

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE TOMATE ANDINO
(*Solanum betaceum*) EN FLUJO DE CORTE”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUIMICO

AUTORES

HEYDIE NAOMI, LEYVA MAYO
KATHERIN MARGOT, RAFAEL TAIBE
LIDA LORENA, RAFAEL TAIBE

Three handwritten signatures in black ink, corresponding to the authors listed: Heydie Naomi Leyva Mayo, Katherin Margot, and Lida Lorena.

ASESOR

DR. CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE

A handwritten signature in blue ink, corresponding to the advisor listed: Dr. Carlos Alejandro Ancieta Dextre.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2023

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



LIBRO N° 1 FOLIO N° 121 ACTA N° 120 DE SUSTENTACIÓN
POR LA MODALIDAD DE TESIS CON CICLO DE TESIS
GRUPO X TCT

Siendo las 10:40 horas del día domingo 30 de abril de 2023, se reunieron en la sala meet <https://meet.google.com/yzt-jhsa-xqc> el Jurado de Sustentación de Tesis, conformado por los siguientes docentes ordinarios:

ING° PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO	Presidente
ING° LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES	Secretario
Lic. SANTOS PANTALEÓN RODRIGUEZ CHUQUIMANGO	Vocal
Lic. SALVADOR APOLINAR TRUJILLO PEREZ	Miembro Suplente
ING° CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE	Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de las bachilleres LEYVA MAYO HEYDIE NAOMI, RAFAEL TAIPE KATHERIN MARGOT y RAFAEL TAIPE LIDA LORENA quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico mediante la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, sustenta la tesis titulada "COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE TOMATE ANDINO (*Solanum betaceum*) EN FLUJO DE CORTE" en acto público de manera NO PRESENCIAL a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19 a través del D.S. N° 044-2020-PCM, lo dispuesto en el DU N° 026-2020 en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario", con el quórum reglamentario de ley se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente

Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado de Sustentación y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó dar por **APROBADOS**, con la siguiente escala de calificación conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021:

BACHILLER	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
LEYVA MAYO HEYDIE NAOMI	16	MUY BUENO
RAFAEL TAIPE KATHERIN MARGOT	16	MUY BUENO
RAFAEL TAIPE LIDA LORENA	16	MUY BUENO

Concluyendo la Sustentación a las 11:30 horas del día domingo 30 de abril de dos mil veintitres

ING° PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO
PRESIDENTE

ING° LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES
SECRETARIO

Lic. SANTOS PANTALEÓN RODRIGUEZ
CHUQUIMANGO
VOCAL

Lic. SALVADOR APOLIANR TRUJILLO PÉREZ
SUPLENTE

ING° CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE
ASESOR

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: Ingeniería Química

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería Química

TÍTULO: Comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte.

AUTORES:

Heydie Naomi Leyva Mayo / CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5780-0429 / DNI: 75505858

Katherin Margot Rafael Taipe / CÓDIGO ORCID: 0000-0001-9423-2352 / DNI: 72577446

Lida Lorena Rafael Taipe / CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5815-9012 / DNI: 46663411

ASESOR:

Carlos Alejandro Ancieta Dextre / CÓDIGO ORCID: 0000-0003-3532-0875 / DNI: 25625420

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao – Facultad de Ingeniería Química - Bellavista, Callao.

UNIDAD DE ANÁLISIS

Pulpa de Tomate andino (*Solanum betaceum*)

TIPO DE INVESTIGACIÓN / ENFOQUE/ DISEÑO

Aplicada / Cuantitativo / Experimental

TEMA OCDE: Se encuentra ubicado en el área Ingeniería Química en el 2,04,01.

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue sustentada por los Bachilleres **LEYVA MAYO HEYDIE NAOMI**, **RAFAEL TAIPE KATHERIN MARGOT** y **RAFAEL TAIPE LIDA LORENA** ante el Jurado de Sustentación de Tesis conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING° Diaz Bravo, Pablo Belizario	Presidente
ING° Machaca Gonzales, Leonardo Felix	Secretario
LIC° Rodríguez Chuquimango, Santos Pantaleon	Vocal
ING° Ancieta Dextre, Carlos Alejandro	Asesor

Tal como está asentado en el Libro de actas N° 1 Folio N° 121 y Acta N° 120 de fecha treinta de abril del 2023, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099–2021–CU del 30 de junio de 2021.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedicamos a nuestros padres y familiares, ya que sin ellos no hubiéramos logrado este gran paso en nuestra vida profesional. A nuestros maestros y compañeros que a lo largo de nuestra formación académica contribuyeron de manera positiva a lograr nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por permitirnos pasar por esta etapa tan maravillosa como es la vida universitaria, por brindarnos perseverancia y resiliencia para continuar a pesar de las dificultades y finalmente hacia el logro de nuestros objetivos.

A nuestro asesor el Dr. Carlos A. Ancieta Dextre por guiarnos en la elaboración de este trabajo de investigación.

Y un agradecimiento especial, a nuestras mascotas por acompañarnos en silencio en los días de desvelo.

