix.....</i>  | <b>64</b> |
| <b>Tabla 19</b> <i>Análisis de Varianza para índice de consistencia (k) .....</i>  | <b>66</b> |
| <b>Tabla 20</b> <i>Análisis de Varianza para Índice de comportamiento(n) .....</i>   | <b>71</b> |
| <b>Tabla 21</b> <i>Análisis de Varianza para V. aparente corregida .....</i>   | <b>75</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> Clasificación de los fluidos.....   | 8  |
| <b>Figura 2</b> Diseño experimental para la obtención de pulpa de sauco .....                       | 33 |
| <b>Figura 4</b> Variables en estudio: .....   | 36 |
| <b>Figura 5</b> Linealización de los datos reológicos de una ecuación.....                          | 39 |
| <b>Figura 6</b> Comportamiento reológico 10°brix.....   | 48 |
| <b>Figura 7</b> Comportamiento reológico 15°brix .....  | 48 |
| <b>Figura 8</b> Comportamiento reológico 20°brix.....   | 49 |
| <b>Figura 9</b> Parámetros reológicos para 10°brix .....  | 51 |
| <b>Figura 10</b> Parámetros reológicos para 15°brix .....   | 51 |
| <b>Figura 11</b> Parámetros reológicos para 20°brix .....   | 52 |
| <b>Figura 12</b> Efecto de la concentración sobre el índice de comportamiento.....                  | 54 |
| <b>Figura 13</b> figura del modelo potencial.....   | 55 |
| <b>Figura 14</b> Grafica del Modelo exponencial .....   | 57 |
| <b>Figura 15</b> Influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia. ....                 | 58 |
| <b>Figura 16</b> Gráfico de viscosidad aparente c. para 10 °Brix .....                              | 61 |
| <b>Figura 17</b> Gráfico de viscosidad aparente c. para 15 °Brix .....                              | 63 |
| <b>Figura 18</b> Gráfico de viscosidad aparente c. para 20 °Brix .....                              | 65 |
| <b>Figura 19</b> Prueba de Múltiple Rangos para índice consistencia (k) para la Temperatura .....   | 67 |
| <b>Figura 20</b> Prueba de Múltiple Rangos para índice consistencia (k) para la Concentracion ..... | 68 |
| <b>Figura 21</b> Grafica de medias para la temperatura .....  | 70 |
| <b>Figura 22</b> Grafica de medias para la concentración .....                                      | 70 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 23 Prueba de Múltiple Rangos para Índice de comportamiento(<i>n</i>) para la Concentración .....</b> | <b>72</b> |
| <b>Figura 24 Graficas de medias para la concentración .....</b>  | <b>74</b> |
| <b>Figura 25 Prueba de Múltiple Rangos para viscosidad A. C. (<math>\mu</math>) para Temperatura ..</b>        | <b>76</b> |
| <b>Figura 26 Prueba de Múltiple Rangos para Viscosidad A. C. por Concentración. ....</b>                       | <b>77</b> |
| <b>Figura 27 Graficas de medias para la temperatura.....</b>   | <b>78</b> |
| <b>Figura 28 Graficas de medias para la concentración .....</b>  | <b>78</b> |

## PRESENTACION

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS.

SEÑORES CATEDRÁTICOS Y MIEMBROS DE LA COMISIÓN ACADÉMICA.

En cumplimiento con las disposiciones del reglamento de grados y títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con la finalidad de optar el grado del título profesional de Ingeniero Agroindustrial ponemos a vuestra consideración el presente trabajo de tesis intitulado: “ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN Y LA TEMPERATURA SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE SAUCO (*Sambucus nigra ,sp peruviana H.B.K*)”

Considerando de vital importancia el procesamiento y transformación de esta fruta (sauco) en nuestra zona y sus propiedades nutricionales para la salud es que se optó de realizar este trabajo de investigación.

## RESUMEN

Se analizó el comportamiento reológico de la pulpa de sauco (*Sambucus nigra*, sp peruviana H.B.K). Evaluando específicamente la concentración y la temperatura en sus propiedades reológicas del flujo. Se evaluaron tres concentraciones de 10°Brix, 15°Brix y 20°Brix; y tres temperaturas 50°C, 60°C y 70°C. Se utilizó un viscosímetro Brookfield para medir el esfuerzo cortante, viscosidad aparente y velocidad de deformación. El diseño estadístico fue un multifactorial 2x3 con arreglo factorial de 9 tratamientos con análisis de varianza y prueba de Tukey al 5% de significancia. La pulpa se comportó como un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico, ajustándose al modelo de la Ley de Potencia (Ostwald de Waele).

**Efecto de la Concentración:** A temperatura constante, el índice de consistencia y la viscosidad aparente aumentaron al subir la concentración. Por ejemplo: para 50°C al subir concentración de 15 a 20 °Brix, elevó la viscosidad aparente de 38.35 a 50.56CPa, incremento el índice de consistencia de 14.362Pa.Sn a 21.88 Pa.Sn. El índice de comportamiento al flujo disminuyó levemente de 0.13 a 0.09.

**Efecto de la Temperatura:** A concentración fija, el índice de consistencia y la viscosidad aparente disminuyeron al aumentar la temperatura. Para una concentración de 15 °Brix al subir de 50 a 60 °C, redujo la viscosidad aparente de 38.35 a 31.46 CPa, disminución del índice de consistencia de 14.362Pa.Sn a 10.84 Pa.Sn y El índice de comportamiento al flujo aumentó levemente de 0.13 a 0.15.

**Palabras claves:** Pulpa de sauco, Comportamiento reológico, Ley de potencia y Fluido pseudoplástico.

## INTRODUCCION

El sauco (*Sambucus nigra, sp peruviana H.B.K*) es una fruta originaria, temporal y perecible de los andes, cultivada en algunas provincias de la Región de cusco y el Perú, que posee propiedades nutricionales principalmente rica en antioxidante, vitamina C y flavonoides, pero que no está siendo aprovechada y procesada debidamente por ser una fruta temporal.

Igualmente es importante tener conocimiento sobre el comportamiento reológico del sauco como la: viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n), estos son influenciados por la temperatura y concentración.

Los parámetros reológicos nos permiten conocer la estructura de los alimentos sólido o líquido y analizar sus cambios estructurales que ocurren durante un proceso, de esa forma apreciar su variación cuando se somete a un cambio de temperatura, concentración y presión.

Como bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, realizamos la investigación intitulada “ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN Y LA TEMPERATURA SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE SAUCO (*Sambucus nigra, sp peruviana H.B.K*)”

Los parámetros reológicos nos permite realizar: diseño de plantas, cálculo de requerimientos de bombeo, establecimiento de las dimensiones de tuberías y válvulas; y para utilizar en el cálculo de operaciones básicas con transferencia de calor y masa.

.

## PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Los fluidos alimentarios como la pulpa de frutas, están sujetos a cambios significativos en su comportamiento reológico debido a variaciones en factores como la temperatura y concentración. Estos cambios pueden afectar significativamente su procesabilidad, estabilidad y desempeño durante el procesamiento, almacenamiento y consumo. Existe falta de conocimiento sobre cómo las variaciones de temperatura y concentración afectan las propiedades reológicas de la pulpa de sauco (*Sambucus nigra, sp. peruviana H.B.K.*). Según *Mezger (2020)*, las propiedades reológicas son esenciales para garantizar la calidad y funcionalidad de productos alimentarios, ya que afectan tanto su comportamiento en procesos industriales como su aceptación por parte del consumidor.

La evaluación reológica es una herramienta muy importante en la formulación del producto; A través de las técnicas reológicas, es posible identificar parámetros específicos, que pueda relacionar con la propiedad deseada en el producto final. Algunas de estas propiedades son características de flujo muy específicas, tales como al ingerir, drenaje o facilidad de untar, extender o pintar, la estabilidad del producto, sí como la estabilidad para evitar fenómenos como la sedimentación o la floculación (*Rao & Bhattacharya, 2021*).

Asimismo, estos parámetros son fundamentales para el diseño y selección de equipos de proceso, como bombas, dosificadores y mezcladores, y permiten garantizar un control eficiente durante la operación. Por este motivo, resulta fundamental comprender cómo la temperatura y la concentración influyen en las propiedades reológicas de un fluido alimentario.

En este contexto, se plantea evaluar el efecto de la temperatura y la concentración sobre los parámetros reológicos de la pulpa de sauco (*Sambucus nigra, sp. peruviana H.B.K.*), una fruta que, aunque menos conocida que otras, tiene un alto potencial económico y nutracéutico. Actualmente, el sauco se exporta principalmente como materia prima sin procesar, por lo que comprender su comportamiento reológico podría impulsar la creación de productos

transformados con mayor valor agregado, contribuir a la diversificación de su uso en la industria alimentaria y fortalecer la cadena de valor de esta fruta.

## **PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es el estudio de la concentración y la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de sauco (*Sambucus nigra, sp peruviana H.B.K*)?

### **Problemas específicos**

1. ¿Cuáles son los parámetros reológicos de la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n) por cuantificación del esfuerzo de deformación ( $\tau$ ) y la velocidad de deformación ( $\gamma$ ) de la pulpa de sauco?.
2. ¿Cuál es el modelo matemático que más se ajusta y que nos permiten interpretar mediciones instrumentales para la viscosidad y los parámetros reológicos?
3. ¿Cómo influye la concentración de la pulpa de sauco en la variación de la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento(n)?
4. ¿Cómo influye la temperatura de la pulpa de sauco en la variación de la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento(n)?

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el estudio de la concentración y la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de sauco (*Sambucus nigra, sp peruviana H.B.K.*).

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar el tipo de fluido, la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n) por cuantificación del esfuerzo de deformación ( $\tau$ ) y la velocidad de deformación ( $\gamma$ ) de la pulpa de sauco.
2. Evaluar los factores reológico para establecer un modelo matemático que más se ajusta para los parámetros reológicos de la pulpa de sauco.
3. Evaluar la influencia de la concentración de la pulpa de sauco en la variación de la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n).
4. Evaluar la influencia de la temperatura de la pulpa de sauco en la variación de la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n).

## HIPOTESIS

### HIPOTESIS GENERAL

La concentración y la temperatura influyen en el comportamiento reológico de la pulpa de sauco (*Sambucus nigra, sp peruviana H.B.K.*).

### HIPOTESIS ESPECÍFICOS

1. El tipo de fluido, la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n), son influenciados por cuantificación del esfuerzo de deformación ( $\tau$ ) y de velocidad de deformación ( $\gamma$ ) de la pulpa de sauco.
2. El modelo matemático que más se ajusta, influyen en la interpretación de la medición instrumental, para la viscosidad y los parámetros geológicos de la pulpa de sauco.
3. La concentración afecta en la variación de la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n) de la pulpa de sauco.
4. La temperatura influye en la variación de la viscosidad, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n) de la pulpa de sauco.

## JUSTIFICACIÓN

La presente investigación del estudio de la concentración y la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de sauco, se justifica por los siguientes motivos:

A nivel científico: Evaluar el comportamiento reológico de la pulpa de sauco, incluyendo parámetros como la viscosidad, el índice de consistencia y el índice de comportamiento, es esencial para comprender cómo fluye y se deforma bajo la acción de fuerzas aplicadas. Estos datos son fundamentales en el diseño y cálculo de equipos industriales, como bombas, dosificadores y mezcladores, asegurando su correcto funcionamiento y optimización en procesos de producción.

A nivel económico: Determinar la calidad reológica de la pulpa de sauco es clave para garantizar un mejor aprovechamiento de esta fruta, contribuyendo a la conservación del producto y aumentando su productividad. Además, este conocimiento puede potenciar su valor agregado en el mercado, promoviendo su uso en diferentes aplicaciones industriales y comerciales.

A nivel social: El estudio reológico de la pulpa de sauco fomenta la diversificación en su uso y consumo dentro de la alimentación humana. Asimismo, permite aprovechar de manera más eficiente sus propiedades nutracéuticas y antioxidantes, contribuyendo a una mejor nutrición y bienestar general.

A nivel tecnológico: Conocer cómo la temperatura y la concentración afectan el comportamiento reológico de la pulpa de sauco permite optimizar los procesos de producción, mejorando la calidad del producto final. Además, este conocimiento facilita el desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento y el perfeccionamiento de las existentes, impulsando la innovación en la industria alimentaria y tecnológica.

## ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

**Tinoco Oscanoa (2016).** Realizo un trabajo de investigación titulado “Efecto de la temperatura y concentración en el perfil reológico de la pulpa de melón (*cucumis melo*)”. El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional del Centro del Perú, en el cual tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura y concentración en el perfil reológico de la pulpa de melón (*Cucumis melo*). Donde las muestras se llevaron a 4 concentraciones de 6,4ºBrix, 10ºBrix, 20ºBrix y 30ºBrix, así mismo se determinó a temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C y 50°C, utilizando un viscosímetro rotacional Brookfield (modelo DV III). A través del método de conversión de Mitschka a los cuales se determinaron los valores de esfuerzo cortante y velocidad de deformación.

Los resultados obtenidos para los parámetros reológicos de la pulpa de melón para una concentración, el índice de consistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura y el índice de comportamiento al flujo tiende a incrementarse: para 6.4ºBrix a 20°C el índice de consistencia fue 2.0559 (Pa.sn) y a 50°C disminuye a 1.3428 (Pa.sn) mientras que el índice de comportamiento al flujo se incrementa de 0.2470 a 0.3500.

Llegando a la conclusión que el índice de consistencia disminuye con la temperatura y aumenta con la concentración, en ambos casos el comportamiento de flujo se incrementa. En todas las muestras la viscosidad aparente disminuye con la temperatura y aumenta con el incremento de concentración. La pulpa de melón a las diferentes concentraciones y temperaturas mostró un comportamiento de flujo no newtoniano ajustándose al modelo de Ostwald De Waele, con un comportamiento pseudoplástico.

**Roldan Carbajal (2015)** Realizaron un trabajo de investigación titulado “Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del nostoc (*Nostoc sphaericum V.*)”, La presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina, en el cual tuvo como objetivo obtener y caracterizar el comportamiento

reológico del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum* V.) en solución a diferentes concentraciones y temperaturas.

Las medidas reológicas se realizaron con un viscosímetro Brookfield DV-III; las temperaturas en los ensayos reológicos fueron  $5\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $10\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $15\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $20\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $25\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $30\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $35\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $40\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $50\pm0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $60\pm0,5^{\circ}\text{C}$  y  $70\pm0,5^{\circ}\text{C}$ . De los cinco modelos probados, Oswalt, Bingahn, Casson, Casson-Modificado y Herschel-Bulkely, los modelos de Ostwald y Herschel-Bulkely son los que se ajustan a los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Teniendo como resultados, al incrementarse la temperatura de  $6^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$  a la concentración de 0,2% del hidrocoloide, el índice de comportamiento reológico (n) aumenta de 1,146 a 1,230, mientras que el índice de consistencia (k) disminuye de 0,037 Pa sn a 0,024 Pa sn, comportándose como un fluido dilatante. Al incrementarse la temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$  a la concentración de 2% del hidrocoloide, el índice de comportamiento reológico (n) aumenta de 0,165 a 0,960 mientras que el índice de consistencia (k) disminuye de 63,655 Pa sn a 0,424 Pa sn, comportándose como un fluido pseudoplástico. El efecto de la concentración del hidrocoloide (X) sobre el índice de consistencia (k) a  $27^{\circ}\text{C}$  de temperatura obedece a la ecuación exponencial  $k=0,0025e^{3,8026X}$ , mientras que a  $70^{\circ}\text{C}$  de temperatura obedece a la ecuación exponencial  $k=0,0005e^{3,3541X}$ . Al incrementarse la concentración del hidrocoloide de 0,2% a 2% y elevarse la temperatura de  $6^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ , la energía de activación como un indicador del movimiento de las moléculas se incrementa de 443,937 J/mol a 2083,235 J/mol.

**Córdova Bartra (2016)** Realizo un trabajo de investigación titulado “Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa ají charapita (*Capsicum frutescens*) en dos variedades amarillo y rojo”. El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, en el cual tuvo como objetivo fue determinar las diferencias

entre las características fisicoquímicas y reológicas de la pulpa de ají charapita en las variedades amarillo y rojo.

Los resultados obtenidos referente a las características fisicoquímicas fueron similares en ambas variedades de pulpa, se encontró una pequeña diferencia en la humedad que contiene la pulpa de ají charapita amarillo fue mayor en 1%. Se demostró que el comportamiento reológico en ambas pulpas de ají se ajusta al modelo de Oswald de Waele o ley de potencia para la pulpa de ají charapita amarillo a 30°C ( $R^2 \geq 0,993$ ), 35°C ( $R^2 \geq 0,993$ ) y 40°C ( $R^2 \geq 0,989$ ), para la pulpa de ají charapita rojo a 30°C ( $R^2 \geq 0,998$ ), 35°C ( $R^2 \geq 0,993$ ) y 40°C ( $R^2 \geq 0,991$ ).

Comportándose ambas pulpas como un fluido pseudoplásticos para la pulpa de ají charapita amarillo a 30°C ( $n \leq 0,2198$ ), 35°C ( $n \leq 0,224$ ) y 40°C ( $n \leq 0,218$ ) y para la pulpa de ají charapita rojo a 30°C ( $n \leq 0,284$ ), 35°C ( $n \leq 0,276$ ) y 40°C ( $n \leq 0,275$ ), la viscosidad en las pulpas es directamente proporcional a las temperaturas de 30°, 35° y 40°C.

**Figueroa et al. (2017)** Realizaron un trabajo de investigación titulado “Comportamiento reológico en pulpa edulcorada de mango (*Mangifera indica L. cv. Magdalena river*)”. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura (10-50 °C) y de la concentración de sacarosa (0-25 %) en las propiedades reológicas de la pulpa de mango. Teniendo como resultados donde se afirmó que la ley de potencia presentó el mejor ajuste al comportamiento reológico con altos valores del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0,997$ ). La pulpa edulcorada de mango evidenció un comportamiento pseudoplástico al ser expuesta a adelgazamiento por cizalladura ( $n < 1$ ) en el intervalo de temperatura de 10 °C a 50 °C. Llegando a la conclusión la temperatura ejerce un efecto significativo sobre el coeficiente de consistencia ( $p < 0,05$ ), pues este disminuyó con el inverso de la temperatura descrito a través del modelo de Arrhenius, mientras que el índice de flujo disminuyó linealmente con el aumento de temperatura. El modelo exponencial presentó un mejor ajuste para predecir el comportamiento

del coeficiente de consistencia frente a efectos de temperatura, concentración y efectos combinados ( $R^2 > 0,90$ ).

**Bustamante & Rojas (2016)** Realizaron un trabajo de investigación titulado “Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa concentrada de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)”. El presente trabajo se realizó en la Universidad Nacional de Cajamarca cuyo objetivo fue determinar la influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa de aguaymanto. Las medidas reológicas fueron realizadas mediante un viscosímetro Brookfield DV- E. Resultados La pulpa de aguaymanto estudiada en sus diferentes concentraciones y temperaturas obedece a la ley de potencia con valores de  $n$  entre 0 y 1, y no presenta umbral de fluencia; son, por lo tanto, fluidos pseudoplásticos. En la determinación de las constantes reológicas fundamentales del producto se debe controlar, principalmente, la concentración de medición, dado que estos parámetros han demostrado ejercer un efecto significativo sobre  $k$  y  $n$ . Las constantes reológicas  $k$  y  $n$ , calculadas utilizando el método MITSCHKA, pueden servir como parámetros de control de calidad para establecer futuras especificaciones del producto en estudio. Llegando a la conclusión Se determinó la influencia de la temperatura y concentración, en el índice de flujo ( $n \leq 0,807$ ) e índice de consistencia ( $k \leq 0,90$ ) para la pulpa de aguaymanto, determinándose la pseudoplasticidad sobre la pulpa, estos valores fueron ajustados a la ley de la potencia, obteniéndose un buen ajuste con la ( $R^2 > 0,92$ ). En la determinación de las constantes reológicas fundamentales del producto, se deben controlar principalmente la concentración de medición, dado que estos parámetros han demostrado ejercer un efecto significativo sobre  $k$  y  $n$ .

**Márquez et al. (2016)** Realizaron un trabajo de investigación titulado “Efecto de la temperatura y concentración de sólidos solubles sobre las propiedades reológicas de la pulpa de guanábana (*Annona muricata L.*)”. El presente trabajo se realizó en la Universidad Privada

Antenor Orrego de Trujillo, en cuyo objetivo fue determinar las propiedades reológicas de la pulpa de guanábana a 30, 40, 50, y 60 °C y concentraciones de sólidos solubles de 15, 20, 25 y 30 °Brix, usando un reómetro rotacional.

Resultados. Los reogramas denotaron un comportamiento de fluido plástico general y fueron ajustados adecuadamente por el modelo Herschel-Bulkley. La temperatura y concentración de sólidos solubles mostraron un efecto significativo sobre las propiedades reológicas. El índice de comportamiento de flujo fue 0,527–0,708; el índice de consistencia, 0,745–2,386 Pa.s; el esfuerzo cortante inicial, 3,204–11,146 Pa. La energía de activación disminuyó con el incremento de sólidos solubles, desde 4,928 kcal/mol para 15 °Brix hasta 3,110 kcal/mol para 30 °Brix. Modelos exponenciales propuestos explicaron el efecto combinado de la temperatura, concentración y velocidad de corte sobre la viscosidad aparente. Conclusión: La pulpa de guanábana presentó un comportamiento No Newtoniano tipo plástico general que fue adecuadamente ajustado por el modelo Herschel-Bulkley.

La temperatura y concentración de sólidos solubles mostraron un efecto significativo sobre las viscosidad aparente, esfuerzo constante inicial, índice de consistencia e índice de comportamiento de flujo de la pulpa de guanábana.

**Guadalupe et al. (2016)** Realizaron un trabajo de investigación titulado “Efecto de goma xantan en el comportamiento reológico de cremas instantáneas de harina de pescado”. El presente trabajo se realizó en la Universidad de Sucre, en cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la incorporación de goma xantan en las características reológicas de cremas instantáneas formuladas con harina de pescado, mediante ensayos rotacionales y dinámicos oscilatorios. Resultados: Los datos experimentales se ajustaron a diversos modelos reológicos, donde se encontró que las cremas presentan un comportamiento pseudoplástico, con buen ajuste estadístico al modelo de Herschel-Bulkley. Las cremas instantáneas formuladas con una concentración de 0,3% de GX se concibe como el mejor tratamiento asociado al aumento del

coeficiente de consistencia, límite de fluencia y disminución de tangente de pérdida ( $\tan \delta < 0,5$ ) indicadores de buenas propiedades estabilizantes y espesantes en suspensiones alimentarias.

Conclusión: La adición de GX produjo un efecto significativo en las propiedades reológicas de las cremas. Los parámetros de flujo presentaron un buen ajuste al modelo de Herschel-Bulkley. Los valores de índice de flujo, indican el comportamiento pseudoplástico de las cremas ( $n < 1$ ). La viscosidad y límite de fluencia aumentaron significativamente con la concentración de GX. Las pruebas dinámicas oscilatorias confirman el comportamiento como gel débil de las cremas dado los valores de “n” y “k” mayores a la unidad, y predominancia del  $G'$  sobre  $G''$ . Debido a la correlación de parámetros reológicos como  $n$  y  $\tan(\delta)$  podemos considerar al tratamiento con adición de 0,3% de GX como el tratamiento más adecuado dado que logra mejorar las características de consistencia y estabilidad tan ( $\delta < 0,5$ ) en las cremas instantáneas de harina pescado.

**Hernández et al. (2015)** Realizaron un trabajo de investigación titulado “Caracterización reológica de pulpa de naranja (*Citrus sinensis L. var Valencia*)”. El presente trabajo se realizó en la Universidad Simón Bolívar, en cuyo objetivo fue caracterizar el comportamiento reológico de la pulpa concentrada *Citrus sinensis L., variedad Valencia*, empleando un viscosímetro rotacional RVD Brookfield, a bajas temperaturas (0 a 25°C). Resultados: la ley de la Potencia representó adecuadamente los datos experimentales obtenidos, considerando la corrección de Mitschka para los parámetros que representan el modelo. El índice de comportamiento al flujo tiene valor inferior a la unidad ( $0,626 < n < 0,604$ ), indicando la pseudoplásticidad del fluido. El comportamiento de la viscosidad aparente, respecto a la temperatura obtuvo buena correlación entre la disminución de la viscosidad con el incremento de la temperatura.

**Quintana et al. (2016)** Realizaron un trabajo de investigación titulado “Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades reológicas de la pulpa de ahuyama (*Cucurbita moschata*)”. El

presente trabajo se realizó en la Universidad de Cargena, en cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura del tratamiento térmico sobre las propiedades reológicas de la pulpa de ahuyama. Resultados: se muestra la viscosidad de deformación. Las pulpas mostraron un comportamiento No-Newtoniano tipo fluidificante, dependiente de los tratamientos térmicos aplicados. Este fenómeno es típico de sistemas complejos, donde el valor de la viscosidad en función de la cizalla se hace mayor a medida que aumenta la concentración y disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación. Conclusión: La pulpa de ahuyama (*Cucurbita moschata*) presentó variaciones de viscosidad en relación a la velocidad de deformación, por lo que se comportan como fluidos no Newtonianos. El modelo de Carreau-Yasuda encaja en el rango de velocidad de deformación aplicada mostrando  $R^2 > 0,993$ . El conocimiento de los efectos de la temperatura, sobre los parámetros del modelo de Carreau-Yasuda, puede contribuir a una mejor compresión de la naturaleza de las interacciones de la pulpa de fruta y facilitar el diseño de procesos.

**Arias & Patricia (2015)** Realizo un trabajo de investigación titulado “Perfil reológico de la pulpa de Cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*)”. El presente trabajo se realizó en la Universidad Nacional del Centro del Perú, en cuyo objetivo fue evaluado el comportamiento reológico de la pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) y los efectos de la muestra a 5 concentraciones siendo estas de 6.5°Brix, 15°Brix, 25°Brix, 35°Brix, y 45°Brix, fueron sometidas a temperaturas de 20 °C, 30°C, 40°C, y 50 °C. Se utilizó un reómetro rotacional de Brookfield modelo DVIII Ultra spindle N°2. A través del método de conversión de Mitschka se determinó los valores de esfuerzo cortante y velocidad de deformación. Los reogramas denotaron un comportamiento de fluido pseudoplástico general y fueron ajustados adecuadamente por el modelo Ostwald de Waele. Resultado: El índice de comportamiento de flujo fue 0.4377-0,3128; el índice de consistencia, 0,186-0,539 Pa.sn. Una ecuación tipo Arrhenius explicó adecuadamente el efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente. El

modelo potencial fijó apropiadamente el efecto de la concentración de sólidos solubles sobre la viscosidad aparente. Modelos exponenciales propuestos explicaron el efecto combinado de la temperatura, concentración y velocidad de corte sobre la viscosidad aparente. Conclusiones: Los parámetros reológicos de la pulpa de cocona para una concentración, el índice de consistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura y el índice de comportamiento al flujo tiende a incrementarse: para 6.5 °Brix a 20°C el índice de consistencia fue de 0,3303 (Pa.sn) y disminuye a 0.1857 (Pa.sn) a 50°C mientras que el índice de comportamiento al flujo se incrementó de 0.3128 a 0.3462. Para una temperatura determinada el índice de consistencia aumenta cuando se incrementa la concentración en sólidos solubles y el índice de comportamiento al flujo se incrementa. A la temperatura de 50°C y 6.5°Brix el índice de consistencia de la pulpa de cocona es de 0.1857 (Pa.sn) y para 15°Brix es de 0.2502; mientras que el índice de comportamiento al flujo de 0.3462 a 0.3515 respectivamente.

## CAPITULO I

### REVISION BIBLIOGRAFICA

#### **1.1. GENERALIDADES DEL SAUCO.**

##### **1.1.1. Taxonomía.**

**Brack (1999)** el saúco se clasifica desde un punto de vista botánico de la siguiente manera:

Reino: Plantae.

División: Magnoliophyta.

Clase: Magnoliopsida.

Subclase: Asteridae.

Orden: Dipsacales.

Familia: Caprifoliaceae.

Género: Sambucus.

Especie: *Sambucus nigra*

Subespecie: *sp peruviana H.B.K*

##### **1.1.2. Distribución**

Es originario de los Andes e introducido a otras regiones, se encuentra distribuido desde Costa Rica hasta Argentina citado por (Repetto et al., 2003). En nuestro país se encuentra a lo largo de los Andes, usualmente cultivado en los valles interandinos, principalmente en los departamentos de Ancash, Lima, Huánuco, Junín, Cajamarca, Cusco y Apurímac (Pretell et al., 1985).

El saúco es una planta originaria del Perú, el saúco tiene un amplio rango altitudinal, desde los 2 800 hasta los 3 900 msnm., según la zona del país, pero el óptimo rango

está entre 3,200 y los 3,800 msnm., encontrándose en los departamentos de Ancash, Lima, Huánuco, Junín, Cusco y Apurímac, (Causil, 2005).

### **1.1.3. Nombres comunes**

Los nombres comunes varían de acuerdo a las zonas donde se distribuye esta especie como son: "Sauco" (Andahuaylas, Bolivia y Colombia), "Rayan" (Cuzco), "Uvas de la sierra", "Uvilla del diablo", "Pochko uvas" (Ancash), "Layan", "Pintura de novia" (San Jeronimo), "Ccola ccola", "Kjola" (Aymara), "Sauco blanco", "Tilo" (Ecuador). (Pretell et al., 1985).

### **1.1.4. Descripción de la especie**

La especie *Sambucus peruviana* H.B.K. está representada por árboles o arbustos, normalmente de 3 a 6 metros de altura, llegando a alcanzar los 12 metros cuando se encuentra en buenas condiciones, presenta un diámetro máximo de 40 cm, copa globosa, frondoso, fuste recto y robusto, a veces se encuentra torcido, follaje siempre verde claro y con flores blancas, sus tallos tiernos son poco resistentes debido a una medula esponjosa; a medida que la planta envejece, el fuste se endurece de tal manera que constituye una madera más fuerte y utilizada en construcciones rurales (Pretell et al., 1985).

En los rebrotes, la medula central contiene abundante reserva de agua, haciendo que su consistencia sea suave. El grosor del fuste de los árboles de sauco, varan de acuerdo a la edad de la planta, condiciones de suelo y pisos ecológicos, adquiriendo abundantes ramificaciones cortas de medula hueca en la copa del árbol; si la planta es talada el tallo rebrota con facilidad varias varillas, las hojas de estos rebrotes son grandes, anchas y de color verde oscuro (IDMA, 2000).

La corteza externa es áspera, suavemente agrietada, las grietas son de 2 - 4 mm de profundidad, menos agrietada hasta lisas en arboles jóvenes de color cenizo.

Mientras, la corteza interna es de color blanquecino, quebradiza, delgada de 2 - 4 mm de espesor (Hinostroza et al., 1988).

- **Ramitas terminales.**- Cilíndricas angulosas, a veces huecas, color marrón claro, robustas, aprox. 0.8 - 1 cm diámetro, poseen cicatrices que las circundan en los nudos; son glabras, a veces lenticeladas (Reynel & León, 1990).
- **Hojas.**- Compuestas de 7 - 9 foliolos, imparipendadas, opuestas, decusadas 20 - 30 cm en promedio, ápice agudo; base asiforme; con borde finamente aserrado, de 4 - 16 cm de largo y 3 - 7 cm de ancho; nervaduras primaria y secundarias, bien marcadas (Galindo, 2003).
- **Flores.**- Actinomorfas, aprox. 8 mm diámetro; cáliz verde, gamosépalo, cortamente dentado; corola con 5 pétalos libres redondeados, blancos; 5 estambres, alternos con pétalos, aproximadamente 4 mm de longitud. Pistilo con ovario supero, globoso; estilo corto; estigma capitado y carnoso (Reynel & León, 1990).
- **Inflorescencias.**- Cimas umbeliformes terminales con una longitud de 15 cm a más (Reynel & León, 1990).
- **Frutos.**- Bayas triloculares de 7 a 12 mm de diámetro, 4 a 6 semillas, embriones pequeños, carnosos y jugosos, sabor dulceíno, comestibles, agrupados en racimos de color morado, intenso a negro cuando son maduros (Galindo, 2003).

#### **1.1.5. Utilización del fruto**

- El fruto del sauco es utilizado en estado fresco, pero también, se conserva seco sin que sus propiedades o características naturales se transformen, aun cuando su superficie presente profundas arrugas. Este fruto contiene sustancias amargas en pequeñas proporciones, conteniendo gran cantidad de glúcidos importantes para la fabricación de jaleas y mermeladas.

- En la actualidad, el fruto es procesado industrialmente en forma de mermeladas, licores, yogurt, jaleas, jugos, refrescos, proporcionándole valor agregado y ganancias al poblador rural (Galindo, 2003).
- La transformación industrial del fruto de sauco en diferentes productos derivados mencionados anteriormente; requiere que el fruto presente características organolépticas deseables para obtener un producto final de alta calidad. Para el procesado del licor de sauco, las bayas deben presentar una madurez uniforme con el objetivo de aprovechar el color y la fragancia de las bayas. Por tal motivo, esto involucra la eliminación de las bayas verdes o deterioradas, así como el escobajo o ramas del racimo (Ibañez, 2000).
- Durante el procesado de mermeladas, yogures y néctares; la piel u hollejo que cubre las bayas debe ser eliminada en forma manual o mecánica para aprovechar totalmente la pulpa, porque en la elaboración del licor de sauco, estas son utilizadas con todo y cascara, siendo estrujadas y prensadas, a fin de transferir los pigmentos desde los hollejos hacia el medio líquido del mosto, obteniéndose un color más intenso de este (Cahuana, 1991).
- En la actualidad, los frutos de sauco deben presentar una madurez industrial en la elaboración de licores, mermeladas, yogures y néctares que son medidos a través del pH y los grados brix. Estos valores para el procesado del fruto de sauco se encuentran entre 2,5- 3,4 y 6,5- 7,0, respectivamente (Group, 2005).

### **1.1.6. Ecología del suelo**

El sauco es una especie heliofítica, crece entre los 2300 - 3500 m.s.n.m. en zonas con temperatura media anual de 8 a 17°C; además, se presenta en zonas con ocurrencia eventual de heladas (Brack, 1999).

En relación al tipo de suelo es poco exigente, aunque se desarrolla mejor en suelos profundos, fracos y limosos, con pH neutro a ligeramente alcalino (Cahuana, 1991). Su desarrollo óptimo se observa principalmente en suelos profundos y de textura variable, siendo tolerantes a la pedregosidad baja y media (Brack, 1999).

### **1.1.7. Fenología del sauco**

La etapa de floración se inicia a fines del mes de noviembre y comienzos de diciembre, variando según las condiciones climáticas y el piso altitudinal en el que se desarrolla; después de realizada la fecundación, las bayas de sauco comienzan a crecer, alcanzando su mayor tamaño a fines del mes de enero e inicios del mes de febrero (Cahuana, 1991).

En el Perú, el periodo de fructificación se da en forma escalonada durante todo el año, dependiendo de la zona y suministro de agua (Repetto et al., 2003). En el departamento de Cajamarca, cuenca de Chota, la fructificación se logra dos veces al año durante los meses de enero- marzo y julio- agosto (Palomino, 2004).

En el departamento de Cusco, provincia de Canchis, el periodo de floración se inicia entre los meses de setiembre a diciembre. La maduración de frutos varía de acuerdo a los pisos altitudinales, se inicia entre marzo y mayo (Galindo, 2003).

### **1.1.8. Propiedades físicas y químicas del fruto del sauco.**

- **Humedad.-** La determinación realizada por varios autores acerca del contenido de humedad en el fruto de "Sauco" fue de 91,49 %; 71,6 %; 89,67 % (Cahuana, 1991).

El componente fundamental de los frutos es el agua, el cual representa del 50 a 90 % de su peso, en estado de madurez. Sin embargo, el desarrollo de los frutos no está condicionado solamente a las disponibilidades de agua en el suelo, sino al suministro de elementos minerales del suelo (Gil - Albert, 1991).

- **Desprendimiento de frutos.-** El desprendimiento de los frutos es debido a la formación en el pedúnculo del fruto, a nivel de la zona de inserción, de la llamada "capa de abscisión". La formación de esta capa, está claramente controlada por va hormonal. Cuando el fruto madura, la presencia de esta capa se hace aparente, y el fruto se desprende con facilidad (Gil - Albert, 1991).
- **Sólidos solubles totales (SST).-** En el estado de plena madurez del fruto de sauco, los sólidos solubles totales, están comprendidos entre 6,5 y 7,2 grados brix (Cahuana, 1991).
- **pH.-** El fruto maduro del sauco es considerado muy acido por oscilar su pH entre 3,2-3,8. Por tal motivo, la determinación del pH en los frutos de sauco tiene importancia para determinar el grado de acidez, el estado de madurez, el grado de deterioro de las bayas de sauco, además de la conservación y almacenamiento de alimentos, por su efecto inhibidor en el desarrollo de microorganismos y enzimas (Cahuana, 1991).
- **Cenizas.-** La determinación realizada por varios autores acerca del contenido de cenizas en el fruto del sauco fue de 0,84 %; 2,1 % y 0,89 % (Cahuana, 1991).

**Tabla 1**  
***Composición bromatológica***

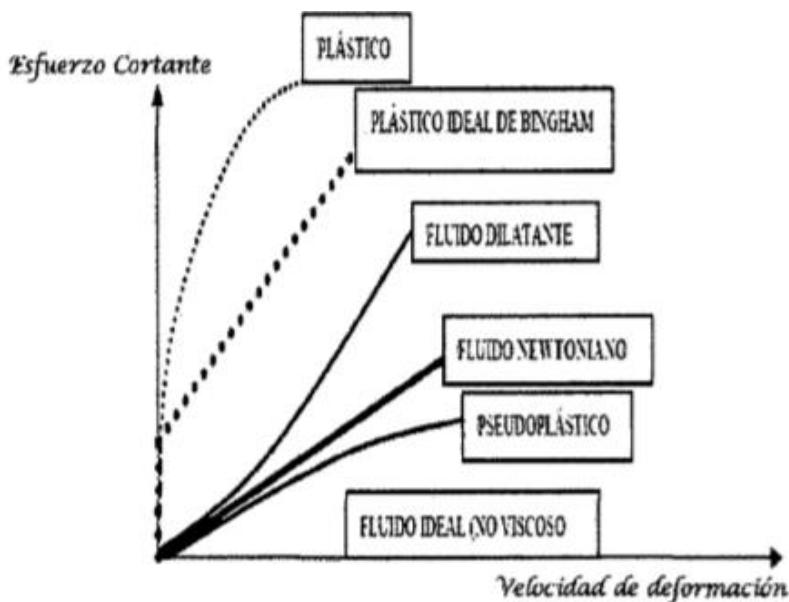
| COMPONENTES                  | <i>S. Peruviana</i> |
|------------------------------|---------------------|
| MS %                         | 14.08               |
| Celulosa %                   | 8.13                |
| Hemicelulosa                 | 2.16                |
| Carbohidratos solubles %     | 40.46               |
| Energía digestible en cal/Kg | 2.84                |
| Energía bruta en Mcal/Kg     | 4.57                |

**Nota: Datos tomados de INDECOPI 2016**

## 1.2. REOLOGÍA

La Reología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia. Su objetivo está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas, desarrollando posteriormente un modelo matemático que permita obtener las propiedades reológicas del material. Ejemplos cotidianos de interés para la reología se encuentran la mayonesa, yogurt, pinturas, asfalto, sangre y muchos más (CHHABRA, 2007).

La clasificación de fluidos (Figura 1) está dada por las diferentes características reológicas que pueden ser descritas a través del uso de un viscosímetro (CLEMENTS, 1999).

**Figura 1****Clasificación de los fluidos**

Nota. La figura muestra la clasificación de los fluidos. Fuente: Me Clements, (1999).

### 1.2.1. Características de los fluidos

Según **Hermida (2000)** los cuerpos deformables presentan dos comportamientos extremos que son el elástico y el viscoso, entre los cuales puede existir una gama muy amplia, vulgarmente conocida como comportamiento plástico, con entidad propia o como combinación de los comportamientos elástico y viscoso.

Según **Alvarado & Aguilera (2001)** las propiedades reológicas de los alimentos fluidos se cuantifican mediante parámetros que son necesarios para solucionar problemas que se presentan en varios aspectos que tienen relación con la obtención de un producto alimenticio como son: control de calidad, evaluación de la aceptación del consumidor, evaluación de la textura, diseños de procesos y control, determinación de la estructura del alimento incluyendo cambios fisicoquímicos que ocurren durante el proceso de elaboración y almacenamiento.

Los alimentos debido a su gran variedad en estructura y composición presentan características reológicas, que van desde una simple conducta newtoniana a una no

newtoniana que puede ser dependiente o independiente del tiempo, como también viscoelástico. Incluso un mismo alimento puede exhibir conducta newtoniana y en otros casos no newtoniana, dependiendo de su origen, concentración, temperatura y de otras propiedades y que estas pueden variar incrementando o descendiendo todo tiene una relación con interacciones moleculares (Alvarado & Aguilera, 2001).

**RAO (1986)** afirma que existen diferentes tipos de comportamientos reológicos para los fluidos alimenticios, los cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos. Asimismo dichas propiedades son de gran relevancia para el control de calidad del jugo y además, existe una correlación que las relaciona con la aceptabilidad por parte del consumidor.

**Fluido newtoniano:** es aquel fluido que presenta una viscosidad constante dependiente de la temperatura pero independiente de la velocidad de deformación que le sea aplicada.

**Fluido no newtoniano:** este tipo de fluido no tienen una sola viscosidad a una temperatura dada, se dice que son dependientes tanto la temperatura como la velocidad de deformación y pueden ser también dependientes del tiempo. Con base en esta última condición los fluidos no newtonianos pueden clasificarse en:

**Pseudoplástico:** para este tipo de fluido la viscosidad decrece conforme se incrementa la velocidad de deformación, la razón por la cual se da este comportamiento, explica (BOLMSTEDT, 2000), es que al haber mayor velocidad de deformación las partículas de este tipo de fluido se reacomodan de tal modo que existe una menor resistencia al flujo y por lo tanto una menor viscosidad.

**Dilatante:** la viscosidad de estos fluidos incrementa al mismo tiempo que la velocidad de deformación incrementa, este tipo de comportamiento es común en suspensiones de muy alta concentración.

**Plásticos y plásticos de Bingham:** estos fluidos requieren la aplicación de una fuerza antes de que el material comience a fluir. A dicha fuerza se le conoce como esfuerzo de cadencia (BOLMSTEDT, 2000).

## Tabla 2

### *Modelos principales matemáticos para fluidos*

| Tipo de Fluido          | Ecuación                              |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Fluido ideal de Bingham | 1) $\tau = \tau_o + \mu \dot{\gamma}$ |
| Ley de Newton           | 2) $\tau = \mu \dot{\gamma}$          |
| Ley de Ostwald          | 3) $\tau = k (\dot{\gamma})^n$        |

Fuente: (Regalado & Noriega, 2014).

Nota. Dónde: Esfuerzo cortante ( $\tau$ ), velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), índice de consistencia ( $k$ ) e índice de comportamiento del fluido ( $\mu$ ).

### 1.2.2. Parámetros reológicos

Para los fluidos no newtonianos se considera modelos sencillos como mínimo dos parámetros reológicos; el primero, un coeficiente consistencia que indica el grado de consistencia o viscosidad del fluido, que se obtenido a partir de la velocidad de deformación en el medio y el esfuerzo de cortante; el segundo, un índice de comportamiento del fluido sin unidades que indica la afinidad hacia el flujo newtoniano. Estos dos parámetros se pueden hallarse a partir del gráfico de los logaritmos del esfuerzo de corte y de la velocidad de deformación (linealización de la ecuación de la potencia); el intercepto resultante y la pendiente pasaran a modelar los parámetros reológicos buscados. (Barnes, 2001).

#### A) Índice de comportamiento de flujo

El índice comportamiento de flujo es también conocido como índice de fluidez y está representado por la “n”, su valor es una cifra adimensional que resume la cercanía o

afinidad a un fluido de tipo newtoniano, los fluidos newtonianos se encuentran dentro rango del valor de “n” igual a 1; mientras más cerca sea el valor a 1, gráficamente tendrá la forma lineal, el fluido va presentar características de viscosidad constante en función a la gradiente de deformación aplicada (Steffe, 1996) Para casos donde el índice de fluidez este por encima de la unidad, el fluido es clasificado como dilatante, este fenómeno ocurre por un espesamiento en el tiempo; por otro lado si el valor de “n” tiene un valor decimal positivo es clasificado como fluidos pseudoplásticos, donde la matriz interna del fluido tiende a un adelgazamiento. Cuando “n” es negativo, ocurre una degradación molecular interna tal fenómeno se da en la matriz del fluido causando la disipación viscosa, el desplazamiento del fluido a lo largo de la pared capilar, y que está influenciada por el esfuerzo de corte inicial. (Fraiha, 2011)

El índice de fluidez también es influenciado por parámetros como la temperatura y dando como consecuencia su disminución a medida que está aumenta su temperatura e incrementando cuando la concentración de sólidos solubles aumenta (Wagner et al., 2017).

### **B) Índice de consistencia**

Está representado como la letra “K”, su unidad es Pas<sup>n</sup>, este valor es el resultado de una proporcionalidad entre las variables de velocidad de deformación y el esfuerzo cortante aplicado; el índice de consistencia nos da una idea del grado de viscosidad en los fluidos no newtonianos siendo como su equivalente la viscosidad en los fluidos newtonianos. Sin embargo, para ser capaz de comparar entre diferentes valores de K para diferentes fluidos. (Steffe, 1996).

Un incremento del índice de consistencia, nos indica un incremento del contenido de los sólidos solubles o también nos indica la disminución del tamaño de las partículas dentro de la matriz interna del fluido, caso contrario ocurre cuando hay un aumento de temperatura lo cual nos relaciona la alta dependencia del índice de consistencia con la temperatura. (Kokini, 1990)

### **C) Umbral de fluidez**

Algunos modelos reológicos consideran al umbral de fluidez como estrés de fluidez y umbral de fluencia, el umbral de fluidez nos representa la fuerza mínima necesaria para que un fluido tienda a fluir (Bourne, 1982).

**Munizaga & Barbosa (2004)** quien dice que es el esfuerzo requerido para iniciar el movimiento de un fluido, de cuya interpretación física se puede decir que se relacionada con la estructura interna que debe ser destruido o removido, antes de que pueda suceder el flujo (estructura interna que se opone al movimiento del material).

**Tabla 3***Constantes reológicas fundamentales para distintos tipos de fluidos*

| Tipo de fluido                    | Índice de consistencia         | Índice de comportamiento | Umbrales de fluidez | Ejemplos  |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------|---|
| Newtoniano                        | Viscosidad<br>$k>n$            | $n=1$                    | $\tau_o = 0$        | Jugos clarificados, leches, aceites, jarabes de pastelería. |
| Pseoplástico                      | Viscosidad aparente<br>$k>0$   | $0 < n < 1$              | $\tau_o = 1$        | Jugos concentrados cremogenados y purés de frutas.          |
| Plástico de Bingham               | Plasticidad constante<br>$k>0$ | $n=1$                    | $\tau_o = 2$        | Aderezos de ensaladas, chocolates.                          |
| Tipo mixto<br>(Herschel -Bulkley) | $k>0$                          | $0 < n < 1$              | $\tau_o = 3$        | Mermeladas y jaleas   |
| Dilatante                         | $k>0$                          | $1 < n < 4$              | $\tau_o = 4$        | Mantequillas de maní, pasta de salchichas                   |

Fuente: Rheological Methods in Food Process Engineering. (Steffe, 1996)

### 1.2.3. Viscosidad

La viscosidad se utiliza como un indicador cuantitativo de calidad en la industria de los aceites, la petroquímica, de los alimentos, la farmacéutica, la textil, de las pinturas, entre otras. Es la propiedad del líquido que define la magnitud de su resistencia debida a las fuerzas de cizalla en su interior, siendo la propiedad del líquido que más influye en las características de flujo. La viscosidad se debe principalmente a las interacciones entre las moléculas del fluido (DUARTE & NIÑO, 2004).

**Acosta (2008)** En el estudio que realizó sobre “Influencia de la temperatura y concentración en las características reológicas de la pulpa de carambola (*Averrhoa carambola*)”, menciona en su conclusión que efecto de la temperaturas y concentraciones tiene un comportamiento pseudoplástico. En todas las muestras la

viscosidad aparente decrece con el aumento de temperatura y aumenta con la concentración de sólidos solubles.

Otra forma de definir la viscosidad es como la relación entre el esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y la tasa de deformación ( $\gamma$ ) adoptada por el fluido.

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma}$$

Dónde:

$\mu$  : Viscosidad (Pa.s) o (kg/m.s) en el sistema internacional de unidades.

$\tau$  : Esfuerzo de corte (Pa)

$\gamma$ : Velocidad de deformación (1/s).

#### A) Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica es la propiedad del fluido en virtud de la cual éste ofrece resistencia a las tensiones de cortadura. Es decir la viscosidad absoluta representa la viscosidad dinámica del líquido y es un término muy utilizado para fines prácticos (Ibarz et al., 2006).

#### B) Viscosidad aparente

La viscosidad aparente, se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación para fluidos de comportamiento no lineal. Este término que se utiliza al hablar de “viscosidad” para fluidos no Newtonianos, (WHITE, 1970).

#### C) Viscosidad aparente corregida.

Para corregir la viscosidad aparente, se utiliza el modelo de Ostwald de Waele, se utiliza cuando porque las características que presenta la de un fluido no newtoniano (pseudoplástico). Y la ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$\mu_{apc} = k(\gamma)^{n-1}$$

Dónde:

$\mu_{apc}$ : viscosidad aparente corregida (Cp).

K: índice de consistencia (Pa.S<sup>n</sup>).

$\gamma$ : velocidad de deformación(S<sup>-1</sup>).

n: índice de comportamiento al flujo(parámetro adimensional).

#### 1.2.4. Variables que Influyen en la viscosidad

**Gonzales (2009)** menciona que las variables más importantes que afectan a la viscosidad son:

- a) Concentración
- b) Temperatura
- c) Presión

##### A) Variación de la viscosidad con la concentración

**Bourne (1992)** Menciona que la viscosidad de un compuesto depende fuertemente de la concentración, la relación entre la concentración de sólidos solubles y la viscosidad, pero no lineal a temperatura constante.

Se han descrito dos tipos de correlaciones o modelos matemáticos para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad, según a los siguientes modelos (RAO M. , 1986):

##### Potencial

$$k = K_1 \cdot (C)^{A_1}$$

##### Exponencial:

$$k = K_2 \exp. (A_2 C)$$

En estas ecuaciones K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> son constantes y C es el contenido en sólidos solubles del fluido expresado en °Brix. Estas ecuaciones también son válidas para estudiar el efecto de la concentración en el índice de consistencia.

## B) Variación de la viscosidad con la temperatura

Según **Carmona (2008)** la viscosidad de un alimento líquido disminuye con la temperatura. Existen varias fórmulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Las más importantes son:

La ecuación de Arrhenius

Siendo:

$$\eta = Ae^{B/T}$$

$\eta$ : Viscosidad dinámica (Pa.s) que se relaciona con el índice de consistencia.

A y B: Constantes dependientes del líquido.

T: Temperatura absoluta en °C.

Como se ve en la ecuación, la viscosidad disminuye con la temperatura. Esto es debido al hecho de que, conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad.