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1.Descripción de la realidad problemática	10
1.2.Formulación del problema	10
1.2.1. Problema general	10
1.2.2. Problemas específicos.....	10
1.3.Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
1.4.Justificación	11
1.5.Delimitantes de la investigación.....	12
1.5.1. Teórico.....	12
1.5.2. Temporal	12
1.5.3. Espacial.....	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1.Antecedentes: Internacional y nacional	13
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	13
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	14
2.2.Bases teóricas	15
2.2.1. Tomate andino.....	15
2.2.2. Fundamentos de la reología	17
2.3.Marco conceptual	28
2.3.1. Pulpa de tomate andino.....	28

2.3.2. Comportamiento reológico en la industria de alimentos	28
2.4. Definición de términos básicos	29
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	31
3.1. Hipótesis general y específicas	31
3.1.1. Operacionalización de variable	32
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	33
4.1. Diseño metodológico	33
4.2. Método de investigación	34
4.3. Población y muestra	37
4.3.1. Población	37
4.3.2. Muestra	37
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	38
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	38
4.5.1. Técnicas	38
4.5.2. Materiales y equipos	39
4.6. Análisis y procesamiento de datos	42
4.7. Aspectos éticos en investigación	42
V. RESULTADOS	43
5.1. Resultados descriptivos	43
5.2. Resultados inferenciales	53
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	59
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	60
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	63
VII. CONCLUSIONES	64
VIII. RECOMENDACIONES	65
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	70
Anexo 1: Matriz de consistencia	70

Anexo 2: Análisis fisicoquímicos de la pulpa de tomate andino 71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Partes del fruto de tomate de andino (<i>Solanum betaceum</i> Cav).....	16
Figura 2	Diagrama de un fluido en flujo cortante simple	17
Figura 3	Comportamiento de fluido newtoniano	19
Figura 4	Curvas de flujo	20
Figura 5	Comportamiento de fluido pseudoplástico	21
Figura 6	Equipos para determinar la viscosidad de fluidos	27
Figura 7	Obtención de la pulpa de tomate andino.....	34
Figura 8	Selección del fruto de tomate andino	35
Figura 9	Desinfección del fruto de tomate andino	35
Figura 10	Fruto sin cáscara.....	36
Figura 11	Pulpa refinada de tomate andino	36
Figura 12	Reómetro Antón Paar, Modelo RheoLab QC	40
Figura 13	Reómetro conectado a la computadora y baño termostático	40
Figura 14	Cilindro de medición B-CC27	41
Figura 15	Copa de medición C-CC27/SS/QC-LTD	41
Figura 16	Reograma de la pulpa de tomate andino a 3°Brix.....	47
Figura 17	Reograma de la pulpa de tomate andino a 5°Brix.....	47
Figura 18	Reograma de la pulpa de tomate andino a 9°Brix.....	48
Figura 19	Relación viscosidad y velocidad de corte a 3 °Brix	52
Figura 20	Relación viscosidad y velocidad de corte a 5 °Brix	52
Figura 21	Relación viscosidad y velocidad de corte a 9 °Brix	53
Figura 22	Relación entre el índice de consistencia y la temperatura	55
Figura 23	Índice de consistencia frente a la concentración... ..	57
Figura 24	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino	16
Tabla 2	Modelos reológicos	26
Tabla 3	Matriz de operacionalización de variable	32
Tabla 4	Factores y niveles de investigación	33
Tabla 5	Matriz de experimentación.....	33
Tabla 6	Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino	43
Tabla 7	Datos experimentales a 3° Brix.....	44
Tabla 8	Datos experimentales a 5° Brix.....	45
Tabla 9	Datos experimentales a 9° Brix.....	46
Tabla 10	Datos experimentales de viscosidad a 3° Brix.....	49
Tabla 11	Datos experimentales de viscosidad a 5° Brix.....	50
Tabla 12	Datos experimentales de viscosidad a 9° Brix.....	51
Tabla 13	Parámetros de modelos relacionados a la pulpa de tomate andino .	54
Tabla 14	Valores de índice de consistencia (K) a diferentes concentraciones	55
Tabla 15	Energía de activación para la pulpa de tomate andino	56
Tabla 16	Modelo potencial y exponencial para la concentración.....	56
Tabla 17	Análisis de varianza	58
Tabla 18	Comparación de características fisicoquímicas con otros autores ...	61

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AOAC: Association of Analytical Communities (Asociación de Comunidades Analíticas)