Por este hecho se deben extremar las precauciones a la hora de medir la viscosidad, teniendo en cuenta que la temperatura debe permanecer prácticamente constante.

El modelo de Arrhenius se aplica generalmente para describir el comportamiento dependiente de muchas gomas con respecto a la temperatura, tales como carragenano, xantano, pectina y almidón (Karazhiyan, y otros, 2009). El parámetro de energía de activación ( $E_a$ ) es un indicador de movimiento de moléculas, en la que un mayor valor de ( $E_a$ ) significa un cambio más rápido de la viscosidad (Koocheki et al., 2009)

La energía de activación nos indica la barrera de energía que debe ser superada antes de que el proceso de flujo primario pueda suceder. Generalmente, cuanto mayor es la energía de activación, mayor será el efecto de la temperatura sobre la viscosidad. (Karazhiyan et al., 2009)

**Ibarz & Barbosa (2005)** Reportan que los alimentos fluidos durante todo el proceso de elaboración, almacenamiento, transporte, venta y consumo, están sujetos a variaciones continuas en su temperatura. Es por ello, que resulta importante conocer las propiedades reológicas de los productos en función de la temperatura.

En el caso de los fluidos newtonianos, la expresión que correlaciona la viscosidad con la temperatura es una ecuación tipo Arrhenius.

### C) Variación de la viscosidad con la presión

La viscosidad en líquidos aumenta exponencialmente con la presión. Excepcionalmente, para el agua a temperaturas menores de 30° C la viscosidad disminuye. Los cambios de viscosidad con la presión son bastante pequeños para presiones distintas de la atmosférica. Para la mayoría de los casos prácticos, el efecto de la presión se ignora a la hora de hacer mediciones con el viscosímetro o reómetro (Gonzales, 2009).

#### 1.2.5. Esfuerzo cortante ( $\sigma$ )

Es la fuerza por unidad de área aplicada paralelamente al desplazamiento (cortante). Tiene unidades de fuerza dividido por superficie, en el SI se mide en N.m<sup>-2</sup>. Es homogéneo con la unidad de presión, Pa. Aunque hay que recordar que a diferencia de ésta, el esfuerzo cortante es una magnitud vectorial (Carballo, 2017).

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

### **1.2.6. Velocidad de corte( $\gamma$ )**

La velocidad de corte se define como el gradiente (velocidad espacial de cambio) del perfil de velocidades (Carballo, 2017).

$$\gamma = \frac{\partial v}{\partial x}$$

La velocidad de corte se mide en tiempo s-1

Aunque a menudo sólo se representa una componente,  $\gamma$  es una magnitud vectorial.

### **1.2.7. Viscosidad aparente ( $\eta$ ).**

Mide la facilidad que tiene una determinada sustancia para fluir ante la aplicación de un esfuerzo cortante en determinadas condiciones.

Se define como la relación entre esfuerzo cortante y velocidad de corte.

$$\eta = \frac{t}{p}$$

Se mide en kg m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. La unidad clásica es el Poise y la más comúnmente usada es el centipoise(Cp) y pascal segundo(Pa.s).

Los fluidos Newtonianos son los de comportamiento más sencillo al presentar una viscosidad aparente constante ( $T=cte.$ ) e independiente de esfuerzo de corte y de la velocidad de corte (Carballo, 2017).

### **1.3. MODELOS MATEMÁTICOS PARA COMPORTAMIENTOS REOLÓGICOS DE ALIMENTOS**

Los modelos reológicos son una relación matemática que nos permite caracterizar la naturaleza reológica de un fluido, estudiando la deformación dada a una tasa de corte específica (Bedoya & Cardona, 2009).

**Weir & Bailey (1996)** publican un estudio estadístico donde pretenden demostrar la capacidad de algunos modelos reológicos, diferentes a los modelos Plástico de Bingham y Ley de Potencia, para caracterizar un fluido. En general se considera que el modelo de Ley de Potencia proporciona mejores aproximaciones a bajas tasas de corte, mientras que el modelo Plástico de Bingham lo hace a altas tasas.

Las fuentes más útiles de información reológica son habitualmente los modelos empíricos. A continuación se indican algunos de los modelos más utilizados.

#### **1.3.1. Modelo de Ostwald De Waele o Ley de Potencia**

En un modelo de dos parámetros para el cual la viscosidad absoluta disminuye a medida que la tasa de corte aumenta, por tanto bajo este modelo los fluidos empieza a fluir a una tasa de corte cero (Bedoya & Cardona, 2009).

La relación entre la tasa de corte y el esfuerzo de corte está dada por la siguiente ecuación:  $\tau = k\gamma^n$

Dónde:

$\tau$  : Esfuerzo cortante (Pa)

k : Coeficiente o índice de consistencia de flujo (Pa.sn)

$\gamma$  : Velocidad de deformación (1/s)

n : Índice de comportamiento al flujo o índice de flujo.

Es un modelo de dos parámetros: k (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento).

- n = 1, el modelo representa el comportamiento newtoniano, con  $\eta = k$ . Por consiguiente, la desviación del valor de n de la unidad es una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano.
- n > 1, el modelo sigue un comportamiento dilatante.
- n < 1 indica un comportamiento pseudoplástico.

### 1.3.2. Modelo de Bingham.

Cuerpo plástico de Bingham. Estos cuerpos no se derraman bajo el efecto de su peso; necesitan que la presión sobrepase un umbral para que comience el flujo.

**Cheftel (2002)** Una vez que se ha sobrepasado este valor crítico, el fluido se comporta como newtoniano. Esto se expresa por.

$$\sigma = K \dot{\gamma} + \sigma_0$$

Donde:

: tensión(Pa).

$\sigma_0$  : es el esfuerzo cortante de cedencia (Pa).

K: viscosidad plástica (Pa.s<sup>n</sup>).

$\dot{\gamma}$ : velocidad de corte (1/s).

Algunos ejemplos de fluidos alimentarios que presentan este comportamiento son: salsa de tomate, mayonesa, crema batida, clara de huevo batida y margarina, condimentos tipo mostaza, mantequilla, salsa de chocolate y puré de patatas (BLASCO, 2006) .

### 1.3.3. Modelo de Herschel–Bulkley

Varios modelos son utilizados para cuantificar el esfuerzo mínimo de deformación en fluidos pseudoplásticos. Según BOURNE, (1992), una ecuación ampliamente utilizada es la de Herschel – Bulkley (H-B):

$$\tau - \tau_0 = k(\gamma^n)$$

Dónde:

$\tau$  : Esfuerzo cortante (Pa)

$k$  : Coeficiente o índice de consistencia de flujo (Pa.sn)

$\tau_0$  : Umbral de fluencia (Pa)

$\gamma$  : Velocidad de deformación (1/s)

En este modelo los parámetros “ $n$ ” y “ $k$ ” se definen igual que en Ley de Potencia.

Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando  $n = 1$  y en Ley de Potencia cuando  $\tau y = 0$ .

### 1.3.4. Modelo de Casson

El modelo de Casson se ha utilizado para los alimentos, en particular para la estimación de  $k_{oc}$  (la tensión inicial), para el modelo de Casson, la curva de esfuerzo de cizallamiento frente a velocidad de cizallamiento se puede transformar en una línea recta por el trazado de la raíz cuadrada de la tensión de cizallamiento frente a la raíz cuadrada de la velocidad de cizalla (**STEFFE, 1996**). La oficina internacional del cacao y del chocolate ha tomado este modelo como oficial para representar la conducta del flujo del chocolate. Este modelo fue introducido originalmente por Casson, para la predicción del comportamiento de flujo de suspensiones en aceite de

pigmento. El modelo de Casson se basa en un modelo de estructura de la conducta interactiva de fases sólida y líquida de una suspensión de dos fases. El modelo describe el flujo de fluidos viscoplásticas que se puede describir matemáticamente como sigue:

$$\tau^{1/2} = k_{oc} + k_c (\gamma)^{1/2}$$

Dónde:

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

$\tau$  = tensión de cizallamiento (Pa)

$K_{oc}$  = tensión inicial (Pa)

$k_c$  = Viscosidad plástica de Casson (Pa.s).

### 1.3.5. Modelo de Mizari y Berk.

**Mizrahi & Berk (1972)** Menciona que, Se obtiene por modificación de la ecuación de Casson, este modelo está diseñado para ser utilizado en el estudio de la corriente de zumo de naranja concentrado y suspensiones de partículas que interactúan entre sí en una forma pseudoplástico.

Para describir el comportamiento reológico de zumo de naranja concentrado desarrolló la siguiente ecuación:

$$\tau^{1/2} - k_{om} = K_M(\dot{\gamma})^{nM}$$

Dónde:

$\tau^{1/2}$  → Esfuerzo de corte (pa)

$\dot{\gamma}$  → Tasa de deformación (s-1)

$k_M$  → Índice de consistencia (Pa<sup>1/2</sup>.sn)

$k_{OM} \rightarrow$  Raíz cuadrada de la tensión inicial de cizallamiento ( $\text{Pa}^{1/2}$ )

$nM \rightarrow$  Índice de comportamiento al flujo.

#### **1.4. IMPORTANCIA DE LA REOLOGÍA DE ALIMENTOS**

La reología de los alimentos es importante, porque es una ciencia que ha permitido que sea posible determinar mediante métodos instrumentales, una serie de parámetros objetivos directamente relacionados con las características sensoriales y subjetivas que definen la textura de un alimento, ya que la evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del hombre, de ahí que se haya establecido que sólo el ser humano es capaz de describir, cuantificar e integrar la totalidad de la textura, abarcando en su apreciación parámetros mecánicos, geométricos y de superficie, por lo que el método adecuado es el análisis sensorial, asimismo manifiesta que cada alimento, como sistema mecánico de complejidad elevada, ofrece un comportamiento reológico distinto al ser sometido a una fuerza o sistema de fuerzas, por lo tanto puede caracterizarse mediante dichos parámetros reológicos, (Costell et al., 1986).

Las propiedades físicas de las materias primas y los sustratos transformados tienen gran importancia, tanto por factores intrínsecos de calidad así como por la forma en que tales propiedades condicionan las manipulaciones y manufacturación o transformaciones que las materias primas experimentan hasta que llegan a ser productos listos para su consumo, Por lo tanto, el conocimiento de las propiedades reológicas y el entendimiento del comportamiento reológico de los alimentos son esenciales para el desarrollo de nuevos productos, para el control y optimización de las variables del proceso , para el diseño y evaluación de equipos tales como bombas, tuberías, intercambiadores de calor, evaporadores, esterilizadores y mezcladores , el control de alimentos , su evaluación sensorial y la aceptabilidad de un

producto por parte del consumidor, En los productos alimenticios, la reología proporciona directrices para la definición de un conjunto de parámetros, que puedan ser correlacionados con otros atributos de calidad (TOLEDO, 1999).

#### **1.4.1. Propiedades reológicas de los alimentos**

Según **Ramirez (2006)** las propiedades reológicas de los alimentos es necesario determinar porque, son básicas en la ingeniería de procesos para el diseño de plantas, en el cálculo de requerimientos de bombeo, para establecer las dimensiones de tuberías y válvulas, para realizar mezclas, se utilizan en el cálculo de operaciones básicas con transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento, para el control instrumental de calidad del material crudo previo al procesamiento, y de los productos finales después de la producción, sirven para evaluar la calidad preferida por el consumidor por medio de correlaciones entre las medidas reológicas y pruebas sensoriales.

**Barbosa et al. (1993)** menciona que los alimentos se presentan en diversas formas, como sólidos, líquidos y semilíquidos. Por ejemplo, los helados y las grasas son sólidos a una temperatura y líquidos a otra temperatura. Otros son suspensiones o emulsiones como la leche. Debido a esta variación en su estructura, el comportamiento del flujo de los alimentos fluidos presenta variedades de modelos que van desde el newtoniano hasta los no newtonianos dependientes del tiempo y los viscoelásticos.

**Según Rha (1978)** cuando se trabaja con átomos y moléculas mono o diatómicas no polares, pequeñas y esféricas, se puede aplicar la teoría molecular de la viscosidad en la cual indica que los parámetros que contribuyen a la viscosidad son: el volumen molecular, la masa molecular, la distancia entre moléculas, la

distribución radial de las moléculas y las fuerzas de atracción entre moléculas. Son parámetros básicos: el tamaño o volumen, la forma, la concentración y la interacción de las partícula, que afectan a las propiedades reológicas de cualquier sistema, que puede ser molecular, una suspensión, una dispersión y una pasta o un gel en la cual no son estos parámetros por si mismos los que controlan las propiedades de flujo sino las interacciones entre ellos.

**Barnes (2001)** afirma que el comportamiento reológico de un fluido alimentario puede expresarse en ecuaciones que relacionan el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación.

#### 1.4.2. Clasificación reológica de los fluidos alimentarios

Según **Ramirez (2006)** los fluidos provocan y circulan sometidos a esfuerzos, mencionan que de acuerdo a las leyes de la física los sólidos son representados por la ley de Hooke y los líquidos con la Ley de Newton, sin embargo la gran cantidad de alimentos al fluir presentan comportamientos comprendidos entre estos dos extremos, siendo estos denominados fluidos no newtonianos, acaeciendo que su comportamiento puede variar con la temperatura, concentración y presión; el cual se encontrara en función del esfuerzo cortante y la velocidad de corte.

**Steffe (1996)** dice fluido es como una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante sin importar cuan pequeño sea ese esfuerzo. De todas las propiedades de los fluidos la viscosidad requiere la mayor consideración en el estudio de flujo de fluidos. La viscosidad es aquella propiedad de un fluido por virtud de la cual ofrece resistencia al corte. El esfuerzo cortante es el componente de fuerza aplicada tangencial al plano sobre el cual actúa la fuerza se expresa en unidades de fuerza por unidad de área. Es un vector que posee magnitud y dirección.

Según Lewis (1993) expresa que la viscosidad es considerada como uno de los principales parámetros reológicos que mide la resistencia de un fluido cuando es sometido a una tasa de deformación aplicada. El comportamiento de un alimento durante el proceso puede variar porque la consistencia y la composición del material pueden ser alterados en diversas etapas del proceso: enfriamiento, calentamiento, fermentación, homogenización, cristalización, etc. Contribuyendo en la modificación de la viscosidad.

Ramirez (2006) menciona que los alimentos, desde los alimentos sólidos, semisólidos hasta los líquidos, los que al ser procesados cambian su comportamiento reológico en cada etapa, se clasifican en la reología según propiedades físicas tales como viscosidad, elasticidad o fluidez, los cuales pueden ser descritos con una amplia gama de modelos matemáticos, dada la complejidad y la amplitud del tema, los investigadores han hecho una primera clasificación entre los alimentos newtonianos y no newtonianos según su comportamiento reológico siga o no la ley de Newton de la viscosidad. Existen además alimentos en el que el comportamiento reológico depende del tiempo de esfuerzo de corte que ejerce sobre ellos.

### **1.5. PULPA DE FRUTA.**

Es un producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado, obtenido por la desintegración y tamizado de la fracción comestible de frutas frescas, sanas, maduras y limpias que se pasteuriza, empaca y almacena higiénicamente sin aditivos, ni preservantes (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

El puré fruta utilizado en la elaboración de zumos (jugos) y néctares de frutas, es un producto sin fermentar, pero fermentable, obtenido mediante procedimientos

idóneos, por ejemplo tamizando, triturando o desmenuzando la parte comestible de la fruta entera o pelada sin eliminar el zumo (jugo). La fruta deberá estar en buen estado, debidamente madura u fresca, o conservada por procedimientos físicos o por tratamientos aplicados de conformidad con las disposiciones pertinentes de la comisión del Codex alimentario (Codex, 2005).

En la industria conservera la pulpa se define como la fruta fresca pelada, deshuesa y triturada. En otros países la pulpa o puré de fruta se conoce como cremogenado; tienen en común las operaciones de molturación, conservación pero se diferencian en las operaciones de homogenización y tamizado (Madrid, 2001).

### **1.5.1. Proceso productivo de pulpa**

**Mancera (2010)** Para la determinación de las condiciones y etapas necesarias para la obtención de las pulpas se debe tener en cuenta las operaciones de adecuación, separación y conservación que se utilizan para la obtención de la pulpa de fruta.

En la adecuación se toma en cuenta las siguientes etapas: higiene y sanidad de la planta, recepción, pesado, selección, lavado, desinfección y enjuague.

Para el caso de la operación de separación las etapas estimadas son: Pelado, cortado, molido, pesado y homogeneizado

Por último para la operación de conservación se cuenta con las siguientes etapas: escaldado, pasteurizado (opcional en caso que el solo escaldado no sea suficiente para la calidad microbiológica), empaque y congelación. Para la etapa de escaldado se trabaja con dos tiempos: 3 minutos para las frutas y 5 minutos para otras hortalizas. Para la etapa de congelación se estableció una sola condición de temperatura, correspondiente a -20°C (Mancera, 2010).

### **1.5.2. Usos de las pulpas**

**Villa (2008)** Indica que, las pulpas de fruta con consistencia cremosa han alcanzado una gran importancia económica en la industria alimentaria actual, mostrando un gran futuro comercial ya que son la base para la elaboración de una amplia gama de productos finales como son: zumos de fruta, néctares de fruta, mermeladas, refrescos y alimentos infantiles.

El uso de pulpas como base para la elaboración de los productos mencionados anteriormente presenta una serie de ventajas bien definidas frente al método tradicional de utilizar la fruta como materia prima, ya que permite: reducir costos de almacenamiento, por reducción de volumen; reducir costos de transporte y ampliar el tiempo de conservación, ya que se reducen las posibles alteraciones por microorganismos.

**Tabla 4***Uso y aplicaciones de la pulpa según su proceso*


---

| <b>Tipo</b>                           | <b>Proceso</b>  |
|---------------------------------------|---|
| Zumo de fruta                         | Líquido sin fermentar pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, maduras frescas.  |
| Zumo concentrado de fruta             | Zumo obtenido de una o varias frutas, por eliminación física de una parte determinada del agua, si el producto está destinado al consumo directo se eliminará el 50%.   |
| zumo de fruta deshidratado o en polvo | Es un producto obtenido a partir de una o varias frutas por la eliminación total de agua.   |
| Néctar de frutas                      | Es un producto susceptible a fermentación, pero no fermentado, obtenido por la adición de agua y azucares y/o miel al zumo obtenido de una o varias frutas, la adición de azucare y/o miel no debe ser mayor al 20% del peso total del producto |
| Compota                               | Es un producto obtenido por la mezcla de zumo y edulcorante, agua alimento destinado a bebes y niños por la consistencia viscosa que posee  |

---

**Nota.** Tabla adaptada según el código alimentario de zumos.

Fuente: (Codex, 2005) .

## CAPITULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### **2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

- ✓ El presente trabajo de investigación se desarrolló en las siguientes instalaciones:
- ✓ Proceso de obtención de la pulpa de saúco se realizó en el Laboratorio de Investigación e Innovación de Productos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco que está ubicado en la localidad de Sicuani a una Latitud 1 ° 16'12 " S, longitud 71 ° 13'5 " W a 3554 m.s.n.m.
- ✓ El análisis de los parámetros reológicos cuantitativo de las muestras se realizó en el laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de La Universidad Nacional del Altiplano, ubicado en la región Puno (Latitud 15°50'36"S, longitud 70°01'25"O y una altitud 3827 m.s.n.m.).

#### **2.2. MATERIALES EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

##### **2.2.1. Materia prima**

- ✓ Sauco variedad (*Sambucus nigra, sp peruviana H.B.K.*). Proveniente del distrito de Calca.

##### **2.2.2. Insumos**

- ✓ Agua destilada.
- ✓ Hipoclorito de sodio concentrado al 4%.

### **2.2.3. Instrumentos de vidrio de laboratório.**

- ✓ Vaso precipitado: material de vidrio de 500 ml de capacidad marca pyrex
- ✓ Vaso precipitado: material de vidrio de 100ml y 50ml de capacidad marca pyrex.
- ✓ Vageta de Agitación de 150 mm de altura, peso de 10 g, material vidrio borosilicato y resistente a temperaturas entre -31°C y 450 °C.
- ✓ Probeta: de capacidad de 500 ml, material de vidrio borosilicatado marca Pyrex.
- ✓ Matraz Erlenmeyer: material de vidrio borosilicatado de 250 ml de capacidad marca Pyrex.

### **2.2.4. Materiales de trabajo**

- ✓ Mesa de trabajo de superficie de porcelanato.
- ✓ Cucharas de madera.
- ✓ Cuchillos de material acero inoxidable.
- ✓ Boles de material acero inoxidable de capacidade de 2.5litros
- ✓ Jarras litreras medidoras decapacida de 1litro de material de plastico.
- ✓ Caserola de material de acero inoxidable de capacidade de 2litros.
- ✓ Cocina elétrica de dos hornillas marca Imaco.
- ✓ Licuadora marca Oster BLSTBPST de potênciia de 700 Watts.

### **2.2.5. Instrumentos de laboratorio de uso específico.**

- ✓ Termómetro digital de Aguja de 0-120 °C marca Omron
- ✓ Potenciómetro de 0.0—14 pH a (-5°C—80°C) marca PCE-PH 22
- ✓ Refractómetro de 0—32°Brix (20°C) marca HR10

- ✓ Balanza analítica modelo PCE-LS 2000, capacidad de Min 5 g y Max 2000 g ± 0.01.
- ✓ Balanza digital marca SF-400 de capacidad de 1g a 5000g.

#### **2.2.6. Equipo de laboratorio**

- ✓ Viscosímetro Brookfield Engineering Ultra.
- ✓ Incubadora (baño maría) marca MEMMERT modelo WB7 T° max 95°C.

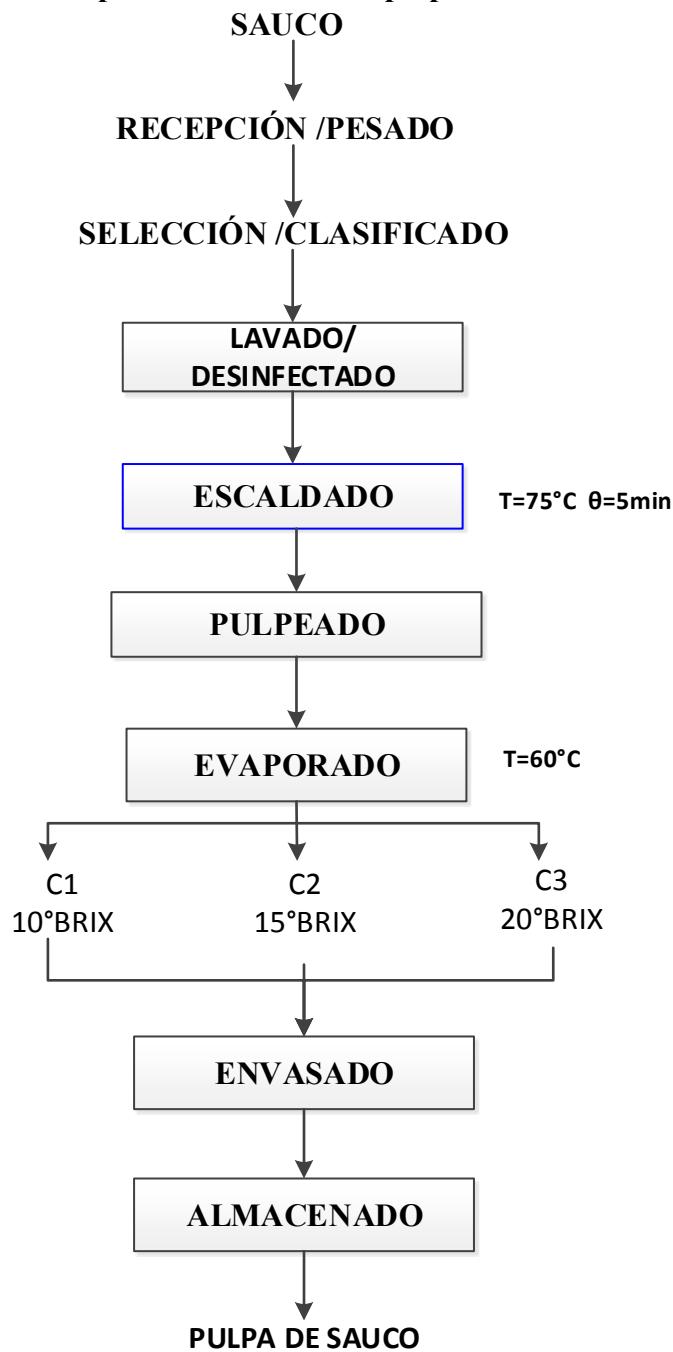
### **2.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.**

#### **2.3.1. Metodología para la obtención de la pulpa de sauco**

Para obtener las pulpas de sauco con las concentraciones deseadas de sólidos solubles de: C1 = 10°brix, C2 = 15°brix y C3= 20°brix, se realizó una deshidratación a una temperatura constante de 60°C hasta alcanzar las concentraciones deseadas.

**2.3.2. Descripción de la metodología mediante las operaciones para la obtención de la pulpa de saúco.**

**Figura 2**  
**Diseño experimental para la obtención de pulpa de saúco**



### 2.3.3. Descripción de las operaciones

Se realizaron las siguientes operaciones.

#### a) Recepción y pesado

Se recepcionó 3kg del fruto sauco que fue adquirido de la provincia de Calca distrito de Calca, luego se realizó un control de la materia prima y el control de peso.

#### b) Selección y clasificación

Se seleccionó las frutas sanas, eliminando las dañadas, malograda e inmaduras, la clasificación se llevó a cabo de acuerdo al estado de madurez y tamaño.

#### c) Lavado y desinfección

Se procedió al lavado con agua a chorro para retirar los restos de tierra u otras impurezas y luego se desinfectó con agua clorada al 0.1 ml/L (100ppm) por 5 minutos para disminuir la carga microbiana, luego se enjuagó con agua a chorro.

#### d) Escaldado

Se realizó aplicando agua caliente directo a la fruta del sauco a una temperatura de 75 °C por 5 minutos para que la textura se ablande y se acentué el color.

#### e) Pulpeado

Se realizó en una licuadora con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas, por un lapso promedio de un tiempo de 3 minutos, donde finalmente obtuvimos la pulpa de sauco.

**f) Evaporado:**

La pulpa obtenida fue separada en tres partes iguales y fueron puestas en cacerolas para llevarlos a una cocina eléctrica a fuego mínimo donde se evaporó el excedente de agua hasta alcanzar a las siguientes concentraciones de porcentajes de sólidos solubles de: 10°brix, 15°brix y 20°brix. Este proceso se realizó a una temperatura constante de 60°C con la finalidad de conservar sus propiedades.

**g) Envasado**

Las pulpas obtenidas se envasaron en recipientes polietileno de 500ml para luego ser almacenados.

**h) Almacenado**

Se almacenó la pulpa de saúco en una refrigeradora a 4 °C.

#### **2.3.4. Determinación de los parámetros reológicos de la pulpa concentrada de saúco**

Se determinó instrumentalmente, con el uso del viscosímetro el esfuerzo cortante, velocidad de corte y viscosidad aparente.

Se realizó un acondicionamiento térmico en una incubadora las tres muestras a tres temperaturas distintas: T1 = 50°C; T2 = 60°C; y T3 = 70°C. En seguida se procedió a medir los parámetros reológicos utilizando un viscosímetro rotacional de Brookfield Enginerring, donde se trabajó con variables internas en donde:

- 1) N (rpm) es la velocidad de rotación en revoluciones por minuto.
- 2) Lectura % de torque, estos valores se transforman en ( $\tau$ ) esfuerzo cortante y ( $\gamma$ ) velocidad de deformación.
- 3) Y finalmente se realizó la comprobación de los resultados mediante el modelo de Ostwald De Waele o Ley de la potencia.

### 2.3.5. Descripción de la evaluación del perfil reológico de la pulpa concentrada de sauco

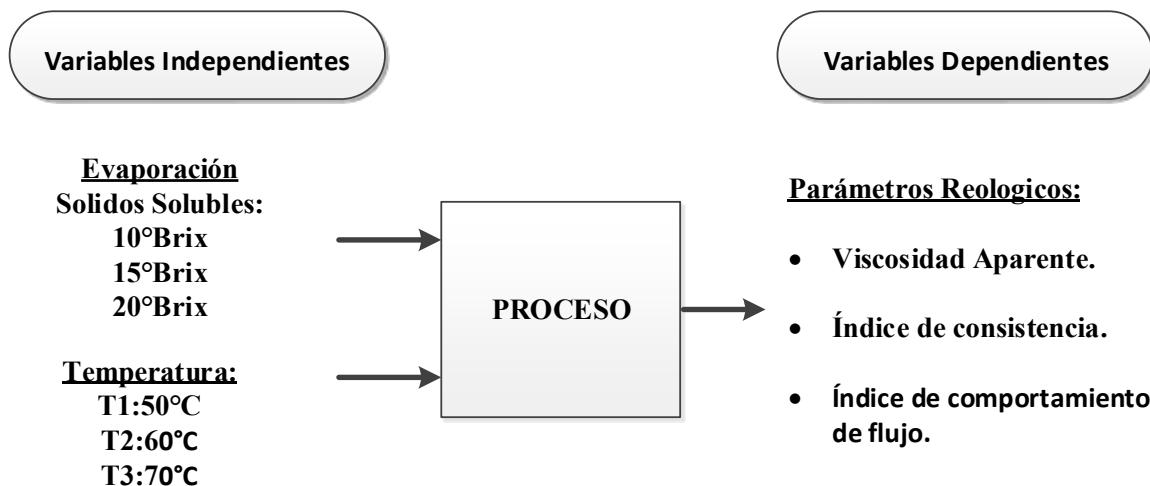
Para la evaluación del perfil reológico de la pulpa de sauco, las tres muestras se acondicionaron a tres temperaturas de  $T1= 50^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$  en seguida se procedió al encendido del viscosímetros, luego se sumergió el sensor del viscosímetros “spindle”, luego a diferentes velocidades por minutos se trabajó, después se registró los resultados de la lectura, por casi finalizar se retiró el sensor, finalmente se procedió al apagado del equipo.

## 2.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

### 2.4.1. Diagrama de variables del proceso para la medición instrumental reológica

**Figura 3**

*Variables en estudio:*



**Proceso:** Serie de procedimientos experimentales para obtener los parámetros reológicos desde la selección, escaldado, pulpeado y evaporado hasta obtener las concentraciones de 10°Brix, 15°Brix y 20°Brix; luego acondicionado a tres temperaturas para hacer una medición reológica; donde en todo este proceso hubo cambio físico y/o químico.

#### **2.4.2. Variables independientes**

Variables independientes o de estudio, pueden ser controladas, manejadas o modificadas por el experimentador, así tenemos.

- ***Evaporación***

El factor evaporación se toma como una variable independiente porque cuando varia la concentración va cambiar los parámetros reológicos.

La evaporación se realizó hasta alcanzar las siguientes concentraciones de porcentajes de sólidos solubles:

- ✓ C1= 10°BRIX.
- ✓ C2= 15°BRIX.
- ✓ C3= 20°BRIX.

- ***Temperatura.***

El factor temperatura también se toma como variable porque cuando varia la temperatura va variar los parámetros reológicos.

Las tres temperaturas de lectura en estudio se logró alcanzar en el acondicionamiento térmico que se realizó en la Incubadora (baño maría).

- ✓ T1= 40°C
- ✓ T2= 50°C
- ✓ T3= 60°C

#### **2.4.3. Variables dependientes**

Las variables dependientes son consideradas como respuesta de las variables independientes.

**A)** Variables dependientes evaluadas por el viscosímetro rotacional de Brookfield Enginerring:

- ✓ Viscosidad aparente
- ✓ Índice de consistencia (k).
- ✓ Índice de comportamiento de flujo (n) .

**B)** Variables dependientes calculados por el modelo matemático:

- Viscosidad aparente corregido
- Esfuerzo cortante
- Velocidad cortante

## 2.5. MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL

### 2.5.1. Matriz para la evaluación reológica

**Tabla 5**

*Matriz de Diseño Experimental para la evaluación reologica*

| EVAPORACION %<br>(Solidos solubles) | C1 (10ºBrix) |            |            | C2 (15ºBrix) |            |            | C3 (20ºBrix) |            |            |
|-------------------------------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|
|                                     | T1<br>50°C   | T2<br>60°C | T3<br>70°C | T1<br>50°C   | T2<br>60°C | T3<br>70°C | T1<br>50°C   | T2<br>60°C | T3<br>70°C |
| TRATAMIENTOS                        | M1           | M2         | M3         | M4           | M5         | M6         | M7           | M8         | M9         |
| I                                   | —            | —          | —          | —            | —          | —          | —            | —          | —          |
| II                                  | —            | —          | —          | —            | —          | —          | —            | —          | —          |
| III                                 | —            | —          | —          | —            | —          | —          | —            | —          | —          |

Nota. Matriz de diseño experimental es de  $3^2 = 9$

### 2.5.2. Para determinar los parámetros reológicos

Para la determinación de los parámetros utilice el modelo más adecuado de acuerdo con los requerimientos y resultado que obtuvimos en el laboratorio, en el cual utilizamos el modelo matemático de Ostwald De Waele o ley de la potencia.

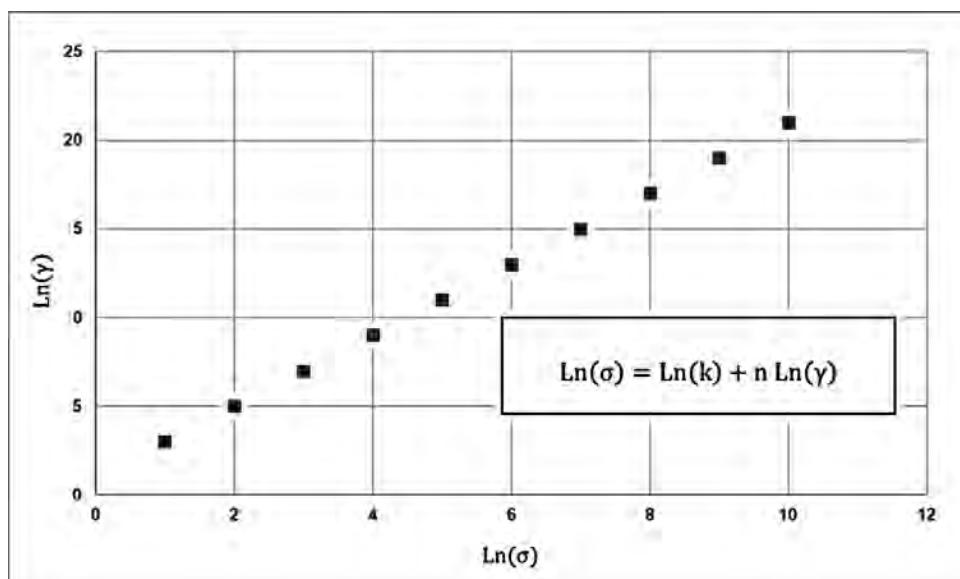
A continuación, se detalla la linealización de la ecuación para obtener los parámetros reológicos.

$$\text{Paso 1: } \tau = k\gamma^n$$

$$\text{Paso 2: } \log(\tau) = \log(k) + n \log(\gamma)$$

Donde  $n$ , será la pendiente de la ecuación y la intersección estará dada por ( $k$ ), para poder obtener el valor de  $k$ , se eliminó el logaritmo con la potencia exponencial.

**Figura 4**  
*Linealización de los datos reológicos de una ecuación*



### 2.5.3. Matriz experimental de parámetros reológicos

**Tabla 6**

*Matriz experimental de parámetros reológicos*

| Temperatura<br>°C | Parámetros | Concentración |              |              |
|-------------------|------------|---------------|--------------|--------------|
|                   |            | C1 (10°Brix)  | C2 (15°Brix) | C3 (20°Brix) |
| 50°C              | $\mu$      | —             | —            | —            |
|                   | $k$        | —             | —            | —            |
|                   | $n$        | —             | —            | —            |
| 60°C              | $\mu$      | —             | —            | —            |
|                   | $k$        | —             | —            | —            |
|                   | $n$        | —             | —            | —            |
| 70°C              | $\mu$      | —             | —            | —            |
|                   | $k$        | —             | —            | —            |
|                   | $n$        | —             | —            | —            |

**Donde:**

**$\mu$ : viscosidad aparente corregida**

**k: índice de consistencia**

**n: índice de comportamiento.**

## 2.6. Métodos para determinar el estudio de la temperatura y concentración de la pulpa de sauco.

**A) Efecto de la temperatura:** tiene una relación con la energía de activación al flujo que es una constante denominada viscosidad de deformación está representada por la ecuación de Arrhenius influenciada por la temperatura sobre la viscosidad y fluidos en líquidos (Khalil, Ramakrishna, Nanjundaswamy, & Patwardhan, 1989).

$$k = A \cdot e^{\frac{Ea}{RT}}$$

- ✓ Ea: Energía de activación
- ✓ K: Indice de consistencia.
- ✓ R: Constante de los gases,
- ✓ T: Temperatura en grados Kelvin
- ✓ A, e: Constantes

La ecuación linealizada se presentaría de la siguiente forma:

$$\ln k = \ln A + \frac{Ea}{RT}$$

## B) Efecto de la concentración

Modelos matemáticos para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad e índice de consistencia, según a los siguientes modelos (RAO., 1986):

### a) Potencial

$$k = K_1 \cdot (C)^{A^1}$$

**b) Exponencial:**

$$k=K_2 \exp. (A_2 C)$$

En estas ecuaciones  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $A_1$  y  $A_2$  son constantes y  $C$  es el contenido en sólidos solubles en °Brix.

## 2.7. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para el análisis de datos experimentales se empleó un diseño MULTIFACTORIAL CATEGORICO DE 2X3, se realizó las pruebas significativas de análisis de varianza ANVA y la prueba de múltiple rango tukey 5%.

**Tabla 7**

**Diseño experimental multifactorial (2x3)**

| Temperatura<br>(°C) | Concentración<br>(°Brix) | Índice de<br>comportamiento | Índice de<br>consistencia | Viscosidad<br>aparente<br>corregido |
|---------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 50°C                | 10                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
|                     | 15                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
|                     | 20                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
| 60°C                | 10                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
|                     | 15                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
|                     | 20                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
| 70°C                | 10                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
|                     | 15                       | ---                         | ---                       | ---                                 |
|                     | 20                       | ---                         | ---                       | ---                                 |

**Tabla 8**

**Esquema del ANOVA Multifactorial para determinar el estudio de la temperatura y concentración sobre los parámetros reológicos**

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i>                     |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|------------------------------------|
| EFECTOS PRINCIPALES  |                          |           |                       |                |                                    |
| A:Temperatura        | ---                      | ---       | ---                   | ---            | Valor <0.05 para rechazar la $H_0$ |
| B:Concentracion      | ---                      | ---       | ---                   | ---            | Valor >0.05 para aceptar la $H_0$  |
| RESIDUOS             | ---                      | ---       | ---                   |                |                                    |
| TOTAL<br>(CORREGIDO) |                          |           |                       |                |                                    |

#### **Hipótesis nula para no diferencia entre la temperatura y concentración**

$H_0$ = No existe diferencia de los parámetros reológico cuando se somete a diferentes temperaturas y concentraciones, se acepta hipótesis nula.

#### **Hipótesis alterna para diferencia entre la temperatura y concentración**

$H_a$ = Existe diferencia de los parámetros reológico cuando se somete a diferentes temperaturas y concentraciones. Se rechaza la hipótesis nula y acepta hipótesis alterna.

## **2.8. METODOS DE EVALUACION FISICA.**

### **2.8.1. Determinación de sólidos solubles**

La concentración de sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) se determinó por el método del refractómetro, según el manual de análisis de alimentos de la A.O.A.C (2005). Se realizó el siguiente procedimiento:

Se vertió una mínima cantidad muestra para cubrir la superficie del prisma del refractómetro, seguido se tomó lectura; finalmente se enjuago con agua destilada para limpiar el prima.

### **2.8.2. Determinación del pH.**

El pH se determinó por el método de potenciómetro A.O.A.C (2005), se realizó el siguiente procedimiento:

Se vertió la muestra una cantidad de 50 ml en un vaso precipitado, se puso el electrodo del potenciómetro a la muestra de esa forma se midió y finalmente se lavó con agua destilada el sensor.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 Comportamiento reológico de la pulpa de sauco.

##### 3.1.1 Reogramas de la pulpa de sauco

En las Tablas 9, 10 y 11 se presenta los datos del comportamiento reológico de la pulpa de sauco diferentes concentraciones ( $10^{\circ}\text{Brix}$ ,  $15^{\circ}\text{Brix}$  y  $20^{\circ}\text{Brix}$ ) y temperaturas ( $50^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ ).

#### 3.2 Interpretación de las tablas

En las siguientes figuras se realizó una representación gráfica experimental del esfuerzo cortante (Pa) en función de la velocidad de corte ( $\text{S}^{-1}$ ) las cuales fueron obtenidos de las medidas reológicas de la pulpa de sauco para cada una de las concentración ( $10^{\circ}\text{Brix}$ ,  $15^{\circ}\text{Brix}$  y  $20^{\circ}\text{Brix}$ ), temperaturas ( $50^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ ), los cuales se indica en las Figuras 7, 8, y 9 observándose que los reogramas o curvas de fluidez trazados no tienen un comportamiento newtoniano; estos reogramas o curvas de fluidez tienen una mínima concavidad, lo cual nos indica que presenta un comportamiento no newtoniano asemejándose a un fluido pseudoplástico, del cual podemos observar que el esfuerzo cortante varía en función la velocidad de corte, y al incrementar la velocidad de corte da como resultado a un incremento del esfuerzo cortante y a la vez una disminución de la viscosidad aparente.

También se aprecia cuando incrementó la temperatura para una concentración a una misma velocidad de rotación (RPM), disminuyó el esfuerzo cortante; de la misma forma se observa realizando una comparación que para una misma temperatura y velocidad de rotación (RPM), el esfuerzo cortante disminuyo al incrementar la concentración.

**Tabla 9****MUESTRA 01 (10°Brix)**

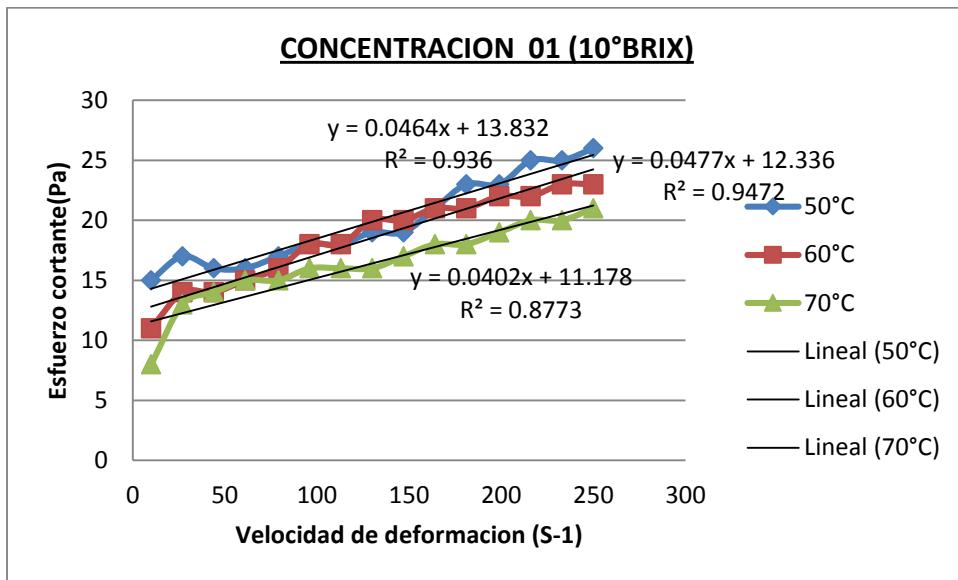
| <b>Temperatura</b> | <b>Velocidad de rotación (RPM)</b> | <b>Velocidad Deformación (1/Seg)</b> | <b>Esfuerzo Cortante (Pa)</b> | <b>Viscosidad (CPa.s)</b> |
|--------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| °C                 | (RPM)                              | (1/Seg)                              | (Pa)                          | (CPa.s)                   |
| <b>50°C</b>        | 8                                  | 10                                   | 15                            | 135                       |
|                    | 22                                 | 27                                   | 17                            | 57                        |
|                    | 36                                 | 44                                   | 16                            | 36                        |
|                    | 50                                 | 61                                   | 16                            | 30                        |
|                    | 64                                 | 79                                   | 17                            | 22                        |
|                    | 78                                 | 96                                   | 18                            | 21                        |
|                    | 92                                 | 113                                  | 18                            | 18                        |
|                    | 106                                | 130                                  | 19                            | 15                        |
|                    | 120                                | 147                                  | 19                            | 15                        |
|                    | 134                                | 164                                  | 21                            | 13                        |
|                    | 148                                | 181                                  | 23                            | 11                        |
| <b>60°C</b>        | 8                                  | 10                                   | 21                            | 198                       |
|                    | 22                                 | 27                                   | 21                            | 82                        |
|                    | 36                                 | 44                                   | 23                            | 52                        |
|                    | 50                                 | 61                                   | 24                            | 39                        |
|                    | 64                                 | 79                                   | 25                            | 29                        |
|                    | 78                                 | 96                                   | 25                            | 26                        |
|                    | 92                                 | 113                                  | 26                            | 24                        |
|                    | 106                                | 130                                  | 26                            | 21                        |
|                    | 120                                | 147                                  | 27                            | 19                        |
|                    | 134                                | 164                                  | 28                            | 17                        |
|                    | 148                                | 181                                  | 28                            | 16                        |
| <b>70°C</b>        | 8                                  | 10                                   | 29                            | 272                       |
|                    | 22                                 | 27                                   | 29                            | 102                       |
|                    | 36                                 | 44                                   | 30                            | 65                        |
|                    | 50                                 | 61                                   | 31                            | 52                        |
|                    | 64                                 | 79                                   | 31                            | 41                        |
|                    | 78                                 | 96                                   | 31                            | 35                        |
|                    | 92                                 | 113                                  | 33                            | 29                        |
|                    | 106                                | 130                                  | 33                            | 27                        |
|                    | 120                                | 147                                  | 34                            | 24                        |
|                    | 134                                | 164                                  | 34                            | 20                        |
|                    | 148                                | 181                                  | 35                            | 19                        |

**Tabla 10****MUESTRA 02 (15°Brix)**

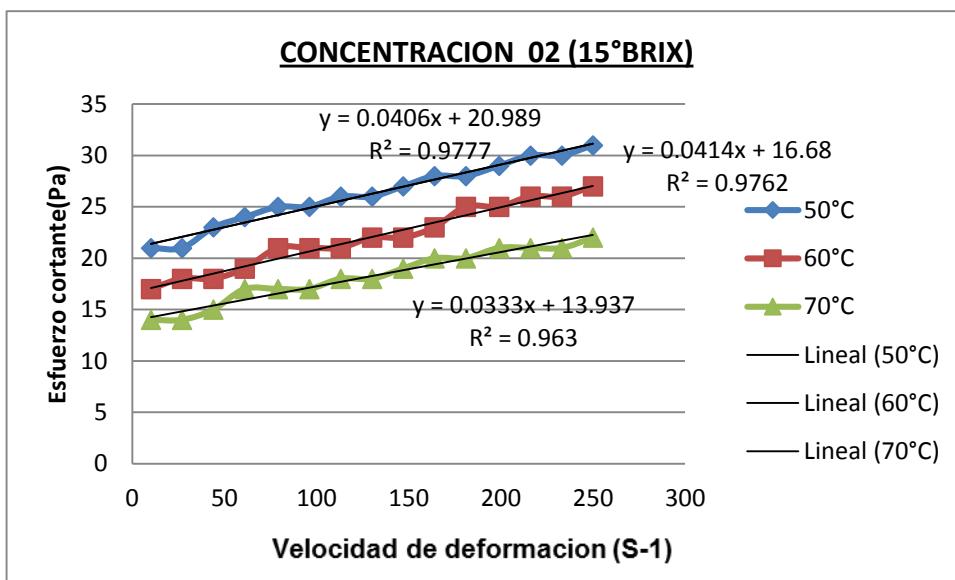
| Temperatura<br>°C | Velocidad de<br>rotación<br>(RPM) | Velocidad<br>Deformación<br>(1/Seg) | Esfuerzo<br>Cortante<br>(Pa) | Viscosidad<br>(CPas) |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------|
| 50°C              | 8                                 | 10                                  | 11                           | 107                  |
|                   | 22                                | 27                                  | 14                           | 52                   |
|                   | 36                                | 44                                  | 14                           | 34                   |
|                   | 50                                | 61                                  | 15                           | 27                   |
|                   | 64                                | 79                                  | 16                           | 22                   |
|                   | 78                                | 96                                  | 18                           | 19                   |
|                   | 92                                | 113                                 | 18                           | 16                   |
|                   | 106                               | 130                                 | 20                           | 15                   |
|                   | 120                               | 147                                 | 20                           | 14                   |
|                   | 134                               | 164                                 | 21                           | 13                   |
| 60°C              | 148                               | 181                                 | 21                           | 11                   |
|                   | 8                                 | 10                                  | 17                           | 159                  |
|                   | 22                                | 27                                  | 18                           | 67                   |
|                   | 36                                | 44                                  | 18                           | 42                   |
|                   | 50                                | 61                                  | 19                           | 33                   |
|                   | 64                                | 79                                  | 21                           | 25                   |
|                   | 78                                | 96                                  | 21                           | 21                   |
|                   | 92                                | 113                                 | 21                           | 19                   |
|                   | 106                               | 130                                 | 22                           | 17                   |
|                   | 120                               | 147                                 | 22                           | 15                   |
| 70°C              | 134                               | 164                                 | 23                           | 14                   |
|                   | 148                               | 181                                 | 25                           | 13                   |
|                   | 8                                 | 10                                  | 26                           | 252                  |
|                   | 22                                | 27                                  | 27                           | 102                  |
|                   | 36                                | 44                                  | 27                           | 59                   |
|                   | 50                                | 61                                  | 27                           | 43                   |
|                   | 64                                | 79                                  | 29                           | 37                   |
|                   | 78                                | 96                                  | 30                           | 30                   |
|                   | 92                                | 113                                 | 30                           | 25                   |
|                   | 106                               | 130                                 | 31                           | 22                   |
|                   | 120                               | 147                                 | 31                           | 20                   |
|                   | 134                               | 164                                 | 32                           | 19                   |
|                   | 148                               | 181                                 | 32                           | 17                   |

**Tabla 11****MUESTRA 03 (20°Brix)**

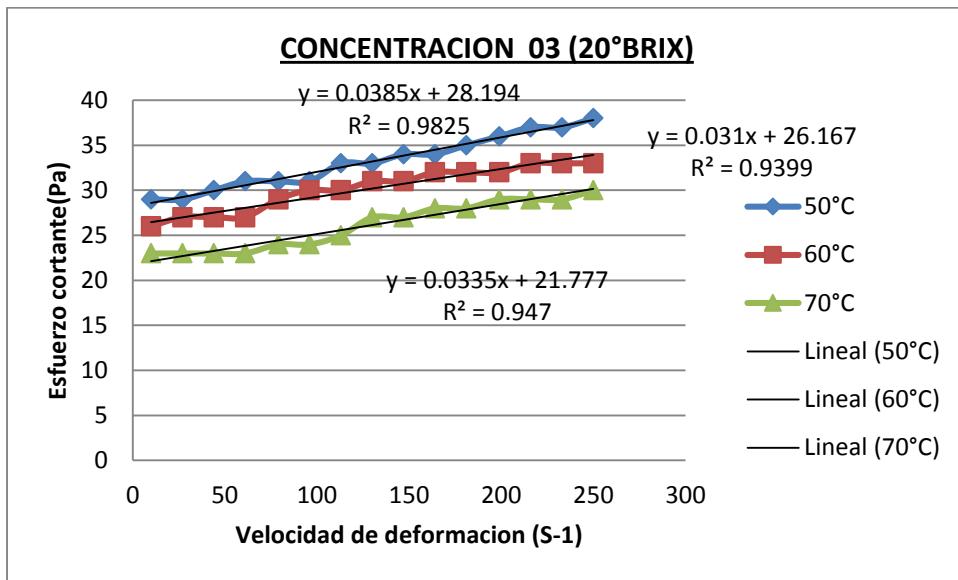
| <b>Temperatura</b> | <b>Velocidad de rotación</b> | <b>Velocidad Deformación</b> | <b>Esfuerzo Cortante</b> | <b>Viscosidad</b> |
|--------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------|
| <b>°C</b>          | <b>(RPM)</b>                 | <b>(1/Seg)</b>               | <b>(Pa)</b>              | <b>(CPa.s)</b>    |
| <b>50°C</b>        | 8                            | 10                           | 8                        | 94                |
|                    | 22                           | 27                           | 13                       | 44                |
|                    | 36                           | 44                           | 14                       | 28                |
|                    | 50                           | 61                           | 15                       | 25                |
|                    | 64                           | 79                           | 15                       | 18                |
|                    | 78                           | 96                           | 16                       | 17                |
|                    | 92                           | 113                          | 16                       | 14                |
|                    | 106                          | 130                          | 16                       | 14                |
|                    | 120                          | 147                          | 17                       | 12                |
|                    | 134                          | 164                          | 18                       | 10                |
|                    | 148                          | 181                          | 18                       | 12                |
| <b>60°C</b>        | 8                            | 10                           | 14                       | 126               |
|                    | 22                           | 27                           | 14                       | 57                |
|                    | 36                           | 44                           | 15                       | 35                |
|                    | 50                           | 61                           | 17                       | 27                |
|                    | 64                           | 79                           | 17                       | 21                |
|                    | 78                           | 96                           | 17                       | 19                |
|                    | 92                           | 113                          | 18                       | 16                |
|                    | 106                          | 130                          | 18                       | 14                |
|                    | 120                          | 147                          | 19                       | 13                |
|                    | 134                          | 164                          | 20                       | 12                |
|                    | 148                          | 181                          | 20                       | 11                |
| <b>70°C</b>        | 8                            | 10                           | 23                       | 213               |
|                    | 22                           | 27                           | 23                       | 87                |
|                    | 36                           | 44                           | 23                       | 51                |
|                    | 50                           | 61                           | 23                       | 37                |
|                    | 64                           | 79                           | 24                       | 32                |
|                    | 78                           | 96                           | 24                       | 26                |
|                    | 92                           | 113                          | 25                       | 22                |
|                    | 106                          | 130                          | 27                       | 19                |
|                    | 120                          | 147                          | 27                       | 18                |
|                    | 134                          | 164                          | 28                       | 17                |
|                    | 148                          | 181                          | 28                       | 15                |

**Figura 5***Comportamiento reologico 10°brix*

Comportamiento reologico de la pulpa de sauco a 10°brix en las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

**Figura 6***Comportamiento reologico 15°brix*

Comportamiento reologico de la pulpa de sauco a 15°Brix en las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

**Figura 7****Comportamiento reológico 20°brix**

Comportamiento reológico de la pulpa de saúco a 20°Brix en las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

En todas las gráficas reológicas que se observó para cada concentración de sólidos solubles a tres temperaturas diferentes de acondicionamiento observó que el esfuerzo cortante se incrementa a medida que se aumenta la velocidad de corte.