NTP: Norma técnica peruana

NOM-F: Norma oficial mexicana

INACAL: Instituto nacional de la calidad

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el comportamiento reológico de la pulpa del tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte. La metodología utilizada fue a nivel laboratorio utilizando el reómetro rotacional Rheolab QC, las concentraciones de la pulpa de tomate fueron de (3, 5 y 9° Brix) a temperaturas (15, 30, 45 y 60°C) y velocidad de corte constante (10 s⁻¹ a 100 s⁻¹) a intervalos de medición de 1s, se utilizaron diversos modelos reológicos empíricos. Los resultados muestran que el modelo de Herschel Bulkley fue el más adecuado para predecir el comportamiento reológico, con un coeficiente de determinación R²: 0.9912 a 0.9999 , índice de comportamiento al flujo n: 0.3386 a 0.6626, índice de consistencia K: 0.1429 a 13.1284 Pa·sⁿ y esfuerzo umbral τ_0 : 0.2111 a 17.8093 Pa. Las características fisicoquímicas de la pulpa fueron: sólidos solubles (9 °Brix), pH (3,6), acidez (1,959 % ácido cítrico), humedad (89,97%), proteína (2.21 %), grasas (0.77%), cenizas (0.79%), carbohidratos (6.26%), calcio (245.3 mg/kg), potasio (4912.03 mg/kg), sodio (16.94 mg/kg), hierro (4.48 mg/kg) y zinc (1.23 mg/kg). En conclusión, la pulpa de tomate andino presenta un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico, bajo las condiciones estudiadas. La temperatura tiene un efecto significativo sobre la viscosidad, cumpliendo la ecuación de Arrhenius con energía de activación de 9.922 a 14.316 KJ/ mol.

Palabras claves: *Reología, pulpa de tomate andino, pseudoplástico, Herschel Bulkley.*

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the rheological behavior of the pulp of the Andean tomato (*Solanum betaceum*) in cut flow. The methodology used was at the laboratory level using the Rheolab QC rotational rheometer, the concentrations of the tomato pulp were (3, 5 and 9° Brix) at temperatures (15, 30, 45 and 60°C) and constant cutting speed. (10 s^{-1} to 100 s^{-1}) at 1s measurement intervals, various empirical rheological models were used. The results show that the Herschel Bulkley model was the most adequate to predict the rheological behavior, with a coefficient of determination R^2 : 0.9912 to 0.9999, flow behavior index n : 0.3386 to 0.6626, consistency index K : 0.1429 to 13.1284 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ and threshold stress τ_0 : 0.2111 to 17.8093 Pa. The physicochemical characteristics of the pulp were: soluble solids (9°Brix), pH (3.6), acidity (1.959% citric acid), humidity (89.97%), protein (2.21%), fat (0.77%), ashes (0.79%), carbohydrates (6.26%), calcium (245.3 mg/kg), potassium (4912.03 mg/kg), sodium (16.94 mg/kg), iron (4.48 mg/kg) and zinc (1.23 mg/kg). In conclusion, the Andean tomato pulp presents a non-Newtonian behavior of a pseudoplastic type, under the conditions studied. Temperature has a significant effect on viscosity, satisfying the Arrhenius equation with activation energy of 9.922 to 14.316 KJ/mol.

Keywords: *Rheology, Andean tomato pulp, pseudoplastic, Herschel Bulkley.*

INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol es una planta originaria de los andes peruanos, que se extiende a los países de Chile, norte de Argentina, Ecuador y Bolivia dónde es producida extensivamente, así como en Brasil y Colombia, con la finalidad de exportar y aprovechar sus frutos comestibles [1].

La producción de tomate andino en el Perú en comparación con los países ya mencionados; es pequeña y poco aprovechada, ya que actualmente la información de sus propiedades tanto fisicoquímicas como comportamiento reológico son escasos.

La reología obtiene información a través de dos aspectos principales; las ecuaciones reológicas de estado o ecuaciones constitutivas que determinan la relación entre esfuerzo y deformación para un material. El otro aspecto es el desarrollo de relaciones que muestran cómo el comportamiento reológico está influido por la concentración, la temperatura y presión [2].

El estudio del comportamiento reológico de los fluidos constituye una fuente esencial de información para el diseño e industrialización de diversos productos alimenticios [3].

El tomate andino muestra un gran potencial como producto nuevo, para ello se debe garantizar el adecuado procesamiento, lo cual requiere de asegurar el control de parámetros como la viscosidad, humedad, entre otros, por tal motivo existe la necesidad de obtener información del comportamiento reológico.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de determinar el comportamiento reológico de la pulpa del tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte, siendo esta una fuente de información y punto de partida para la industrialización, comercialización y posible exportación de la unidad en estudio, contribuyendo de esta manera al sector agrario de una manera positiva [1].

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La demanda existente y crecimiento a lo largo de los años de la industria alimentaria, en cuanto a productos que satisfagan todo tipo de consumidores, se presentan cada día en el mercado diversos productos a base de frutas, verduras, hortalizas entre otros, los cuales sirven para la producción de sus derivados como pastas, zumos, mermeladas, conservas, encurtidos, entre otros. La industria alimentaria se encuentra ya saturada por productos convencionales, tanto nacional como internacional, por este motivo existe la necesidad de la búsqueda de nuevas alternativas a los productos ya existentes.

Este es el caso del tomate andino, una fruta que posee propiedades y características con gran potencial al igual que sus similares o al tomate convencional. La producción de tomate andino o tomate de árbol en el Perú en comparación con otros países como Colombia, Venezuela, Chile, el norte de Argentina, Ecuador y Bolivia; es pequeña y poco aprovechada.