Se pudo observar para una sola concentración y temperatura cuando incrementa la velocidad de torque y la velocidad de deformación, tienden a aumentar el esfuerzo cortante por ejemplo para una concentración de 10°Brix a una velocidad de torque de 8 RPM y 10 S<sup>-1</sup> de velocidad de deformación, el esfuerzo cortante es 15Pa, mientras para la misma concentración y temperatura a una velocidad de torque de 36 RPM y 44 S<sup>-1</sup> de velocidad de deformación, el esfuerzo cortante es 16Pa.

También se observó cuando se incrementa la temperatura para una sola concentración, velocidad de torque y velocidad de deformación, el esfuerzo cortante tiende a descender. Por ejemplo para una temperatura de 50°C una concentración de 15°Brix a una velocidad de torque de 22 RPM y 27 S<sup>-1</sup> de velocidad de deformación, el esfuerzo cortante es 21 Pa,

mientras bajo las mismas condiciones para una temperatura de 60°C, el esfuerzo cortante es 18 Pa.

Finalmente se observó cuando se incrementa la concentración para una sola temperatura, velocidad de torque y velocidad de deformación, el esfuerzo cortante tiende a incrementarse. Por ejemplo para una concentración 15°Brix y una temperatura de 50°C a una velocidad de torque de 22 RPM y 27 S<sup>-1</sup> de velocidad de deformación, el esfuerzo cortante es 21 Pa, mientras bajo las mismas condiciones para una concentración 20°Brix, el esfuerzo cortante es 29 Pa.

### **3.3 Parámetros reológico (índice de consistencia e índice de comportamiento de fluido) de la pulpa de sauco.**

Para hallar los parámetros reológico (índice de consistencia e índice de comportamiento de fluido) de la pulpa de sauco, se realizó el ajuste al modelo Ostwald De Waele o ley de la potencia, en donde se realizó grafica experimentales del esfuerzo cortante y velocidad de corte a diferentes concentraciones y temperaturas.

En las siguientes figuras 10, 11 y 12 se realizó graficas de logaritmo del esfuerzo cortante (Log(T)) vs es el logaritmo de la velocidad de corte (Log(Y)) a diferentes concentraciones (10 °Brix, 15°Brix y 20°Brix) y temperaturas (50°C, 60°C y 70°C), de las cuales sus respectivas ecuaciones nos permitieron determinar los valores de índice de consistencia (k) e índice de comportamiento al flujo (n).

$\tau = k\gamma^n$  .....Ecuación del modelo Ostwald De Waele o ley de la potencia.

$\text{Log}(\tau) = \text{Log}(k) + n\text{Log}(\gamma)$  .....Ecuación linealizada.

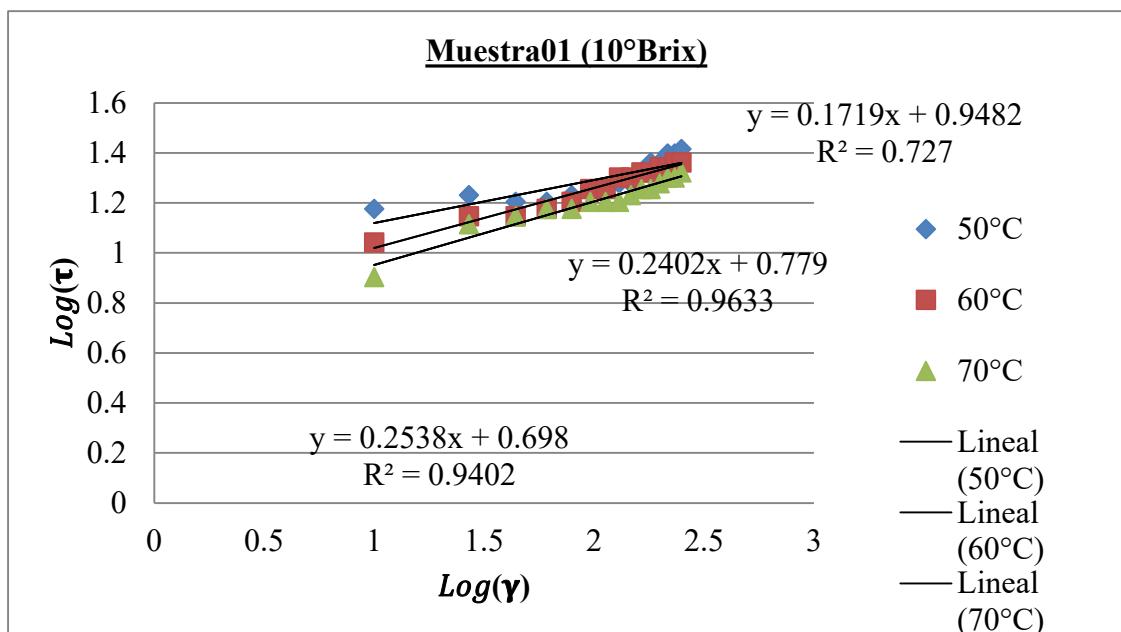
**Figura 8***Parametros reologicos para 10ºbrix*

Figura 10 Grafica de los parámetros reológicos de la pulpa de sauco a 10ºBrix a las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

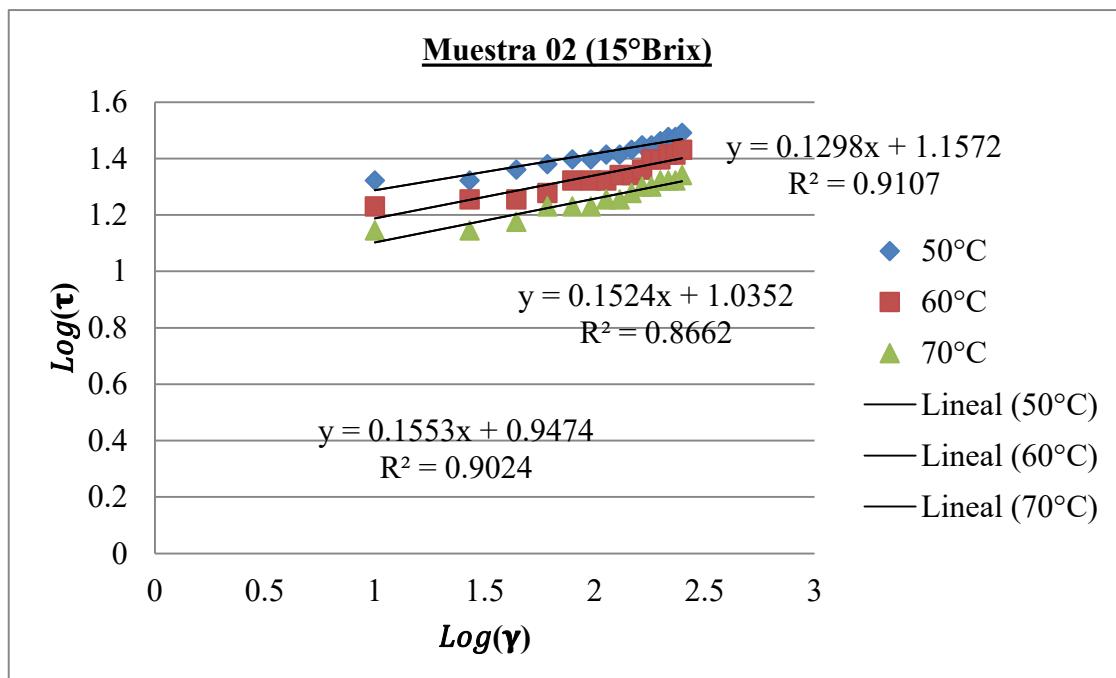
**Figura 9***Parámetros reológicos para 15ºbrix*

Figura 11 Grafica de los parámetros reológicos de la pulpa de sauco a 15ºBrix a las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

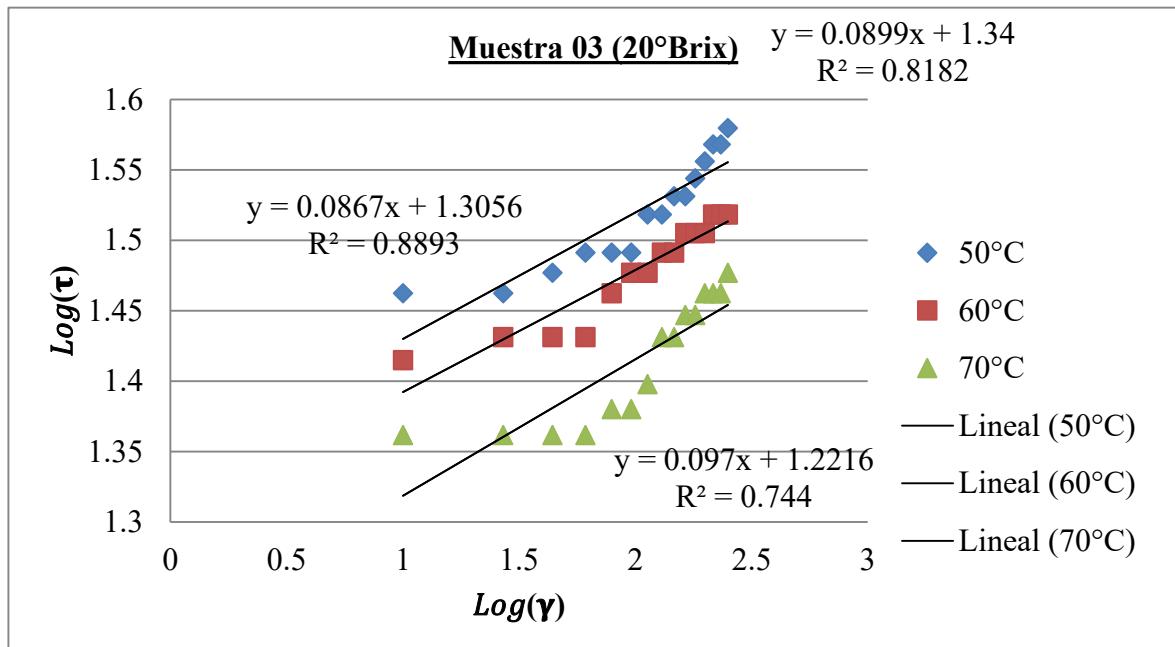
**Figura 10***Parametros reologicos para 20°brix*

Figura 12 Grafica de los parámetros reológicos de la pulpa de sauco a 20°Brix a las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

En la siguiente tabla 12 se muestra en resumen los valores de las constantes de Índice de comportamiento (n) Índice de consistencia (k) de la graficas anteriores ley de la potencia o modelo de Ostwald De Waele.

**Tabla 12***Valores de Índice de comportamiento Índice de consistencia*

| Concentración<br>(°Brix) | Temperatura<br>(°C) | Indice de<br>comportamiento<br>(k) | Indice de<br>consistencia (n) | R2    | r     |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|
| 10°Brix                  | 50                  | 0.1719                             | 8.876                         | 0.727 | 0.853 |
|                          | 60                  | 0.2402                             | 6.012                         | 0.963 | 0.981 |
|                          | 70                  | 0.2538                             | 4.989                         | 0.940 | 0.970 |
| 15°Brix                  | 50                  | 0.1298                             | 14.362                        | 0.911 | 0.954 |
|                          | 60                  | 0.1524                             | 10.844                        | 0.866 | 0.931 |
|                          | 70                  | 0.1553                             | 8.859                         | 0.902 | 0.950 |
| 20°Brix                  | 50                  | 0.0899                             | 21.878                        | 0.818 | 0.905 |
|                          | 60                  | 0.0867                             | 20.212                        | 0.889 | 0.943 |
|                          | 70                  | 0.097                              | 16.657                        | 0.744 | 0.863 |

Tabla 12 Valores de las constantes de Índice de comportamiento (n) Índice de consistencia (k) a diferentes concentraciones y temperaturas.

De la tabla 12 se observa cuando a un incremento de la temperatura ocurre una disminución del índice de consistencia en cada muestra. Para una concentración de 15°Brix y una temperatura de 50°C, el índice de consistencia es 14,362 Pa.s<sup>n</sup> y a para 70°C el índice de consistencia disminuyó a 8,859 Pa.s<sup>n</sup>. Para el índice de comportamiento de flujo ocurre un mínimo incremento.

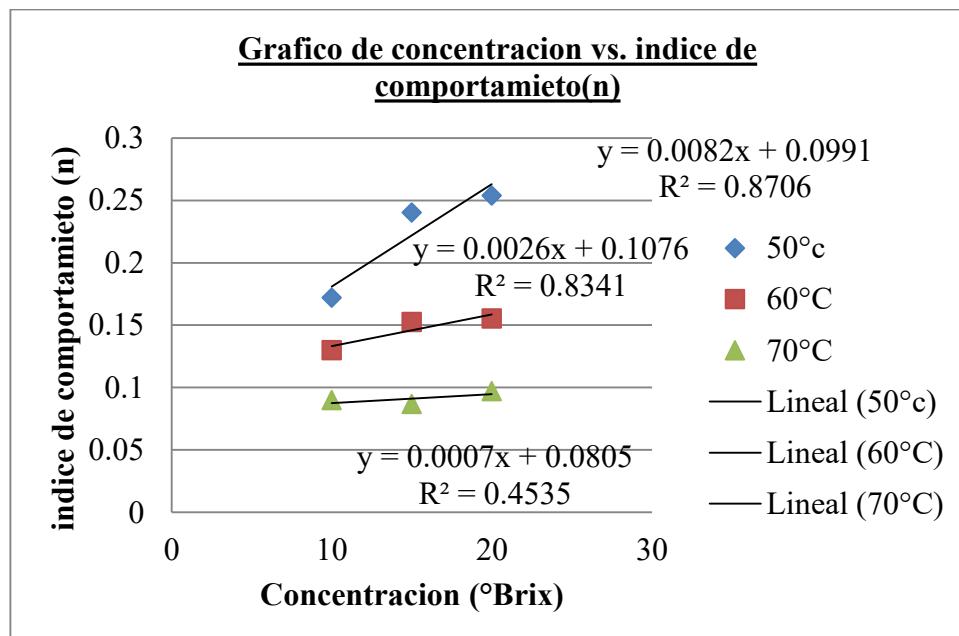
### 3.4 Graficas del comportamiento del estudio de la concentración y temperatura sobre los parámetros reológicos de la pulpa de sauco.

#### 3.4.1 Comportamiento del estudio de la concentración sobre el índice de comportamiento de flujo (n) de la pulpa de sauco.

En el siguiente grafico se observa la variación del índice de comportamiento (n) de la pulpa de sauco a diferentes temperaturas y concentraciones.

**Figura 11**

*Efecto de la concentración sobre el índice de comportamiento*



Se puede observar del gráfico, una ligera variación decimal del índice de comportamiento al flujo a medida que se varía la concentración a una determinada temperatura, pero que se mantiene dentro de la cifra decimal. Lo cual nos indica que es fluido pseudoplástico como menciona (Bedoya & Cardona, 2009).

### 3.4.2 Comportamiento del estudio de la concentración sobre el índice de consistencia

#### (k) de la pulpa de sauco

Para poder evaluar el estudio de la concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa de sauco se utilizó modelos matemáticos propuestos por (RAO M. , 1986), como son:

$$\text{Modelo potencial: } k = K_1 \cdot (C)^{A_1}$$

$$\text{Modelo exponencial: } k = K_2 \exp.(A_2 C)$$

Dónde:

$K_1$ ,  $K_2$ ,  $A_1$  y  $A_2$  : son constantes,

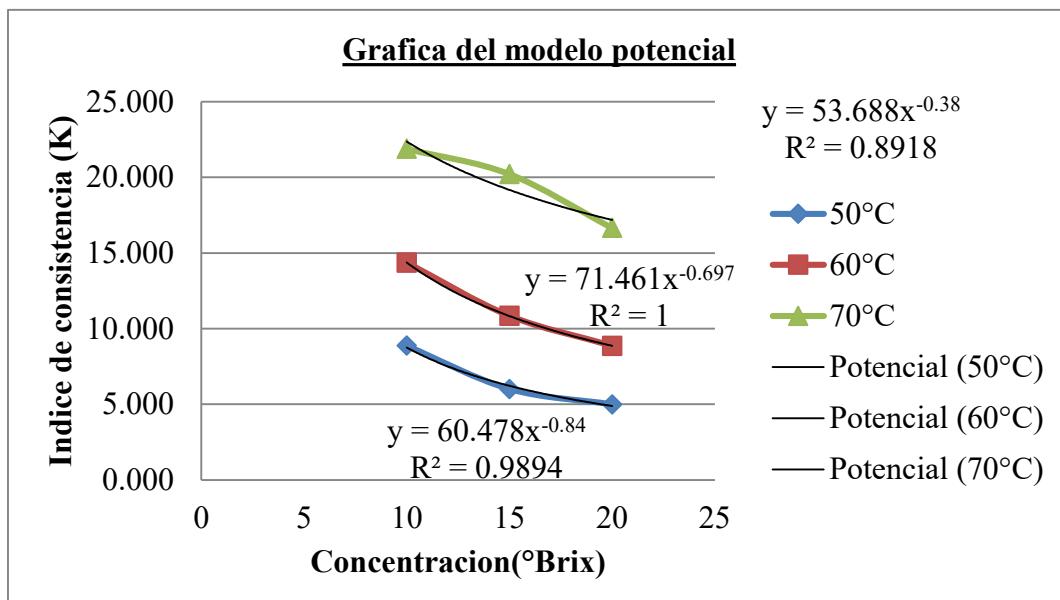
$C$  : es la concentración en sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ )

$K$  : es el índice de consistencia.

- A)** Grafica del efecto de la concentración sobre el índice de consistencia para la pulpa de sauco, modelo potencial.

**Figura 12**

**figura del modelo potencial**



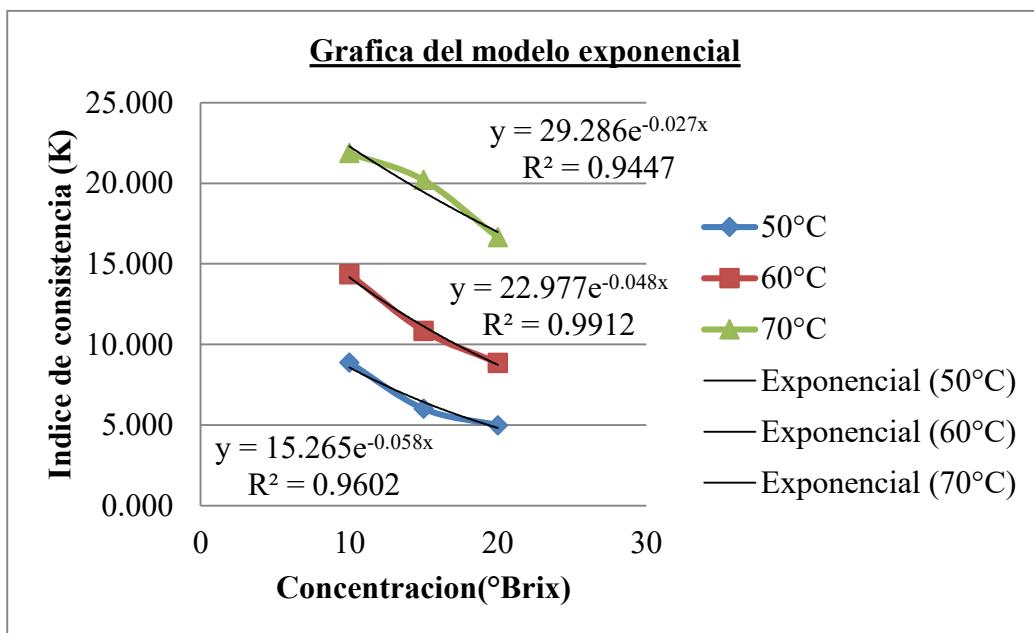
**Tabla 13***Coeficientes del modelo potencial*

| Temperatura<br>(°C) | Concentración<br>(°Brix) | Índice de<br>consistencia<br>(K) | Parámetros del modelo potencial |                |                |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|
|                     |                          |                                  | K <sub>1</sub>                  | A <sub>1</sub> | R <sup>2</sup> |
| 50°C                | 10                       | 8.87564657                       | 60.478                          | -0.84          | 0.9894         |
|                     | 15                       | 6.01173737                       |                                 |                |                |
|                     | 20                       | 4.98884487                       |                                 |                |                |
| 60°C                | 10                       | 14.3615065                       | 71.461                          | -0.697         | 1              |
|                     | 15                       | 10.844262                        |                                 |                |                |
|                     | 20                       | 8.85931207                       |                                 |                |                |
| 70°C                | 10                       | 21.8776162                       | 53.688                          | -0.38          | 0.8918         |
|                     | 15                       | 20.2115677                       |                                 |                |                |
|                     | 20                       | 16.6571233                       |                                 |                |                |

La Tabla 13 Corresponde al modelo potencial se muestran los valores que el coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, para cada temperatura, los valores se encuentran entre 0.89 y 1 lo cual indica que existe una relación entre la concentración y el índice de consistencia, todos fueron obtenidos a partir de los diferentes ajustes de temperaturas.

**B)** Grafica del estudio de la concentración sobre el índice de consistencia para la pulpa de sauco, modelo exponencial.

**Figura 13**  
*Grafica del Modelo exponencial*



**Tabla 14**  
*Coeficientes del modelo exponencial*

| Temperatura<br>(°C) | Concentración<br>(°Brix) | Indice de<br>consistencia<br>(K) | Parámetros del modelo<br>exponencial |        |        |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|
|                     |                          |                                  | $k_2$                                | $A_2$  | $R^2$  |
| 50°C                | 10                       | 8.87564657                       |                                      |        |        |
|                     | 15                       | 6.01173737                       | 15.265                               | -0.058 | 0.9602 |
|                     | 20                       | 4.98884487                       |                                      |        |        |
| 60°C                | 10                       | 14.3615065                       |                                      |        |        |
|                     | 15                       | 10.844262                        | 22.977                               | -0.048 | 0.9912 |
|                     | 20                       | 8.85931207                       |                                      |        |        |
| 70°C                | 10                       | 21.8776162                       |                                      |        |        |
|                     | 15                       | 20.2115677                       | 29.286                               | -0.027 | 0.9447 |
|                     | 20                       | 16.6571233                       |                                      |        |        |

Tabla 14 Estudio de la concentración sobre el índice de consistencia de la pulpa de sauco – Modelo exponencial.