Este fruto puede ser preparado como bebidas refrescantes ya que posee grandes propiedades antioxidantes, además puede utilizarse para elaboración de yogurt, helados, jaleas y mermeladas por lo que se torna interesante su producción y procesamiento [4].

El estudio de las propiedades fisicoquímicas y reológicas, asegurará un producto de calidad que cumpla con estándares tanto nacional como internacional [1].

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo es el comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*)?

- ¿Cuál es la influencia de la temperatura sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte?
- ¿Cuál es la influencia de la concentración sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento reológico de la pulpa del tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*).
- Evaluar la influencia de la temperatura sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte.
- Evaluar la influencia de la concentración sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte.

1.4. Justificación

La determinación del comportamiento reológico y la caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino permitirá obtener conocimientos que contribuirán al desarrollo de la tecnología de alimentos, ya que el comportamiento reológico es usado como medida de la calidad, operación y diseño de los equipos de procesamiento y transporte.

Como aporte indirecto, estos conocimientos contribuirán a la industrialización del fruto de tomate andino ya que permitirá generar una oportunidad de negocio para todos los sectores involucrados desde su cultivo, procesamiento en derivados y comercialización a nivel nacional e internacional.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Teórico

El presente trabajo describió el comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino basándose en la teoría de la reología de fluidos no newtonianos pseudoplásticos. Así mismo se hizo uso de modelos matemáticos no lineales, los cuales se ajustaron mediante métodos estadísticos.

Para el tratamiento del fruto de tomate de andino, se utilizaron operaciones correspondientes a la tecnología de alimentos.

1.5.2. Temporal

El desarrollo de este estudio será realizado durante los meses de enero a marzo del presente año, ya que el fruto de tomate andino se produce casi todo el año, en zonas de climas templados y fríos entre 13° a 24°C.

1.5.3. Espacial

El procesamiento del fruto para la obtención de pulpa de tomate andino y las lecturas con el equipo reómetro se realizaron en el laboratorio de investigación de la facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional del Callao y la caracterización de la pulpa en el laboratorio TYPASA (Técnica y proyectos S.A sucursal del Perú).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes: Internacional y nacional

2.1.1. Antecedentes internacionales

[5] en su investigación: “Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins” los autores obtuvieron la pulpa del mango de variedad Tommy Atkins y realizaron la caracterización fisicoquímica. Posteriormente, trabajaron en el rango de temperatura de 15-60°C, con un rango de concentración 15-30°Brix y una velocidad de cizalla ascendente y descendente de 0 a 93 s⁻¹. Las pruebas fueron realizadas con el viscosímetro de Brookfield Modelo DV-II+Pro. El estudio concluyó que la pulpa de mango presentó un comportamiento pseudoplástico en todas las concentraciones y temperaturas y el modelo reológico que mejor se ajusta es el de Ostwald de Waele. Por otro lado, la viscosidad aparente con respecto la temperatura sigue el modelo de Arrhenius y con la concentración se ajusta a la ecuación de potencia.

[6] en su investigación: “Propiedades Reológicas de la Pulpa de Papaya (*Carica papaya*)” los autores realizaron ensayos en flujo estacionario por medio del Reómetro Avanzado Modular Haake Mars 60 a temperaturas de 5 a 80°C en un intervalo de velocidad de corte entre 0.001 – 200 S⁻¹.

El estudio concluyó que la pulpa de papaya tiene un comportamiento reológico de un fluido no Newtoniano pseudoplástico y el modelo que mejor se le ajusta es el de Carreau –Yasuda.

[7] en su investigación: “Propiedades Reológicas del Concentrado de Tomate”, usando un viscosímetro de Brookfield modelo LVDV-II los autores evaluaron las propiedades reológicas del concentrado de tomate (*Lycopersicum esculentum*) a diferentes temperaturas (20 a 60°C) y concentraciones (18 a 8.4%). El estudio concluyó en que los datos experimentales se ajustan mejor al modelo reológico de la ley de potencia, presentando un comportamiento pseudoplástico. La correlación entre el coeficiente de consistencia y la temperatura es descrita por

el modelo de Arrhenius, asimismo el coeficiente de consistencia aumentó exponencialmente con el aumento de la concentración y la energía de activación se encontró en el rango de 8,6 a 14,08 kJ/mol.K.

2.1.2. Antecedentes nacionales

[8] en su tesis de maestría: “Modelos reológicos asociados al néctar mix papaya – piña”. El autor, a partir de una muestra de néctar de 50% de zumo de papaya y 50% de zumo de piña, realizó corridas a unas temperaturas de 20 a 70°C con el fin de evaluar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad y encontrar una energía de activación promedio. También, realizó la evaluación de diez modelos reológicos, de los cuales el modelo de Herschel Bulkley fue el más adecuado para predecir el comportamiento reológico del néctar, el cual presenta características de un fluido plástico real.