De la Tabla 14 corresponde al modelo exponencial se muestran los valores del coeficiente de determinación  $R^2$ , para cada temperatura, los valores se encuentran entre 0.94 y 0.99 lo cual indica que existe una relación entre la concentración y el índice de consistencia, todos fueron obtenidos a partir de los diferentes ajustes de temperaturas.

### 3.4.3 Comportamiento del efecto de la temperatura sobre el índice de consistencia (k) en la pulpa de sauco.

El estudio que ejerce la temperatura sobre el índice de consistencia en la pulpa de sauco se realizó con la ecuación tipo Arrhenius (Acosta, 2008).

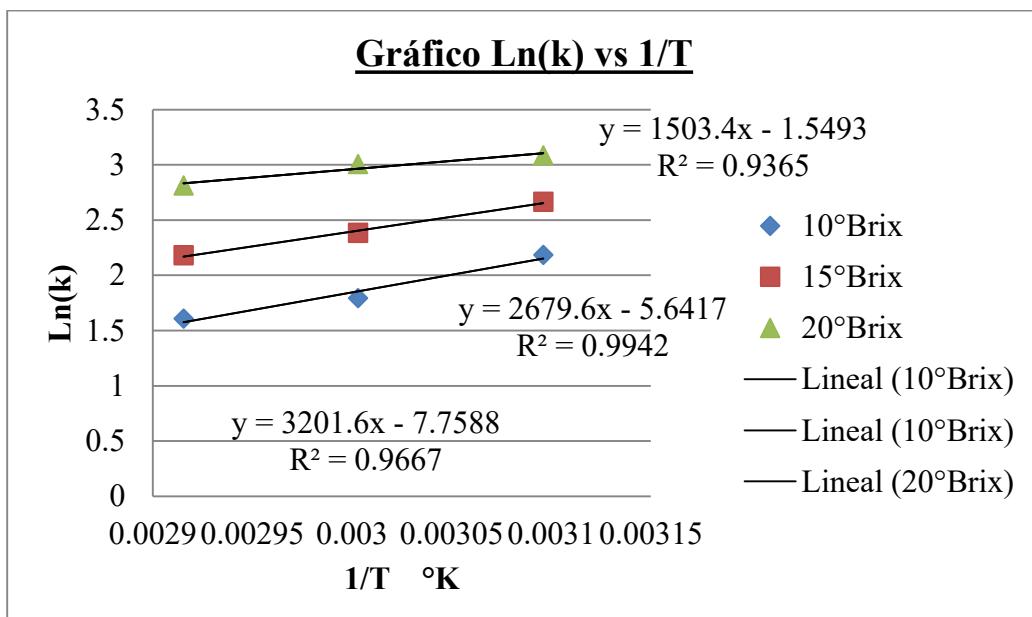
$$k = A \cdot e^{\frac{Ea}{RT}}$$

La ecuación linealizada se presentaría de la siguiente forma:

$$\ln k = \ln A + \frac{Ea}{RT}$$

**Figura 14**

*Influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia.*



**Tabla 15****Datos extraídos del efecto del efecto de temperatura**

| Concentración<br>°Brix | Energía de Activación<br>Ea(KJ/mol) | R <sup>2</sup> |
|------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 10°Brix                | 26.62                               | 0.97           |
| 15°Brix                | 22.28                               | 0.99           |
| 20°Brix                | 12.50                               | 0.94           |

Tabla 15 Datos extraídos del efecto del efecto de temperatura sobre el índice de consistencia de la pulpa de sauco.

De los resultados obtenidos el coeficiente de determinación, R<sup>2</sup> obtenidos están comprendidos desde 0.94 hasta 0.99 lo que indica una asociación directa entre la temperatura y el índice de consistencia.

Según la ecuación de Arrhenius, al correlacionar el inverso de la temperatura absoluta con el logaritmo del índice de consistencia (k) cumple la linealidad provista por el modelo.

Los valores encontrados para la energía de activación siguen una tendencia decreciente cuando incrementa la concentración de 10°Brix a 20°Brix y 26.62KJ/mol a 12.50KJ/mol. Así (Karazhiyan, y otros, 2009) menciona que generalmente cuanto mayor es la energía de activación, mayor será el efecto de la temperatura sobre la viscosidad.

Para la concentración de 10°brix tiene una mayor Ea de 26.62KJ/mol, la temperatura ará un mayor efecto sobre la viscosidad disminuyendo cada vez que aumente la temperatura.

Según (Wagner, Barbat, Engmann, & Burbidge, 2017) presenta una similitud del estudio Efecto de la temperatura y sólidos solubles sobre las propiedades reológicas

de la pulpa de guanábana donde la energía de activación disminuyó con el incremento de sólidos solubles, desde 4,928 kcal/mol para 15 °Brix hasta 3,110 kcal/mol para 30 °Brix.

### 3.4.4 Viscosidad aparente corregida

En los siguientes resultados experimentales de la viscosidad aparente han sido corregidos mediante el modelo de Ostwald de Waele por tratarse de un fluido pseudoplástico que sigue la ley de la potencia. Para lo cual se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$\mu_{ac} = k(\gamma)^{n-1}$$

**Tabla 16**

*Viscosidad aparente corregida para 10 °Brix*

| Velocidad (rpm) | Temperatura |         |        |
|-----------------|-------------|---------|--------|
|                 | 50°C        | 60°C    | 70°C   |
| 8               | 131.856     | 104.520 | 89.495 |
| 22              | 57.928      | 49.142  | 42.650 |
| 36              | 38.660      | 33.908  | 29.625 |
| 50              | 29.496      | 26.455  | 23.216 |
| 64              | 23.811      | 21.736  | 19.142 |
| 78              | 20.262      | 18.744  | 16.551 |
| 92              | 17.703      | 16.560  | 14.655 |
| 106             | 15.763      | 14.888  | 13.200 |
| 120             | 14.238      | 13.560  | 12.043 |
| 134             | 13.004      | 12.478  | 11.099 |
| 148             | 11.984      | 11.578  | 10.311 |
| 162             | 11.079      | 10.773  | 9.607  |
| 176             | 10.352      | 10.122  | 9.037  |
| 190             | 9.723       | 9.556   | 8.540  |
| 204             | 9.172       | 9.058   | 8.103  |

Fuente: propia.

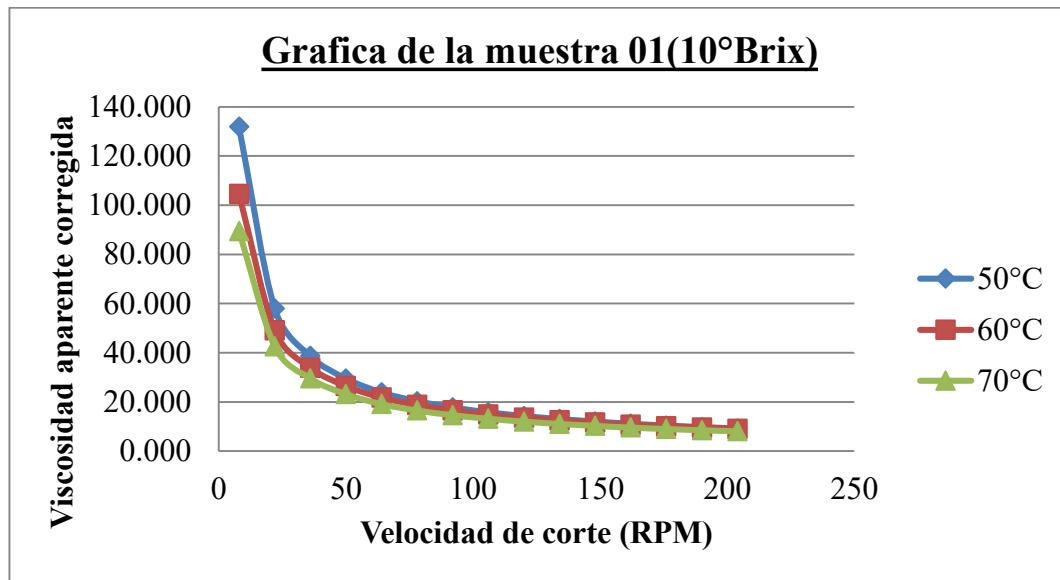
**Figura 15****Gráfico de viscosidad aparente c. para 10 °Brix**

Figura 16 Viscosidad aparente corregida a 10 °brix en distintas temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

De las figura 16, podemos apreciar el comportamiento de la viscosidad de la pulpa de sauco es 8.35 CPa.s a 10° brix a una temperatura de 70°C tiene la menor viscosidad a comparación de las tres muestras a diferentes temperaturas, del cual podemos afirmar que tiene un comportamiento no newtoniano que corresponde a un fluido pseudoplástico. Según (ALVARADO & AGUILERA, 2001). Nos menciona que, si la temperatura incrementa las fuerzas intermoleculares disminuyen porque disminuyen también los espacios intermoleculares y en consecuencia disminuye la viscosidad.

**Tabla 17***Viscosidad aparente corregida para 15 °Brix*

| Velocidad (rpm) | Temperatura |         |         |
|-----------------|-------------|---------|---------|
|                 | 50°C        | 60°C    | 70°C    |
| 8               | 193.642     | 154.028 | 126.678 |
| 22              | 81.588      | 66.371  | 54.743  |
| 36              | 53.342      | 43.874  | 36.239  |
| 50              | 40.143      | 33.262  | 27.500  |
| 64              | 32.054      | 26.716  | 22.104  |
| 78              | 27.054      | 22.648  | 18.749  |
| 92              | 23.475      | 19.725  | 16.337  |
| 106             | 20.780      | 17.515  | 14.513  |
| 120             | 18.672      | 15.783  | 13.082  |
| 134             | 16.976      | 14.385  | 11.927  |
| 148             | 15.580      | 13.231  | 10.973  |
| 162             | 14.346      | 12.209  | 10.129  |
| 176             | 13.359      | 11.390  | 9.451   |
| 190             | 12.506      | 10.681  | 8.865   |
| 204             | 11.763      | 10.063  | 8.353   |

Fuente: propia.

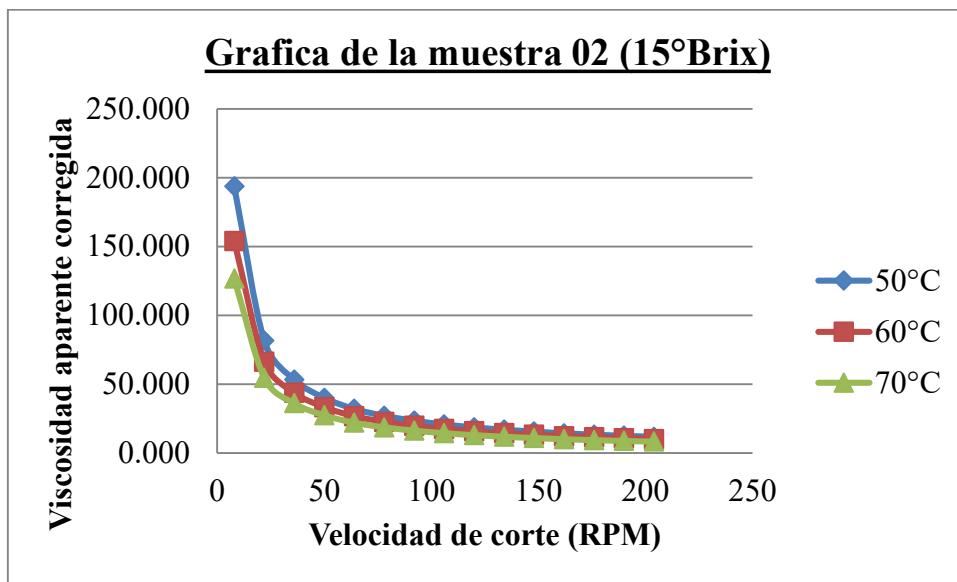
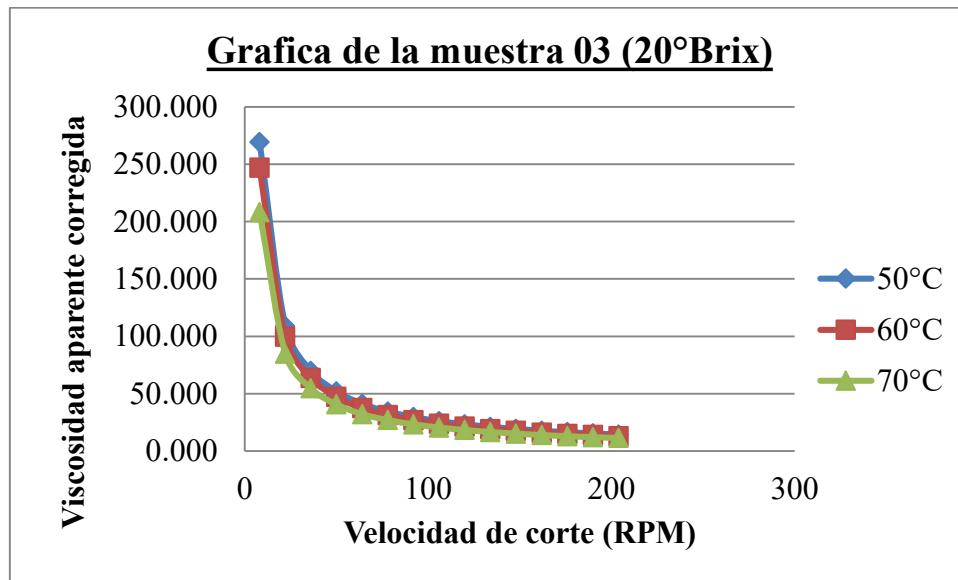
**Figura 16****Gráfico de viscosidad aparente c. para 15 °Brix**

Figura 17 Viscosidad aparente vs velocidad de corte a 15°Bríx en distintas temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C.

De las figura 17, podemos apreciar el comportamiento de la viscosidad de la pulpa de sauco es 8.86 CPa.s a 15° Brix a una temperatura de 70°C tiene una intermedia viscosidad a comparación de las tres muestras a diferentes temperaturas, del cual podemos afirmar que tiene un comportamiento no newtoniano que corresponde a un fluido pseudoplástico. Según (ALVARADO & AGUILERA, 2001). Nos menciona que, si la temperatura incrementa las fuerzas intermoleculares disminuyen porque disminuyen también los espacios intermoleculares y en consecuencia disminuye la viscosidad.

**Tabla 18****Viscosidad aparente corregida para 20 °Brix**

| Velocidad (rpm) | VISCOSEIDAD APARENTE CORREGIDA /<br>20°Brix (CPa.s) |         |         |
|-----------------|---|---------|---------|
|                 | Temperatura<br>50°C                                 | 60°C    | 70°C    |
| 8               | 269.092   | 246.774 | 208.257 |
| 22              | 108.972   | 99.617  | 84.933  |
| 36              | 69.870  | 63.773  | 54.646  |
| 50              | 51.900  | 47.321  | 40.686  |
| 64              | 41.018  | 37.368  | 32.214  |
| 78              | 34.351  | 31.275  | 27.015  |
| 92              | 29.614  | 26.948  | 23.317  |
| 106             | 26.068  | 23.710  | 20.545  |
| 120             | 23.309  | 21.193  | 18.387  |
| 134             | 21.099  | 19.177  | 16.657  |
| 148             | 19.288  | 17.525  | 15.238  |
| 162             | 17.694  | 16.072  | 13.987  |
| 176             | 16.422  | 14.912  | 12.989  |
| 190             | 15.327  | 13.915  | 12.130  |
| 204             | 14.376  | 13.049  | 11.383  |

**Figura 17****Gráfico de viscosidad aparente c. para 20 °Brix**

De las figura 18, podemos apreciar el comportamiento de la viscosidad de la pulpa de sauco es 11.38 CPa.s a 20° brix a una temperatura de 70°C tiene la mayor viscosidad a comparación de las tres muestras a diferentes temperaturas, del cual podemos afirmar que tiene un comportamiento no newtoniano que corresponde a un fluido pseudoplástico. Según (ALVARADO & AGUILERA, 2001). Nos menciona que, si la temperatura incrementa las fuerzas intermoleculares disminuyen porque disminuyen también los espacios intermoleculares y en consecuencia disminuye la viscosidad.

De las Tablas 16, 17 y 18; figuras 18, 19 y 20 podemos apreciar el comportamiento de la viscosidad de la pulpa de sauco a diferentes temperaturas y concentraciones, en donde se aprecia fácilmente una disminución de las viscosidades aparentes cuando se eleva la temperatura y cuando se incrementa la velocidad de deformación, del cual podemos afirmar que tiene un comportamiento no newtoniano que corresponde a un fluido pseudoplástico. Según (ALVARADO & AGUILERA, 2001). Nos menciona que, si la temperatura incrementa las fuerzas intermoleculares disminuyen porque disminuyen también los espacios intermoleculares y en consecuencia disminuye la viscosidad.

### 3.5 ANÁLISIS DE RESULTADO DEL ESTUDIO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN SOBRE LOS PARAMETROS REOLOGICOS DE LA PULPA DE SAUCO.

#### 3.5.1 Efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia

**Tabla 19**

*Análisis de Varianza para índice de consistencia (k)*

| Fuente               | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFECTOS PRINCIPALES  |                   |    |                |         |         |
| A:Temperatura        | 35.7027           | 2  | 17.8514        | 32.85   | 0.0033  |
| B:Concentracion      | 257.931           | 2  | 128.965        | 237.30  | 0.0001  |
| RESIDUOS             | 2.17386           | 4  | 0.543465       |         |         |
| TOTAL<br>(CORREGIDO) | 295.807           | 8  |                |         |         |

**Fuente:** elaboración propia

Del análisis del cuadro de ANVA se tiene dos valores “P” para la temperatura y concentración que son inferiores al nivel de significancia de 0.05 esto nos indica que existe una diferencia estadística significativa entre las temperaturas y concentraciones en estudio con una seguridad del 95% de confianza. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia.

Sin embargo (Kokini, 1990) también menciona que a una variación de temperatura y concentración ocurre una variación en el índice de consistencia, corroborando una alta dependencia en la influencia de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia.

**Figura 18****Prueba de Múltiple Rangos para índice consistencia (k) para la Temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

| Temperatura | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 70          | 3     | 10.1683  | 0.425623 | X                 |
| 60          | 3     | 12.356   | 0.425623 | X                 |
| 50          | 3     | 15.0387  | 0.425623 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 50 - 60   | *    | 2.68267    | 2.14487     |
| 50 - 70   | *    | 4.87033    | 2.14487     |
| 60 - 70   | *    | 2.18767    | 2.14487     |

\* indica una diferencia significativa.

**Interpretación:** Se observa que en los tres niveles los grupos homogéneos no presentan la misma alineación de las X's en la columna indicando diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

### PROMEDIOS ORDENADOS DEL INDICE DE CONSISTENCIA (K) PARA LA TEMPERATURA

$$\text{I} - 50^{\circ}\text{C} = 15.04$$

$$\text{II} - 60^{\circ}\text{C} = 12.36$$

$$\text{III} - 70^{\circ}\text{C} = 10.17$$

### CONTRASTES

$$\text{I-II} = 15.04 - 12.36 = 2.68 > 2.14 *$$

$$\text{I- III} = 15.04 - 10.17 = 4.87 > 2.14 *$$

$$\text{II - III} = 12.36 - 10.17 = 2.18 > 2.14 *$$

La temperatura I(50°C) y II(60°C) inducen a un mayor índice de consistencia en comparación de la temperatura III(70°C), así mismo la temperatura II(60°C) induce a un mayor índice de consistencia que la temperatura III(70°C) con una probabilidad del 95%.

Como pudimos observar cuando la temperatura se incrementa ocurre un descenso del índice de consistencia ejemplo: a la temperatura 50°C con el índice de consistencia promedio de 15.04 Pa.s, y desciende a una temperatura de 70°C a 10.17 Pa.s. Los resultados obtenidos de la presente investigación tienen alguna similitud con (TINOCO OSCANOA, 2016) que indica los parámetros reológicos de la pulpa de melón para una concentración, el índice de consistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura.

### **Figura 19**

#### ***Prueba de Múltiple Rangos para índice consistencia (k) para la Concentracion***

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

| Concentración | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 10            | 3     | 6.62567  | 0.425623 | X                 |
| 15            | 3     | 11.355   | 0.425623 | X                 |
| 20            | 3     | 19.5823  | 0.425623 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 10 - 15   | *    | -4.72933   | 2.14487     |
| 10 - 20   | *    | -12.9567   | 2.14487     |
| 15 - 20   | *    | -8.22733   | 2.14487     |

\* indica una diferencia significativa.

**Interpretación:** Se observa que en los tres niveles los grupos homogéneos no presentan la misma alineación de las X's en columna indicando diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

## PROMEDIOS ORDENADOS DEL INDICE DE CONSISTENCIA (K) PARA LA CONCENTRACION

I -20°Brix = 19.58

II- 15°Brix = 11.36

III-10°Brix = 6.63

## CONTRASTES

I-III = $19.58 - 6.63 = 12.96 > 2.14 *$

I- II =  $19.58 - 11.36 = 8.23 > 2.14 *$

II –III =  $11.36 - 6.63 = 4.73 > 2.14 *$

La concentración I(20°Brix) y II(15°Brix) inducen a un mayor índice de consistencia que la concentración III(10°Brix), así mismo la concentración II(15°Brix) induce a un mayor índice de consistencia que la concentración I(10°Brix) con una probabilidad del 95%.

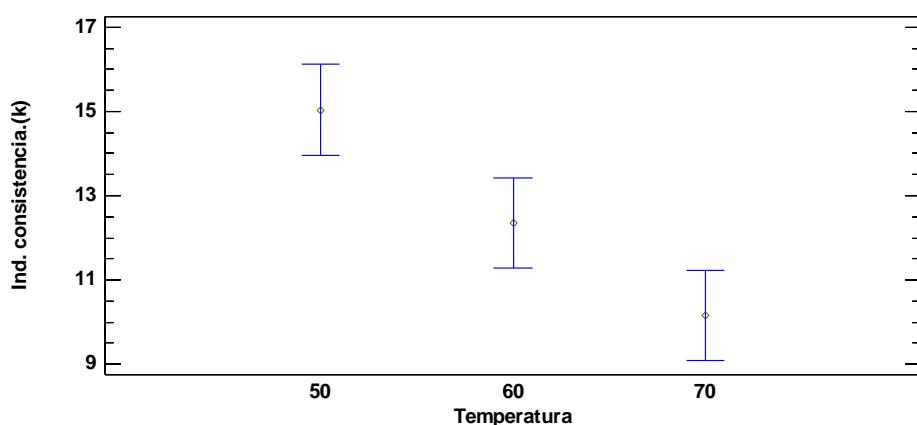
Como se observa, cuando la concentración se incrementa ocurre un incremento del índice de consistencia ejemplo: a la concentración 10°Brix con un índice de consistencia promedio de 6.63 Pa.s, e incrementó a la concentración de 20°Brix a 19.58 Pa.s. De los resultados obtenidos de la presente investigación tienen alguna similitud también con el trabajo de investigación de (TINOCO OSCANOA, 2016) que indica que la pulpa de melón para una temperatura, el índice de consistencia aumenta a medida que aumenta la concentración.

**Figura 20**

70

**Grafica de medias para la temperatura**

Medias y 95.0% de Tukey HSD

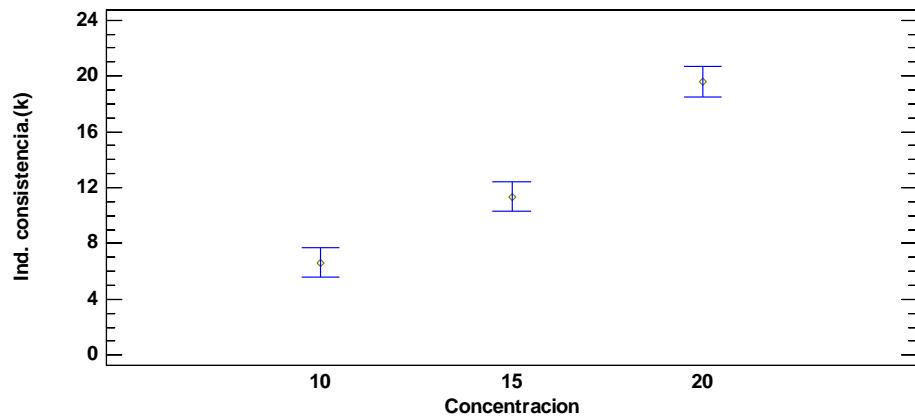


Interpretación: de la gráfica se corrobora los resultados de mostrados en el cuadro de ANVA y el cuadro de múltiple rango, indicando que la temperatura a 50°C tiene un mayor índice de consistencia que a temperaturas de 60°C y 70°C.

**Figura 21**

**Grafica de medias para la concentración**

Medias y 95.0% de Tukey HSD



de ANVA y el cuadro de múltiple rango, indicando que la concentración a 20°Brix tiene un mejor índice de consistencia que a concentraciones de 15°Brix y 10°Brix  
Nota: no existe interacción entre los dos factores en estudio temperatura y concentración.

### 3.5.2 Estudio de la temperatura y concentración sobre el índice de comportamiento de flujo (n).

**Tabla 20**

*Análisis de Varianza para Índice de comportamiento(n)*

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P       |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| EFECTOS PRINCIPALES |                   |    |                |         |               |
| A:Temperatura       | 0.00239109        | 2  | 0.00119554     | 2.51    | 0.1968        |
| B:Concentracion     | 0.025881          | 2  | 0.0129405      | 27.15   | <b>0.0047</b> |
| RESIDUOS            | 0.00190679        | 4  | 0.000476697    |         |               |
| TOTAL (CORREGIDO)   | 0.0301789         | 8  |                |         |               |

Del análisis del cuadro de ANVA se tiene dos valores “P” para la temperatura que es superior al nivel de significancia del 0.05, esto indica que no existe una diferencia estadística significativa entre las temperaturas, por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna del efecto de la temperatura sobre el índice de comportamiento de flujo.