[9] en la investigación: “Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona” los autores estudiaron las características biométricas y fisicoquímicas de la pulpa de cocona. Además del comportamiento reológico en el rango de temperatura de 30 a 60 °C y concentración de 10 a 25 °Brix por medio del viscosímetro rotacional de Brookfield. El estudio concluyó que la pulpa de cocona tiene un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico y que se ajusta a la ley de potencia, obtuvieron los parámetros reológicos de índice de consistencia de 48,63 a 111,14 Pa·sn, índice de flujo 0,271 a 0,353 y la energía de activación varió de 11,55 a 14,81 kJ/mol.

[10] en su investigación: “Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas” los autores realizaron el estudio de frutas como el aguaymanto, papaya de monte, tuna y tomate de árbol. Determinaron las características de las frutas, la composición proximal, contenido de minerales, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Se concluyó que el tomate de árbol destacó por el contenido alto de fibra cruda (4.5 g/100 g), alto contenido de proteína (1,9 g/100 g), contenido de carotenoides (4 mg -caroteno/100 g). También se reportaron valores de °Brix

(11.57 ±0.25), pH (3.77 ±0.2), humedad (82,9%), cenizas (1.0%), proteína cruda (1.9%), grasa cruda (1.0%), carbohidratos (14.1%).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tomate andino

El tomate andino es un arbusto con tallos semileñosos que alcanza de 2 a 3 m de altura, cuyo origen son los andes peruanos, aunque también puede encontrarse en Chile, Argentina, Ecuador, Bolivia, Brasil y Colombia dónde su producción es extensiva [1].

Taxonomía. Según la FAO (citado en [11]) la clasificación taxonómica del tomate de andino (*Solanum betaceum*), es:

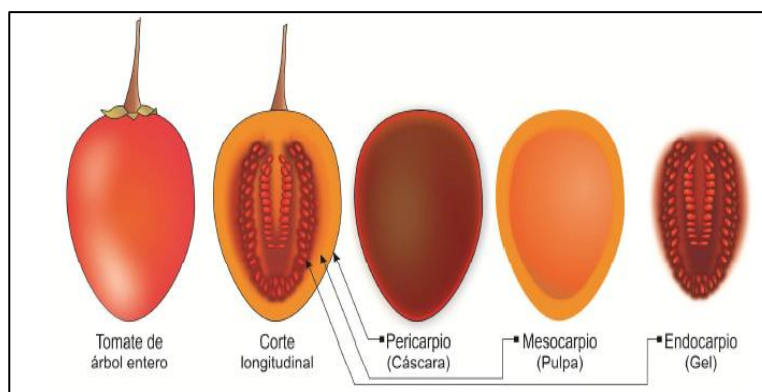
- Reino: Vegetal
- Subreino: Tracheobionta
- Subdivisión: Angiospermas
- Clase: Dicotiledóneas.
- Subclase: Metaclamideas.
- Orden: Tubifloras.
- Familia: Solanáceae.
- Género: Solanum.
- Especie: Solanum betaceum Cav.

Fruto. El fruto maduro es de color anaranjado a rojo oscuro, jugoso y de sabor agridulce. Está compuesto por tres capas: el pericarpio (o cáscara), el mesocarpio (pulpa) y endocarpio (gel) [11]. La figura 1 muestra las partes del fruto de tomate de andino.

Investigaciones han demostrado que el fruto de tomate andino tiene varios nutrientes, como fibra dietética, polifenoles, vitaminas C, A, B y E, carotenoides, potasio y hierro [12]. Todas estas características hacen del tomate andino un fruto con un gran potencial alimenticio.

Figura 1

Partes del fruto de tomate de andino (Solanum betaceum Cav)



Fuente: Revelo (2014)

Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino. Existen de dos a cuatro tipos de tomate andino según el color de su piel, entre estos podemos encontrar el color púrpura- rojo y amarillo [13]. A continuación, la tabla 1, presenta la caracterización fisicoquímica de las variedades amarilla y roja.

Tabla 1

Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino

Parámetros	Púrpura- rojo		Amarillo	
	Min	Max	Min	Max
pH	3.5	3.6	3.2	3.5
Solidos solubles (°Brix)	9.4	13.6	9.3	12.3
Acidez titulable (%)	0.76	1.71	1.48	4
Humedad (%)	87	92	86	88
Proteínas (%)	2.2	2.2	2.4	2.5
Grasa (%)	0.08	0.6	0.05	0.72
Ceniza (%)	0.69	1.26	0.7	0.82
Calcio (mg/kg)	73	260	104	250
Hierro (mg/kg)	3.5	9	2.2	6
Potasio (mg/kg)	2380	5240	3110	4400
Sodio (mg/kg)	2	89	0.6	49.6
Magnesio (mg/kg)	140	254	160	225

Fuente: Schotsmans y otros, 2011

2.2.2. Fundamentos de la reología

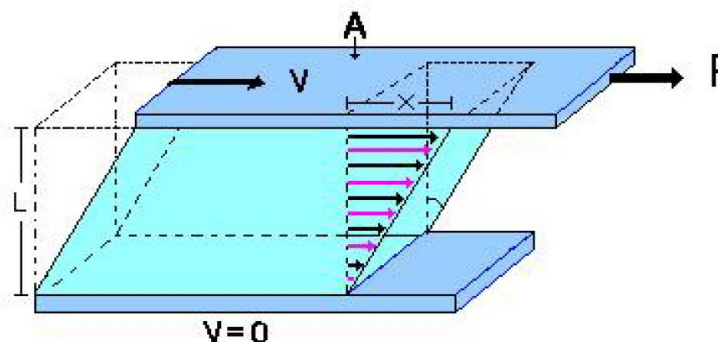
La reología ha sido propiamente definida como el estudio del flujo y la deformación de los materiales [14]. También se define como la ciencia que estudia el flujo y las deformaciones de sólidos y fluidos, bajo la influencia de fuerzas mecánicas [15].

La reología presenta principalmente dos aspectos; uno supone el desarrollo de ecuaciones entre esfuerzo y deformación para un material de interés, estas ecuaciones son llamadas ecuaciones reológicas de estado o ecuaciones constitutivas. El otro de los aspectos es el desarrollo de relaciones que muestran como el comportamiento reológico está influido por la estructura y composición del material, la temperatura y presión [2].

Flujo de corte. Debemos considerar el flujo entre placas paralelas. La fuerza motriz del fluido es impartida por la placa superior que se mueve a una velocidad constante y la placa inferior se mantiene fija y la presión es constante [16]. En la figura 2 se presenta el fluido en flujo cortante, donde: A es el área de la placa superior, x es el desplazamiento del material y L es el espaciamiento entre la placa superior y la inferior.

Figura 2

Diagrama de un fluido en flujo cortante simple



Fuente: Pérez Trejo et al. (2010)

El cociente entre la fuerza y la superficie de contacto con el líquido se define como esfuerzo de cizalla. Donde F es la fuerza por unidad de área necesaria para alcanzar una deformación [17].

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dónde: F es fuerza (N), τ es esfuerzo de cizalla (Pa) y A es superficie de contacto (m^2)

Para los fluidos existe una propiedad que representa la resistencia a fluir, que se denota como viscosidad y se define como la razón entre el esfuerzo de corte y la rapidez de deformación [18].

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

Dónde: η es viscosidad (Pa.s), τ es esfuerzo de cizalla (Pa) y $\dot{\gamma}$ es rapidez de deformación (s^{-1}).

Ley de la viscosidad de Newton. La Ley de Newton relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación. Según Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad (dv/dy) [3].

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (3)$$

Dónde: μ es viscosidad dinámica (Pa.s), τ es esfuerzo de cizalla (Pa) y $\frac{dv}{dy}$ es gradiente de velocidad (s^{-1})

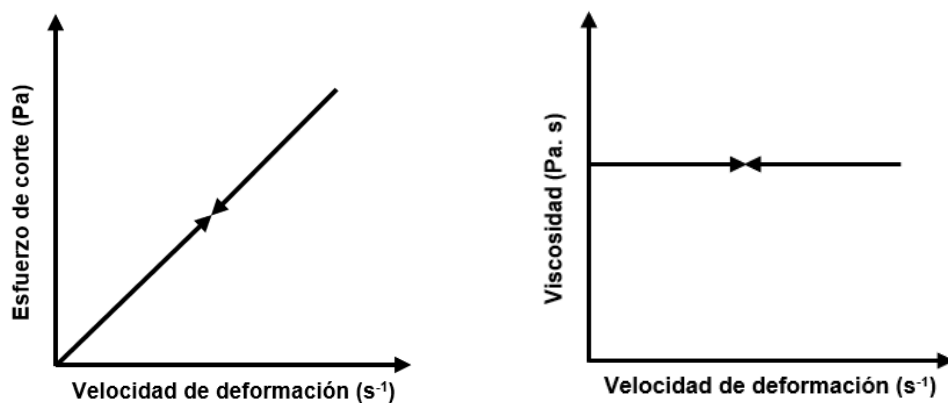
La velocidad de flujo del líquido, que se obtiene por medio del esfuerzo de cizalla efectivo, se determina a través de la resistencia del líquido al flujo, a través de la viscosidad μ . [17].

Fluidos newtonianos. En los fluidos newtonianos existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, como se muestra en la figura 3. Esto significa que la viscosidad μ es constante e independiente de la velocidad cortante [3]. Hay que tener en cuenta

también que la viscosidad de un fluido newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo, aunque sí puede depender tanto de la temperatura como de la presión a la que se encuentre [17].

Figura 3

Comportamiento de fluido newtoniano



Fuente: Ametek Brookfield (2017)

La viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido. Dicho concepto se introdujo anteriormente en la Ley de Newton, que relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación (gradiente de velocidad) [3].