Para la concentración el valor de “P” que es inferior al nivel de significancia de 0.05 esto nos indica que existe una diferencia estadística significativa entre las concentraciones en estudio, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del efecto de la concentración sobre el índice de comportamiento de flujo todo con una seguridad del 95%.

Según (Wagner, Barbati, Engmann, & Burbidge, 2017) menciona que a una variación de la concentración ocurre una variación en el índice de comportamiento de flujo,

corroborando la dependencia en la influencia de la concentración sobre el índice de comportamiento de flujo.

**Figura 22**

**Prueba de Múltiple Rangos para Índice de comportamiento(n) para la Concentración**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

| Concentración | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|---------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 20°Brix       | 3     | 0.0912   | 0.0126055 | X                 |
| 15°Brix       | 3     | 0.145833 | 0.0126055 | X                 |
| 10°Brix       | 3     | 0.221967 | 0.0126055 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 10 - 15   | *    | 0.0761333  | 0.0635237   |
| 10 - 20   | *    | 0.130767   | 0.0635237   |
| 15 - 20   |      | 0.0546333  | 0.0635237   |

\* indica una diferencia significativa.

**Interpretación:** Se observa que en los dos primeros niveles los grupos homogéneos presentan la misma alineación de las X's en columna indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas. Mientras que en el último nivel de los grupos homogéneos no presentan la misma alineación de las X's con respecto a los dos primeros niveles indicando diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

#### PROMEDIOS ORDENADOS DEL INDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO

##### (n) PARA LA CONCENTRACION

$$I - 10^{\circ}\text{Brix} = 0.22$$

$$II - 15^{\circ}\text{Brix} = 0.15$$

$$III - 20^{\circ}\text{Brix} = 0.09$$

## CONTRASTES

$$I-III = 0.22 - 0.09 = 0.13 > 0.063 *$$

$$I- II = 0.22 - 0.15 = 0.076 > 0.063 *$$

$$II - III = 0.15 - 0.09 = 0.055 < 0.063 \text{ N.S.}$$

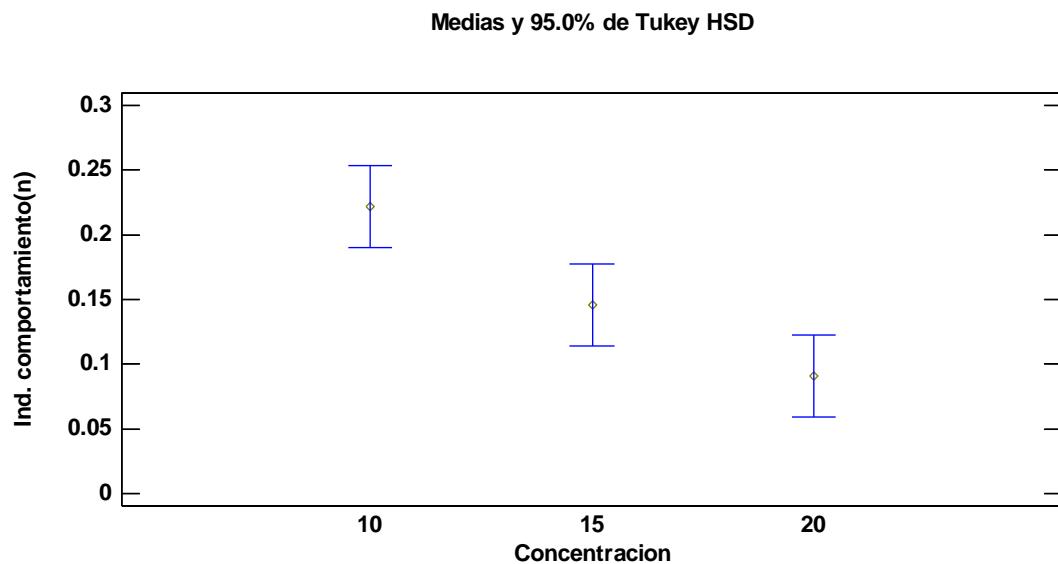
La concentración I( $10^{\circ}\text{Brix}$ ) inducen a un mayor índice de comportamiento de flujo que la concentración II( $15^{\circ}\text{Brix}$ ) y III( $10^{\circ}\text{Brix}$ ), así mismo la concentración II( $15^{\circ}\text{Brix}$ ) induce a igual índice de comportamiento de flujo que la concentración III( $20^{\circ}\text{Brix}$ ) con una probabilidad del 95%.

Se observa cuando la concentración incrementó el índice de comportamiento de flujo decreció, para las concentración de:  $10^{\circ}\text{Brix}$ ,  $15^{\circ}\text{Brix}$  y  $20^{\circ}\text{Brix}$  ocurrió un descenso del índice de comportamiento de flujo como: 0.22, 0.15 y 0.09 respectivamente.

De los resultados obtenidos tiene una similitud según Bustamante & Rojas (2016) que indica que la influencia de la temperatura y concentración sobre el índice de comportamiento de flujo ( $n \leq 0,807$ ) para la pulpa de aguaymanto, determinándose la pseudoplasticidad. En nuestras variables de estudios de la pulpa de sauco solo la concentración tuvo una influencia en el índice de comportamiento de flujo donde se determinó que es un fluido pseudoplástico por que los valores son decimales.

**Figura 23**

*Graficas de medias para la concentración*



ANVA y el cuadro de múltiple rango, indicando que la concentración a 10°Brix tiene un mayor índice de comportamiento de flujo que a concentraciones de 15°Brix y 20°Brix.

No existen interacciones de los factores de estudio.

### 3.5.3 Estudio de la temperatura y concentración sobre viscosidad aparente corregida.

**Tabla 21**

*Análisis de Varianza para V. aparente corregida*

| Fuente               | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFECTOS PRINCIPALES  |                   |    |                |         |         |
| A:Temperatura        | 149.623           | 2  | 74.8114        | 28.01   | 0.0044  |
| B:Concentracion      | 683.091           | 2  | 341.546        | 127.86  | 0.0002  |
| RESIDUOS             | 10.6854           | 4  | 2.67135        |         |         |
| TOTAL<br>(CORREGIDO) | 843.4             | 8  |                |         |         |

Del análisis del cuadro de ANVA se tiene dos valores “P” para la temperatura y concentración que son inferiores al nivel de significancia de 0.05 esto nos indica que existe una diferencia estadística significativa entre las temperaturas y concentraciones en estudio con una seguridad del 95% de confianza. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del efecto de la temperatura y concentración sobre la viscosidad aparente corregida.

Según (Acosta, 2008) Nos menciona en el estudio que realizo sobre Influencia de la temperatura en las características reológicas de la pulpa de carambola (*Averrhoa carambola*), la viscosidad aparente decrece con el aumento de temperatura, lo que nos corrobora el estudio que realizamos.

**Figura 24****Prueba de Múltiple Rangos para viscosidad A. C. ( $\mu$ ) para Temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

| Temperatura | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 70          | 3     | 28.8733  | 0.943636 | X                 |
| 60          | 3     | 33.9463  | 0.943636 | X                 |
| 50          | 3     | 38.8603  | 0.943636 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 50 - 60   | *    | 4.914      | 4.75532     |
| 50 - 70   | *    | 9.987      | 4.75532     |
| 60 - 70   | *    | 5.073      | 4.75532     |

\* indica una diferencia significativa.

**Interpretación:** Se observa que en los tres niveles los grupos homogéneos no presentan la misma alineación de las X's en columna, indicando diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

La temperatura 50°C y 60°C inducen a un mayor viscosidad aparente en comparación de la temperatura 70°C, así mismo la temperatura 60°C induce a un mayor viscosidad aparente que la temperatura 70°C con una probabilidad del 95%.

Podemos afirmar que cuando la temperatura se incrementa de 50°C a 60°C y 70°C ocurre un descenso de la viscosidad aparente de la siguiente forma 38.86 Cp, 3.94 Cp y 28.87Cp, según ALVARADO & AGUILERA (2001) podemos contrastar cuando la temperatura aumenta, también los espacios intermoleculares, disminuyen las fuerzas intermoleculares y consecuentemente la viscosidad disminuye.

## Figura 25

### **Prueba de Múltiple Rangos para Viscosidad A. C. por Concentración.**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

| Concentración | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 10 °Brix      | 3     | 24.342   | 0.943636 | X                 |
| 15 °Brix      | 3     | 31.929   | 0.943636 | X                 |
| 20 °Brix      | 3     | 45.409   | 0.943636 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 10 - 15   | *    | -7.587     | 4.75532     |
| 10 - 20   | *    | -21.067    | 4.75532     |
| 15 - 20   | *    | -13.48     | 4.75532     |

\* indica una diferencia significativa.

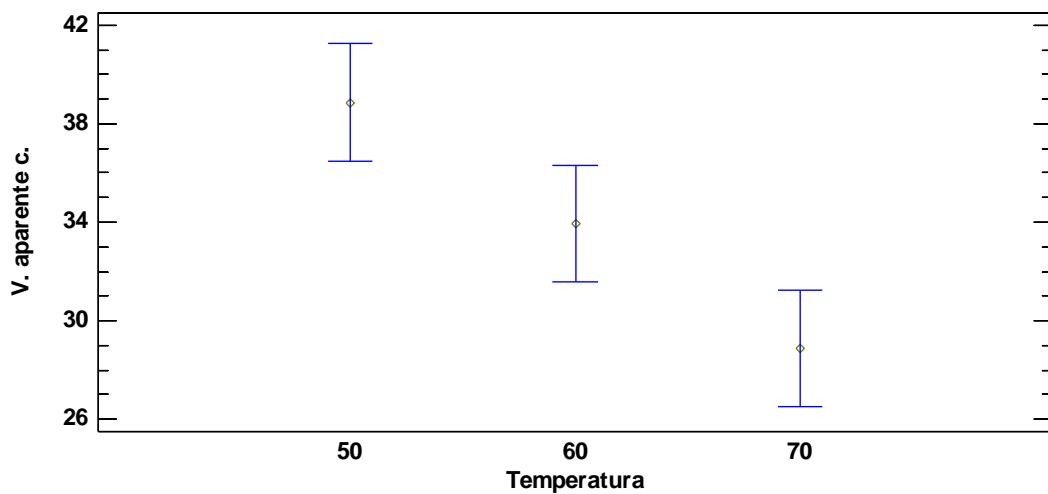
**Interpretación:** Se observa que en los tres niveles los grupos homogéneos no presentan la misma alineación de las X's en columna indicando diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

La concentración de 20°Brix y 15°Brix inducen a un mayor viscosidad aparente que la concentración 10°Brix, así mismo la concentración 15°Brix induce a un mayor viscosidad aparente que la concentración 10°Brix con una probabilidad del 95%.

Nuevamente mencionamos a (Acosta, 2008). Quien realizó un estudio sobre Influencia de la concentración sobre las características reológicas de la pulpa de carambola, la viscosidad aparente aumenta con la concentración de sólidos solubles, lo que corrobora el estudio que realizamos del efecto significativo entre las muestras a diferentes concentraciones.

**Figura 26***Graficas de medias para la temperatura*

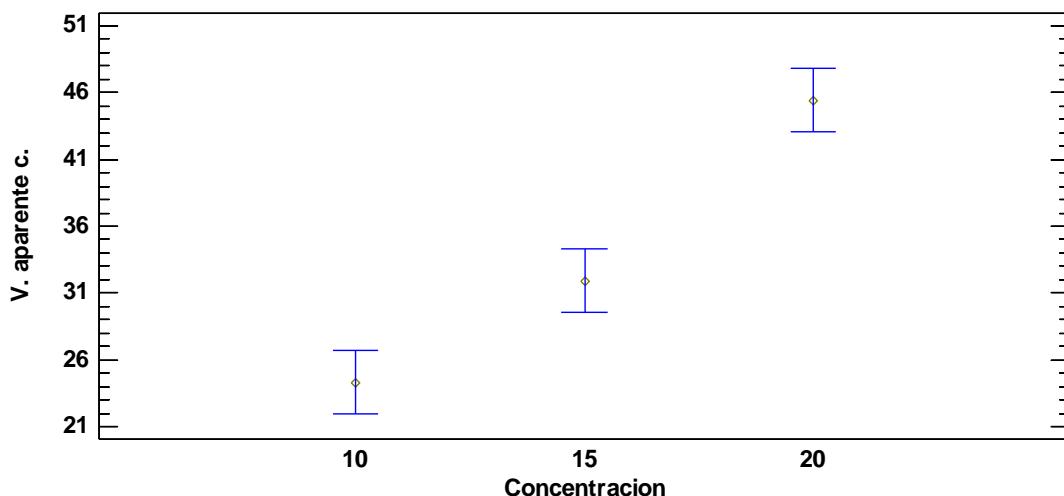
Medias y 95.0% de Tukey HSD



Interpretación: de la gráfica se corrobora los resultados de mostrados en el cuadro de ANVA y el cuadro de múltiple rango, indicando que la temperatura a 50°C tiene una mayor viscosidad aparente comparado a temperaturas de 60°C y 70°C.

**Figura 27***Graficas de medias para la concentración*

Medias y 95.0% de Tukey HSD



Interpretación: de la gráfica se corrobora los resultados de mostrados en el cuadro de ANVA y el cuadro de múltiple rango, indicando que la concentración a 20°Brix influye a una mayor viscosidad aparente que a concentraciones de 15°Brix y 10°Brix

Nota: no existe interacción entre los dos factores en estudio temperatura y concentración.

## CONCLUSIONES

Del resultado del análisis del estudio de la concentración y la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de sauco (*Sambucus nigra, sp peruviana*) podemos establecer las siguientes conclusiones:

1. Se determinó que los parámetros reológicos de la pulpa de sauco se encuentran dentro de los siguientes rangos: índice de consistencia ( $6.01 \leq k \leq 21.89$ ), índice de flujo ( $0.097 \leq n \leq 0.254$ ) y viscosidad aparente ( $8.10 \leq \eta \leq 269.1$ ). Estos valores se evaluaron a concentraciones de 10, 15 y 20 °Brix y temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Los resultados permiten concluir que tanto la temperatura como la concentración tienen un impacto significativo en las propiedades reológicas de la pulpa, provocando cambios en el tipo de comportamiento del fluido.
2. Los modelos que más se ajusta es el modelo reológico de Ostwald de Waele o Ley de Potencia, mostrando un mejor ajuste al comportamiento pseudoplástico a una temperatura de 70°C y una concentración de 20°brix la siguiente ecuación  $y = 0.097x + 1.2216$  bajo las condiciones de temperatura y concentración estudiadas. Asimismo, se verificó que la temperatura tiene un efecto significativo sobre el índice de consistencia (k), disminuyendo este valor a medida que aumenta la temperatura, comportamiento que sigue el modelo de Arrhenius. Estos resultados confirman la influencia tanto de la concentración como de la temperatura en las propiedades reológicas de la pulpa de sauco.
3. La concentración tiene una influencia significativa en los parámetros reológicos de la pulpa de sauco. A una temperatura constante de 50 °C, tanto el índice de consistencia como la viscosidad aparente aumentaron con el incremento de la concentración, a 15 °Brix, el índice de consistencia fue de 14.362 Pa·s<sup>n</sup> y la viscosidad aparente de 38.35 cP, mientras que a 20 °Brix estos valores aumentaron a 21.88 Pa·s<sup>n</sup> y 50.56 cP, respectivamente. En contraste, el índice de comportamiento al flujo mostró mínima

variación decimal, lo que confirma que la pulpa mantiene un comportamiento pseudoplástico en las condiciones estudiadas.

4. La temperatura tiene una influencia significativa sobre los parámetros reológicos de la pulpa de sauco. A una concentración constante de 10 °Brix, tanto el índice de consistencia como la viscosidad aparente disminuyeron con el aumento de la temperatura, a 50 °C, el índice de consistencia fue de 8.87 Pa·s<sup>n</sup> y la viscosidad aparente de 27.67 cP, mientras que a 60 °C estos valores descendieron a 6.01 Pa·s<sup>n</sup> y 24.20 cP, respectivamente. Por otro lado, el índice de comportamiento al flujo mostró un mínimo incremento, pasando de 0.172 a 0.240, lo que sigue indicando un comportamiento pseudoplástico en las condiciones evaluadas.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar el comportamiento reológico de otras frutas exóticas poco conocidas aplicando otros modelos matemáticos.
- Escoger el método reológico más adecuado que va evaluar, como la viscosidad, la elasticidad o la fluidez. Algunas opciones son la reometría rotacional, la reometría capilar o la texturometro.
- Controlar cuidadosamente las variables experimentales, como la temperatura, la velocidad de corte y el tiempo de reposo, para garantizar los resultados

## BIBLIOGRAFÍA

- Bustamante, R., Oblitas , J., & Rojas, E. (2016). Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa concentrada de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). *Agroind Sci* 6.
- Acosta, E. R. (2008). “*Influencia de la temperatura y concentración en las características reológicas de la pulpa de carambola (*Averrhoa carambola L.*)*”. Huancayo – Perú.
- ALVARADO, J., & AGUILERA, J. (2001). *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos*. España: acribia.
- Andrade Pizarro Ricardo Daniel, T. R. (2007). COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE PULPAS DE FRUTAS TROPICALES: GUAYABA (*Psidium guajava L.*),GUANÁBANA (*Annona muricata L.*), ZAPOTE(*Calocarpum sapota Merr*) Y NÍSPERO (*Achras sapota L.*). *LIMENTECH, ciencia y tecnologia alimentaria, Colombia* , 37.
- BARBOSA, V., IBARZ, A., & PELEG, M. (1993). Propiedades reológicas de alimentos fluidos. *Revisión alimentaria*, 89.
- Barnes, H. A. (2001). *Introducción a la Reología*. New York: Elsevier Applied Science.
- Bedoya, M., & Cardona, N. (2009). *Estudio comparativo de modelos reológicos para lodos de perforación (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellin.
- BLASCO. (2006). *predicción denominados para fluidos viscoelásticos, diseño y predicción de la estabilidad del producto almacenado*.
- BOLMSTEDT, U. (2000). *Viscosity &Rheology Theoretical and practica*. UNAS.
- Bourne, M. (1982). *Food texture and viscosity: concept and measurement*. New york: Academic Press.
- BOURNE, M. C. (1992). Calibración de técnicas reológicas utilizadas para alimentos. *J. Food Eng.*, 163.
- Brack, A. (1999). *Diccionario Enciclopédico de Plantas Útiles del Perú*. Cusco: CBC.

- Cahuana, J. (1991). *Elaboración de una bebida alcohólica a partir de "Sauco" (Sambucus peruviana H.B.K.)*. Lima: UNALM.
- CARMONA, A. (2008). Reología de los alimentos. *UNAS*, 123.
- Causil, B. (2005). *Caracterización bromatológica y evaluación de diferentes niveles de inclusión de morera (Morus alba L.) y sauco (Sambucus nigra L.) en la alimentación de conejos de ceba*. BOGOTA.
- CHEFTEL, J. (2002). *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. 1ºEdición Editorial Acribia.
- CHHABRA, P. (2007). *Burbujas, gotas y partículas en fluidos no newtonianos*. India: 2da ed., Taylor & Francis, Kanpur.
- CLEMENTS, M. (1999). *Emulsiones alimentarias: principios, prácticas y técnica*. florida EE. UU.: CRC.
- Codex, S. (2005). *Codex alimentarios Norma general del Codex para zumos (jugos) y néctares de frutas*.
- CÓRDOVA BARTRA, C. P. (2016). *Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa ají charapita (Capsicum frutescens) en dos variedades amarillo y rojo*. UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONÍA, YARINACOCHA –PERU.
- Costell, E., Carbonell, E., & Duran, L. (1986). Comportamiento Reológico de las Mermeladas de Fresa. Relación con la Composición de los Alimentos. *Instituto de agroquímica y tecnología de alimentos*, 12.
- DUARTE, C., & NIÑO, J. (2004). *Introducción a la mecánica de Fluidos*. Bogota Colombia: Colección 145 años.
- Figueroa, J. A., Barragán, K., & Salcedo, J. G. (2017). Comportamiento reológico en pulpa edulcorada de mango (*Mangifera indica* L. cv. Magdalena river). *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*.

- Fraiha, M. (2011). *Rheological behavior of corn and soy mix as feed ingredients*. Campinas Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos.
- Franco. (1996). *Elaboración de salsa análoga a la mayonesa empleando suero de mantequilla en polvo como emulsionante*. España: PETRI.
- Gahona, E. (2004). *Introducción a la Reología de Alimentos*. Mexico: Limusa.
- Galindo, M. 2. (2003). *Dendrología y propagación vegetativa de "Sauco" Sambucus peruviana H.B.K con muestras tomadas a tres niveles de la rama*. Lima.
- Gil - Albert, F. (1991). *Tratado de arboricultura frutal*. Madrid: Mundi- Prensa.
- GOMEZ, A. S. (1997). *CARACTERIZACION REOLOGICA DE LA GOMA DE MUCILAGO DEL CAFE*. CHAPINGO, MEXICO.
- GOMEZ., B. (2003). *características físicas del pepino dulce y su valor nutricional para su procesamiento*.
- GONZALES, S. (2009). *Diseño mecánico de un equipo para medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos*. Barcelona España: Simón González Roldán.
- Graziella - Colato A., F. F. (2009). *Rheological behavior of blueberry*. Brazil.: Campinas StateUniversity.
- Group), I. (. (2005). *Procesamiento de mermeladas de frutas nativas (en línea)*. Lima.
- Guadalupe, J., Hernandez, E., & Denise, P. (2016). Efecto de goma xantan en el comportamiento reológico de cremas instantáneas de harina de pescado. *All content following this page was uploaded*.
- HERMIDA, R. (2000). *Fundamentos de Ingeniería de procesos Agroalimentarios*. Madrid España: Mundi- prensa.
- Hernández, J., Woyzechowsky, L., Aldana, A., & Sanabria, N. (2015). CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE PULPA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L. var Valencia).

- Hinostroza, C., Arizapana, P., & Quispe, T. (1988). *Estudio biométrico de las fibras leñosas de Salix Humboldtiana Willd y Sambucus peruviana H.B.K. del valle del Mantaro.* Huancayo.
- Ibañez, J. 2. (2000). *Transformación de frutales nativos de Cajamarca.* Llimay.
- IBARZ, A., & BARBOSA, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos.* Barcelona España: Mundi-prensa.
- Ibarz, A., Vicente, M., & Graell, J. (2006). Comportamiento reológico del jugo de manzana y jugo de pera y sus concentrados. *Journal of Food Engeneering*, 267.
- Icarte, R. M. (2002). *Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema orientada a control de calidad.* Valdivia, Chile.
- IDMA. (2000). *El sauco y sus bondades.* Abancay: Programa de Desarrollo Rural Sostenible.
- Karazhiyan, H., Seyed, M., Razavi, G., Philipis, Y., Saphwan, A., & Katsuyoshi, R. (2009). *Rheological properties of Lepidium sativum seed extract as a function of concentration, temperature and time.* Food Hydrocolloids.
- Khalil, k., Ramakhisna, P., Nanjundaswamy, A., & Patwardhan, M. (1989). *Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration.* J, Food Eng.
- Kokini, J. L. (1990). *Efectos de pared en el flujo de tubería laminar de cuatro alimentos semisólidos.* Ee: Journal of Food Engineering.
- Koocheki, A., Mortaz, S., Shahidi, F., Razavi, S., & F., T. (2009). Rheological properties of mucilage extracted from Alyssum homolocarpum seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering.*
- LEWIS, M. (1993). *Propiedades físicas de los sistemas de procesamiento de alimentos.* Inglaterra: Ellis Horwood Ltd.
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas procesados.* España: Acribia Zaragoza.

- Madrid, V. (2001). *Nuevo manual de Industrias Alimentarias*”. 3º Edición Editorial . Madrid – España: Madrid Vicente Ediciones & Ediciones Mundi.
- Mancera, A. (2010). *Diseño de una pulpa funcional de frutas y hortalizas con propiedades antioxidantes y probióticas*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Márquez, L., Pretell, C., & Siche, R. (2016). Efecto de la temperatura y concentración de sólidos solubles sobre las propiedades reológicas de la pulpa de guanábana (*Annona muricata L.*). *Pueblo cont.*
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2005). *Generalidades sobre la obtención y conservación de pulpas de frutas*. Colombia: Corporation Colombia InternationaL.
- MIZRAHI, S., & BERK, Z. (1972). *Comportamiento de flujo del jugo de naranja concentrado*. Texture Stud: Inglaterra.
- Munizaga, G. T., & Barbosa, G. v. (2004). *Rheology for the food industry*. JOURNAL OF FOOD ENGINEERING.
- Muñoz, E., Chernikoff, R., & Possa, H. y. (2006). Modelo predictivo del comportamiento reológico de pulpas de fruta (Pera). *Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.*
- Navas, J. S. (2006). *INTRODUCCION A LA REOLOGIA DE LOS ALIMENTOS* . CALI-COLOMBIA.
- Palomino, T. (2004). *Experiencias sobre el desarrollo del sauco (*Sambucus peruviana H.B.K.*) en dos caseros ubicados en diferentes altitudes (entrevista)*. Cajamarca.
- Pretell, C., Ocaæa, V., John, J., & Barahona, C. (1985). Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra Peruana. *Proyecto FAO/Holanda/INFOR*.
- Quintana, S., Marsiglia, R., Torregroza, E., Franco, J., & García, L. (2016). Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades reológicas de la pulpa de ahuyama (*Cucurbita moschata*). *Agronomia Colombiana*.