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (4)$$

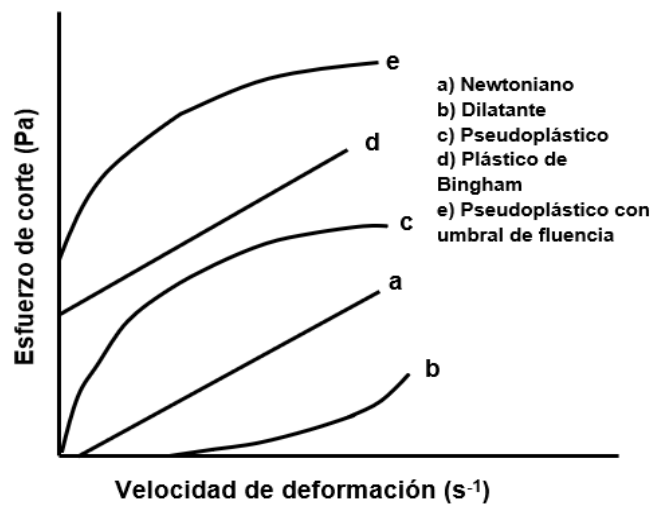
Dónde: μ es viscosidad dinámica (Pa.s), τ es el esfuerzo cortante (Pa), y $\dot{\gamma}$ es rapidez de deformación (s⁻¹). Para fluidos newtonianos μ es igual a η .

Fluidos no newtonianos. Los fluidos no newtonianos son aquellos que no cumplen la ley de Newton de la viscosidad, por lo tanto, la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación deja de ser lineal [17]. Ver figura 4.

Flujo independiente del tiempo. Estos fluidos se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, es decir si necesitan un mínimo valor de esfuerzo cortante para que el fluido se ponga en movimiento [3].

Figura 4

Curvas de flujo

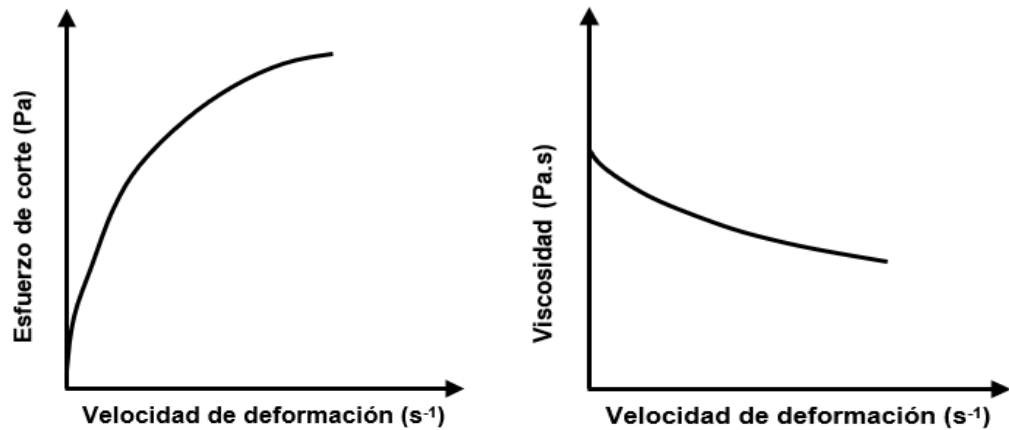


Fuente: Ibarz et al. (2005)

Fluido pseudoplástico. Un fluido pseudoplástico, o fluido “shear thinning” el coeficiente de viscosidad no es una constante en toda su extensión, pero es a su vez una función de la velocidad de deformación, toma un valor en cada instante, y esta cantidad es conocida como viscosidad aparente [15]. Ver figura 5.

Figura 5

Comportamiento de fluido pseudoplástico



Fuente: Ametek Brookfield (2017)

Los fluidos pseudoplásticos se caracterizan porque su viscosidad aparente decrece cuando aumenta el gradiente de velocidad de deformación. Este comportamiento indica una ruptura o reorganización continua de la estructura, dando como resultado una menor resistencia al flujo (o sea la viscosidad) y es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular, así como a la dispersión de sólidos en la fase sólida [17].

Fluido dilatante. La curva del fluido pasa por el origen, tendiendo a una línea recta cerca del origen, pero en contraste, posee una curvatura cóncava hacia el eje de esfuerzos cortantes a medida que aumenta la velocidad de deformación. Dichos materiales se denominan dilatantes, o “shear thickening”, y generalmente están limitados a suspensiones concentradas o pastas acuosas [15].

Los fluidos dilatantes son suspensiones en las que se produce un aumento de la viscosidad con la velocidad de deformación, es decir un aumento del esfuerzo cortante con dicha velocidad [3].

Fluido plástico. Este fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo de cizalla mínimo llamado umbral de fluencia y a partir de dicho valor se comporta como un líquido [17].

Los fluidos plásticos, a su vez, se diferencian en la existencia de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, a partir de su esfuerzo umbral. Si existe proporcionalidad, se denominan fluidos plásticos de Bingham y si no la hay, se denominan solo plásticos [3].

Flujo dependiente del tiempo. Para estos materiales al aumentar el tiempo de flujo bajo condiciones constantes, pueden desarrollar un aumento o disminución de la viscosidad. Estos efectos se denominan reopexia y tixotropía, y en ambos son atribuidos al cambio continuo de la estructura del material, que puede ser en cualquier caso reversible o irreversible [15].