- QUISPE ARIAS, Y. P. (2015). *PERFIL REOLÓGICO DE LA PULPA DE COCONA (Solanum sessiliflorum Dunal)*. TARMA – PERÚ.
- Ramirez, J. S. (2006). *Fundamentos de reología de alimentos*. Colombia: Editorial Colombia.
- RAO, M. (1986). *Propiedades reológicas de los alimentos fluidos en Ingenieria*. Nueva York.
- RAO, M., COOLEY, H., & VITALI, A. (1984). *Tecnología de los Alimentos*. ESTADOS UNIDOS.
- RAO., M. (1986). *Propiedades reológicas de los alimentos Y fluidos*. Nueva York: Marcel dekker.
- Regalado, A., & Noriega, A. (2014). *Comportamiento reológico de un fluido*. Ciencia y Mar.
- Repetto, F., Saman, N., Martinez, S., & Taira, E. (2003). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de mermelada de frutos andinos: Aguaymanto (Physalis peruviana L.) Sauco (Sambucus peruviana H.B.K.) y Tomate del árbol (Cyphomandra crassifolia) para su exportación a los EE.UU*. Lima.
- Reynel, C., & León, J. (1990). *Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos*. Lima: Ministerio de Agricultura 1 F AO.
- RHA, C. (1978). Reology of foodsReología de los alimentos. *Food Technol*, 82.
- Ricardo David Andrade Pizarro, R. T. (2010). Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de zapote (*Calocarpum sapota* Merr). *Universidad del Zulia - Facultad de Ingenieria. Venezuela*.
- ROLDAN CARBAJAL, W. V. (2015). *CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE PROVENIENTE DEL NOSTOC (Nostoc sphaericum V.)*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, LIMA.
- STEFFE, J. (1996). *Métodos reológicos en alimentos*. Michigan: Freeman Press .
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. open.

- TINOCO OSCANOA, L. K. (2016). *EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN EN EL PERFIL REOLÓGICO DE LA PULPA DE MELÓN (cucumis melo) ( TESIS PREGRADO)*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Tarma Peru.
- TOLEDO, R. (1999). *Fundamentos de la Ingeniería de Procesos de Alimentos*. EE.UU.: Aspen Publishers. Inc. Gaithersburg.
- Vandresen, S. (2009). Efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de los jugos de zanahoria. *Rev. científica. Brasil*.
- Villa A, M. (2008). *Proyecto exportación de carambola*. Lima - Peru: Universidad san Martin de porras.
- Wagner, C., Barbati, A., Engmann, J., & Burbidge, A. y. (2017). *Quantifying the consistency and rheology of liquid foods using fractional calculus*. Food Hydrocolloids. Shanghai China: Yapeng Fang.
- WEIR, I., & BAILEY, W. (1996). estudio estadístico de modelos reológicos para fluidos de perforación. *SPE 36359*, 17.
- WHITE, G. (1970). *Reología en la investigación alimentaria*. I food technol.

## ANEXOS

### ANEXO A: Resultados del análisis reológico de laboratorio de la pulpa de sauco.



**Universidad Nacional del Altiplano - Puno**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA



**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

### **Certificado de Análisis**

**Nº 001373**

**ASUNTO : Análisis Reológico de la pulpa de Sauco**

**PROCEDENCIA : Universidad San Antonio Abad del Cusco**

**INTERESADO : Joel Ramos Ramos**

**MOTIVO : Evaluacion de Parametro Reologicos**

**MUESTREO : 12/01/2022, por el interesado**

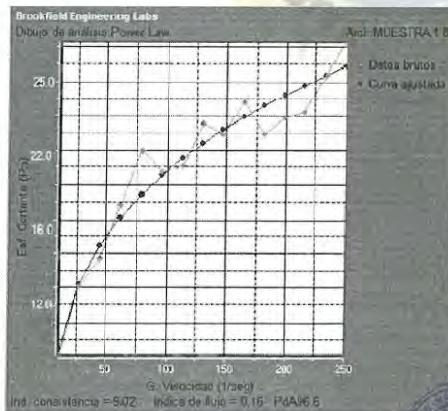
**ANÁLISIS : 19/01/2022**

**COD. MUESTRA : M01**

#### **CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS**

Análisis

| Viscosidad (CPa.s) | Velocidad (RPM) | % Par (%) | Esf. Cortante (Pa) | G. Velocidad (1/seg) | Temperatura (°C) |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|
| 135                | 008             | 019       | 015                | 010                  | 50               |
| 057                | 022             | 020       | 017                | 027                  | 50               |
| 036                | 036             | 019       | 016                | 044                  | 50               |
| 030                | 050             | 019       | 016                | 061                  | 50               |
| 022                | 064             | 023       | 017                | 079                  | 50               |
| 021                | 078             | 024       | 018                | 096                  | 50               |
| 018                | 092             | 024       | 018                | 113                  | 50               |
| 015                | 106             | 024       | 019                | 130                  | 50               |
| 015                | 120             | 024       | 019                | 147                  | 50               |
| 013                | 134             | 027       | 021                | 164                  | 50               |
| 011                | 148             | 030       | 023                | 181                  | 50               |
| 011                | 162             | 030       | 023                | 199                  | 50               |
| 011                | 176             | 032       | 025                | 216                  | 50               |
| 009                | 190             | 031       | 025                | 233                  | 50               |
| 009                | 204             | 033       | 026                | 250                  | 50               |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022,  
VºBº

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
B. Apa Yábar Gómez, Ph.D.  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ing. Química - Telefax: (051) 366190



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**Certificado de Análisis**

Nº 001377

**ASUNTO** : Análisis Reológico de la pulpa de Saúco

**PROCEDENCIA** : Universidad San Antonio Abad del Cusco

**INTERESADO** : Joel Ramos Ramos

**MOTIVO** : Evaluación de Parámetro Reológicos

**MUESTREO** : 12/01/2022, por el interesado

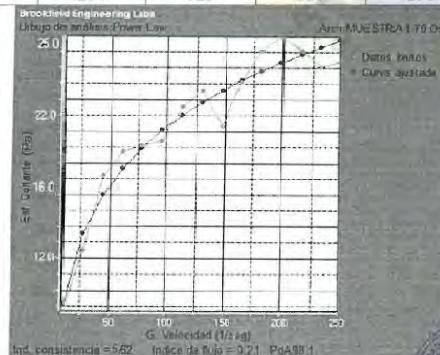
**ANÁLISIS** : 19/01/2021

**COD. MUESTRA** : M01 60°C

**CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS**

Análisis

| Viscosidad (CPa.s) | Velocidad (RPM) | % Par (%) | Esf. Cortante (Pa) | G. Velocidad (1/seg) | Temperatura (°C) |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|
| 107                | 008             | 014       | 011                | 010                  | 60               |
| 052                | 022             | 017       | 014                | 027                  | 60               |
| 034                | 036             | 017       | 014                | 044                  | 60               |
| 027                | 050             | 018       | 015                | 061                  | 60               |
| 022                | 064             | 021       | 016                | 079                  | 60               |
| 019                | 078             | 024       | 018                | 096                  | 60               |
| 016                | 092             | 024       | 018                | 113                  | 60               |
| 015                | 106             | 026       | 020                | 130                  | 60               |
| 014                | 120             | 026       | 020                | 147                  | 60               |
| 013                | 134             | 027       | 021                | 164                  | 60               |
| 011                | 148             | 027       | 021                | 181                  | 60               |
| 010                | 162             | 028       | 022                | 199                  | 60               |
| 010                | 176             | 028       | 022                | 216                  | 60               |
| 011                | 190             | 029       | 023                | 233                  | 60               |
| 009                | 204             | 029       | 023                | 250                  | 60               |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022.  
VºBº

*L.S.P.*  
ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ing. Química - Telefax: (051) 366190



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Certificado de Análisis

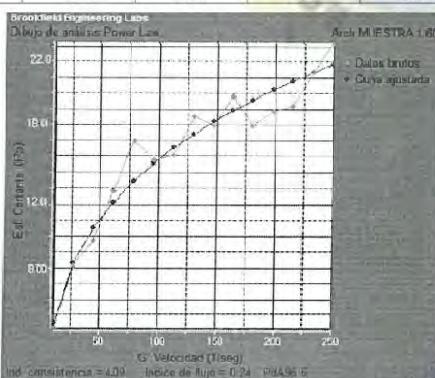
Nº 001378

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>ASUNTO</b>       | : Análisis Reológico de la pulpa de Sauco |
| <b>PROCEDENCIA</b>  | : Universidad San Antonio Abad del Cusco  |
| <b>INTERESADO</b>   | : Joel Ramos Ramos                        |
| <b>MOTIVO</b>       | : Evaluacion de Parametro Reológicos      |
| <b>MUESTREO</b>     | : 12/01/2022, por el interesado           |
| <b>ANÁLISIS</b>     | : 19/01/2021                              |
| <b>COD. MUESTRA</b> | : M01 70°C                                |

**CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS**

Análisis

| Viscosidad (CPa.s) | Velocidad (RPM) | % Par (%) | Esf. Cortante (Pa) | G. Velocidad (1/seg) | Temperatura (°C) |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|
| 094                | 008             | 010       | 008                | 010                  | 70               |
| 044                | 022             | 016       | 013                | 027                  | 70               |
| 028                | 036             | 017       | 014                | 044                  | 70               |
| 025                | 050             | 018       | 015                | 061                  | 70               |
| 018                | 064             | 020       | 015                | 079                  | 70               |
| 017                | 078             | 021       | 016                | 096                  | 70               |
| 014                | 092             | 021       | 016                | 113                  | 70               |
| 014                | 106             | 021       | 016                | 130                  | 70               |
| 012                | 120             | 022       | 017                | 147                  | 70               |
| 010                | 134             | 023       | 018                | 164                  | 70               |
| 012                | 148             | 023       | 018                | 181                  | 70               |
| 010                | 162             | 024       | 019                | 199                  | 70               |
| 009                | 176             | 026       | 020                | 216                  | 70               |
| 009                | 190             | 025       | 020                | 233                  | 70               |
| 008                | 204             | 026       | 021                | 250                  | 70               |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022.  
VºBo

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE



Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Altiplano - Puno



**Universidad Nacional del Altiplano - Puno**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA



**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

# Certificado de Análisis

Nº 001372

**ASUNTO** : Análisis Reológico de la pulpa de Sauco

**PROCEDENCIA** : Universidad San Antonio Abad del Cusco

**INTERESADO** : Joel Ramos Ramos

**MOTIVO** : Evaluación de Parámetro Reológicos

**MUESTREO** : 12/01/2022, por el interesado

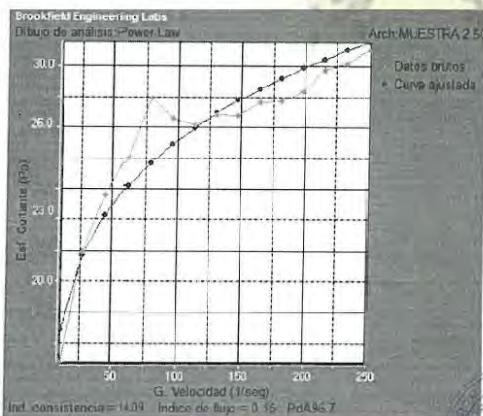
**ANÁLISIS** : 19/01/2022

**COD. MUESTRA** : M02

## CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

Análisis

| Viscosidad<br>( CPa.s ) | Velocidad<br>( RPM ) | % Par<br>( % ) | Esf. Cortante<br>( Pa ) | G. Velocidad<br>( 1/seg ) | Temperatura<br>( °C ) |
|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 198                     | 008                  | 027            | 021                     | 010                       | 50                    |
| 082                     | 022                  | 027            | 021                     | 027                       | 50                    |
| 052                     | 036                  | 030            | 023                     | 044                       | 50                    |
| 039                     | 050                  | 032            | 024                     | 061                       | 50                    |
| 029                     | 064                  | 032            | 025                     | 079                       | 50                    |
| 026                     | 078                  | 032            | 025                     | 096                       | 50                    |
| 024                     | 092                  | 033            | 026                     | 113                       | 50                    |
| 021                     | 106                  | 033            | 026                     | 130                       | 50                    |
| 019                     | 120                  | 035            | 027                     | 147                       | 50                    |
| 017                     | 134                  | 036            | 028                     | 164                       | 50                    |
| 016                     | 148                  | 035            | 028                     | 181                       | 50                    |
| 015                     | 162                  | 037            | 029                     | 199                       | 50                    |
| 014                     | 176                  | 038            | 030                     | 216                       | 50                    |
| 013                     | 190                  | 038            | 030                     | 233                       | 50                    |
| 012                     | 204                  | 040            | 031                     | 250                       | 50                    |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022.

V°B°

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE INGENIERIA QUIMICA  
MO-UNA-CIP-1620N3

DECANO J. WALTER B. ANDRADE ARECON, PH.D.

BROOKFIELD RIO JUNAY

Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ing. Química - Telefax: (051) 366190



# Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



### Certificado de Análisis

Nº 001376

**ASUNTO** : Análisis Reológico de la pulpa de Sauco

**PROCEDENCIA** : Universidad San Antonio Abad del Cusco

**INTERESADO** : Joel Ramos Ramos

**MOTIVO** : Evaluación de Parámetro Reológicos

**MUESTREO** : 12/01/2022, por el interesado

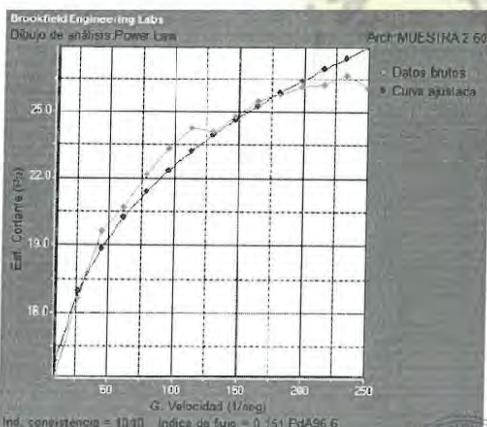
**ANÁLISIS** : 19/01/2021

**COD. MUESTRA** : M02 60°C

#### CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

##### Análisis

| Viscosidad (CPa.s) | Velocidad (RPM) | % Par (%) | Esf. Cortante (Pa) | G. Velocidad (1/seg) | Temperatura (°C) |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|
| 159                | 008             | 022       | 017                | 010                  | 60               |
| 067                | 022             | 023       | 018                | 027                  | 60               |
| 042                | 036             | 023       | 018                | 044                  | 60               |
| 033                | 050             | 025       | 019                | 061                  | 60               |
| 025                | 064             | 027       | 021                | 079                  | 60               |
| 021                | 078             | 027       | 021                | 096                  | 60               |
| 019                | 092             | 027       | 021                | 113                  | 60               |
| 017                | 106             | 028       | 022                | 130                  | 60               |
| 015                | 120             | 028       | 022                | 147                  | 60               |
| 014                | 134             | 029       | 023                | 164                  | 60               |
| 013                | 148             | 032       | 025                | 181                  | 60               |
| 012                | 162             | 032       | 025                | 199                  | 60               |
| 012                | 176             | 033       | 026                | 216                  | 60               |
| 011                | 190             | 033       | 026                | 233                  | 60               |
| 011                | 204             | 035       | 027                | 250                  | 60               |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022.

VºBº

ING. LIZ MARINA TEVES PONCE

INSTITUTO DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA - PUNO

Ciudad Universitaria Av. Flora s/n, Facultad de Ing. Química - Telefax: (051) 2365190





Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



## Certificado de Análisis

Nº 001375

**ASUNTO** : Análisis Reológico de la pulpa de Sauco

**PROCEDENCIA** : Universidad San Antonio Abad del Cusco

**INTERESADO** : Joel Ramos Ramos

**MOTIVO** : Evaluación de Parametro Reológicos

**MUESTREO** : 12/01/2022, por el interesado

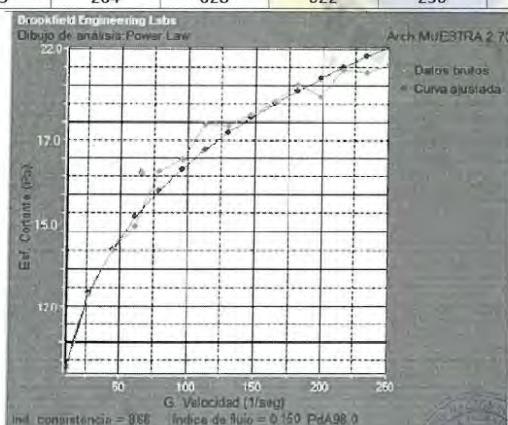
**ANÁLISIS** : 19/01/2021

**COD. MUESTRA** : M02 70°C

### CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

Análisis

| Viscosidad (CPa.s) | Velocidad (RPM) | % Par (%) | Esf. Cortante (Pa) | G. Velocidad (1/seg) | Temperatura (°C) |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|
| 126                | 008             | 018       | 014                | 010                  | 70               |
| 057                | 022             | 018       | 014                | 027                  | 70               |
| 035                | 036             | 019       | 015                | 044                  | 70               |
| 027                | 050             | 022       | 017                | 061                  | 70               |
| 021                | 064             | 022       | 017                | 079                  | 70               |
| 019                | 078             | 022       | 017                | 096                  | 70               |
| 016                | 092             | 023       | 018                | 113                  | 70               |
| 014                | 106             | 023       | 018                | 130                  | 70               |
| 013                | 120             | 024       | 019                | 147                  | 70               |
| 012                | 134             | 026       | 020                | 164                  | 70               |
| 011                | 148             | 025       | 020                | 181                  | 70               |
| 011                | 162             | 027       | 021                | 199                  | 70               |
| 010                | 176             | 026       | 021                | 216                  | 70               |
| 009                | 190             | 026       | 021                | 233                  | 70               |
| 009                | 204             | 028       | 022                | 250                  | 70               |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022.

VºBº

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
Facultad de Ingeniería Química - UNA  
Ciudad Universitaria Av. Flora Tristán s/n  
Telefax: (051) 366190





**Universidad Nacional del Altiplano - Puno**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA



**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

**Certificado de Análisis**

Nº 001374

**ASUNTO** : Análisis Reológico de la pulpa de Sauco

**PROCEDENCIA** : Universidad San Antonio Abad del Cusco

**INTERESADO** : Joel Ramos Ramos

**MOTIVO** : Evaluacion de Parametro Reológicos

**MUESTREO** : 12/01/2022, por el interesado

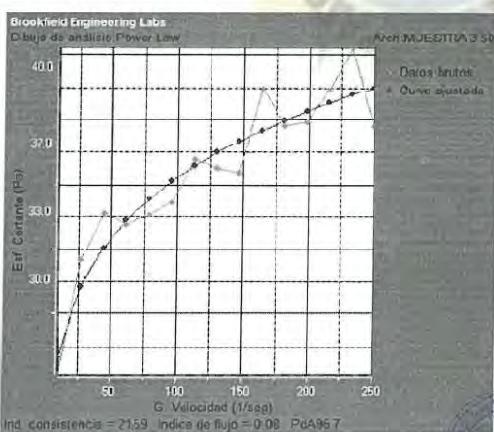
**ANÁLISIS** : 19/01/2022

**COD. MUESTRA** : M03

**CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS**

Andáisis

| Viscosidad<br>( CPa.s ) | Velocidad<br>( RPM ) | % Par<br>( % ) | Esf. Cortante<br>( Pa ) | G. Velocidad<br>( 1/seg ) | Temperatura<br>( °C ) |
|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 272                     | 008                  | 038            | 029                     | 010                       | 50                    |
| 102                     | 022                  | 038            | 029                     | 027                       | 50                    |
| 065                     | 036                  | 039            | 030                     | 044                       | 50                    |
| 052                     | 050                  | 039            | 031                     | 061                       | 50                    |
| 041                     | 064                  | 039            | 031                     | 079                       | 50                    |
| 035                     | 078                  | 040            | 031                     | 096                       | 50                    |
| 029                     | 092                  | 042            | 033                     | 113                       | 50                    |
| 027                     | 106                  | 042            | 033                     | 130                       | 50                    |
| 024                     | 120                  | 044            | 034                     | 147                       | 50                    |
| 020                     | 134                  | 043            | 034                     | 164                       | 50                    |
| 019                     | 148                  | 045            | 035                     | 181                       | 50                    |
| 018                     | 162                  | 046            | 036                     | 199                       | 50                    |
| 016                     | 176                  | 048            | 037                     | 216                       | 50                    |
| 014                     | 190                  | 048            | 037                     | 233                       | 50                    |
| 015                     | 204                  | 048            | 038                     | 250                       | 50                    |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022.

VºBº

LSP  
ING. LUZ MARINA TEVES PONCE



Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ing. Química - Telefax: (051) 366190

NO ZUNAY



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD ACREDITADA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



## Certificado de Análisis

Nº 001379

**ASUNTO** : Análisis Reológico de la pulpa de Saúco

**PROCEDENCIA** : Universidad San Antonio Abad del Cusco

**INTERESADO** : Joel Ramos Ramos

**MOTIVO** : Evaluación de Parámetro Reológicos

**MUESTREO** : 12/01/2022, por el interesado

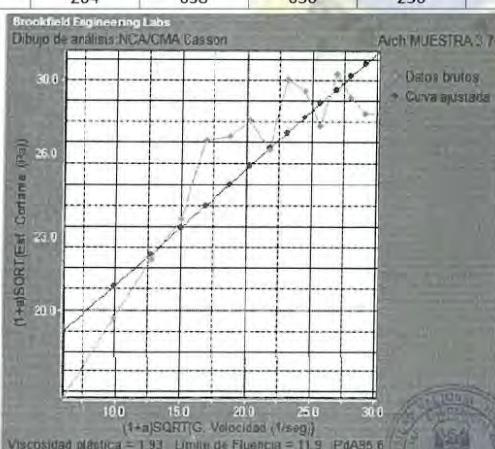
**ANÁLISIS** : 19/01/2022

**COD. MUESTRA** : M03 70°C

### CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

Análisis

| Viscosidad (CPa.s) | Velocidad (RPM) | % Par (%) | Esf. Cortante (Pa) | G. Velocidad (1/seg) | Temperatura (°C) |
|--------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|
| 213                | 008             | 030       | 023                | 010                  | 70               |
| 087                | 022             | 030       | 023                | 027                  | 70               |
| 051                | 036             | 030       | 023                | 044                  | 70               |
| 037                | 050             | 029       | 023                | 061                  | 70               |
| 032                | 064             | 030       | 024                | 079                  | 70               |
| 026                | 078             | 031       | 024                | 096                  | 70               |
| 022                | 092             | 032       | 025                | 113                  | 70               |
| 019                | 106             | 034       | 027                | 130                  | 70               |
| 018                | 120             | 035       | 027                | 147                  | 70               |
| 017                | 134             | 035       | 028                | 164                  | 70               |
| 015                | 148             | 036       | 028                | 181                  | 70               |
| 016                | 162             | 037       | 029                | 199                  | 70               |
| 012                | 176             | 038       | 029                | 216                  | 70               |
| 013                | 190             | 038       | 029                | 233                  | 70               |
| 012                | 204             | 038       | 030                | 250                  | 70               |



Puno, C.U. 19 de Enero del 2022.

VºBº

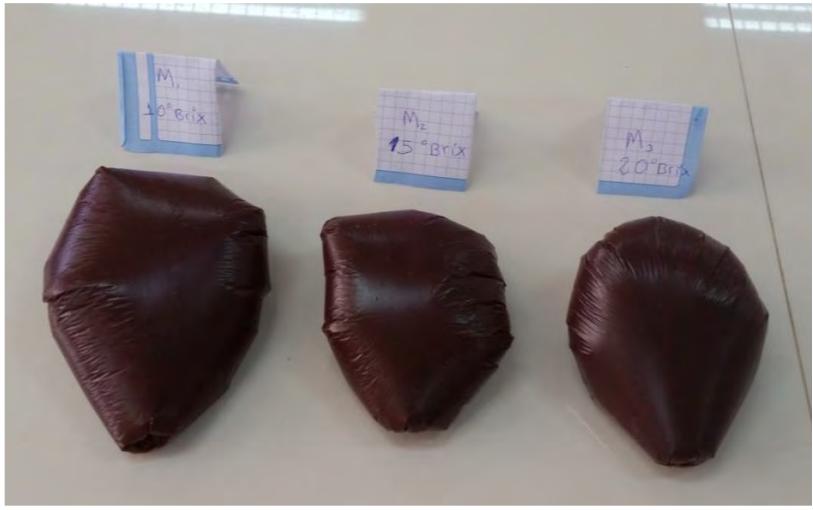
ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
Facultad de Ingeniería Química - UNA  
Ciudad Universitaria Av. Flora Sánchez - Facultad de Ing. Química - Telefax: (054) 366180 - UNA  
FIQ - UNA - CIP - 182363



**ANEXO B: Elaboración de la pulpa concentrada de saúco a tres concentraciones**

|   |  |   |
|---|--|---|
|    |  | <p><b>Recepción:</b><br/>La recepción de la materia prima se hizo en óptimas condiciones.</p>               |
|   |  | <p><b>Control de calidad:</b><br/>Se realizó para descartar posible descomposición de la materia prima.</p> |
|  |  | <p><b>Selección:</b><br/>Se seleccionó los frutos inmaduros y dañados.</p>                                  |

|   |  |
|---|--|
|    | <p><b>Pesado:</b><br/>Se pesaron para tres muestras para luego ser escaldados.</p>               |
|  | <p><b>Escaldado:</b><br/>Se realizó con agua caliente a 75°C por tres minutos.</p>               |
|  | <p><b>Pulpeado:</b><br/>Se realizó en una licuadora para reducir el tamaño de las partículas</p> |

|  |   |
|--|---|
|    | <p><b>Muestras para el concentrado:</b></p> <p>La pulpa licuada se separó en tres porciones</p>   |
|   | <p><b>Concentrado:</b></p> <p>Las muestras se deshidrató en una cocina eléctrica hasta alcanzar la concentración deseada ayudándonos con un brixómetro.</p> |
|    | <p><b>Almacenado:</b></p> <p>Las muestras de pulpa de sauco se almaceno en una refrigeradora a 4°C hasta llevar al laboratorio.</p>                         |