Fluido tixotrópico. Los fluidos tixotrópicos sufren un cambio en su estructura interna, al aplicar un esfuerzo de corte hay una disminución de la viscosidad con el tiempo, y una posterior regeneración estructural durante un periodo de reposo posterior [19].

La viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar dicha fuerza debido a la reconstrucción de sus estructuras y al retraso que se produce para adaptarse al cambio [3].

Fluido reopéctico. Se caracterizan porque su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada. La fuerza produce una formación de enlaces intermoleculares conllevando un aumento de la viscosidad, mientras que si cesa ésta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad [3].

Existe un aumento de la viscosidad y de la resistencia estructural que dependen del tiempo, seguido de una disminución de la resistencia cuando cambia al estado de reposo [19].

Fluido viscoelástico. Estos fluidos son semilíquidos presentan conjuntamente propiedades de flujo viscoso y sólido elástico [15], estas propiedades pueden ser debido a la existencia de moléculas largas y flexibles en los líquidos o la presencia de partículas líquidas o sólidos dispersos. La ecuación se basada en el modelo de Maxwell y describe el comportamiento viscoelástico [3].

Factores que afectan la viscosidad. La viscosidad puede verse afectada por la naturaleza de la sustancia, temperatura, presión, velocidad de cizalla, tiempo de cizalla, además de campos eléctricos o magnéticos [20]. Así, los parámetros que más influyen en el comportamiento reológico de los alimentos son la temperatura y la concentración de sólidos [17].

Efecto de la temperatura. Para los fluidos newtonianos, la expresión que relaciona la viscosidad con la temperatura es una ecuación de tipo Arrhenius. Por otro lado, para fluidos no newtonianos suele relacionarse la viscosidad aparente a una velocidad de deformación fijada [15].

$$\eta = \eta_{\infty} \text{Exp} \left(\frac{E_a}{RT} \right) \quad (5)$$

Dónde: η es la viscosidad aparente (Pa.s), E_a es energía de activación al flujo $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{mol}} \right)$, η_{∞} es una constante denominada viscosidad de deformación infinita (Pa.s), R es la constante de los gases $\left(8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}} \right)$ y T la temperatura (K).

La temperatura puede afectar a los diferentes parámetros reológicos, como son viscosidad, índice de consistencia, índice de comportamiento de flujo y umbral de fluencia [15]. La ecuación de Arrhenius también es usada para describir la influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia K , como se muestra en la ecuación 6 [5].

$$K = K_0 \text{Exp} \left(\frac{E_a}{RT} \right) \quad (6)$$

Donde: K_0 es factor pre-exponencial.

El índice de consistencia es un indicador de la naturaleza viscosa, se puede utilizar para describir la variación de la viscosidad con la temperatura mediante la ecuación de Arrhenius. Generalmente la viscosidad de los líquidos disminuye a medida que aumenta la temperatura [21].

Efecto de la concentración. Para productos alimentarios que están compuestos por partículas de sólidos dispersas en una fase acuosa, su comportamiento reológico se ve influenciado por la concentración, composición química, tamaño, forma y disposición de las partículas que componen la fase dispersa [17].

Se han descrito dos correlaciones para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad o índice de consistencia, según los modelos potencial y exponencial [21], correspondientes a la ecuación 7 y 8.

$$K = k_1(C)^{a_1} \quad (7)$$

$$K = k_2 \text{Exp}(a_2 C) \quad (8)$$

Dónde: k_1 , k_2 , a_1 y a_2 son constantes, C es el contenido en sólidos (°Brix).

Comportamientos reológicos. El comportamiento reológico de un fluido puede describirse usando ecuaciones simples que relacionan la viscosidad y la velocidad de corte a través de un número mínimo de parámetros [14]. En la tabla 2 se presentan los principales modelos reológicos y sus ecuaciones.

Para fluidos alimentarios un modelo que represente la conducta de un sistema es necesaria para el diseño de sistemas de bombeo, tuberías, etc., y se requiere una ecuación que exprese la relación entre viscosidad y la velocidad de corte en cualquier punto [17].

Modelo de Ostwald-de Waele o Ley de la Potencia. Donde m se denomina como coeficiente de consistencia y n se conoce como índice de comportamiento de flujo [3]. Para $n=1$ la ecuación se transforma en la Ley de Newton, siendo $m = \mu$. Si $n < 1$, el fluido es pseudoplástico y si $n > 1$, es un fluido dilatante [17].

$$\tau = m \left(\frac{dv}{dx} \right)^n \quad (9)$$

Donde: τ es esfuerzo de corte (Pa) y $\frac{dv}{dx}$ es gradiente de velocidad (s^{-1}), m es coeficiente de consistencia, n es el índice de comportamiento de flujo.

Modelo de Bingham. Este modelo consta de dos parámetros, permanece rígida mientras que el esfuerzo cortante es menor que el valor de τ_0 y por encima de este se comporta como un fluido newtoniano [22].

$$\tau = \mu_0 \frac{dv}{dx} + \tau_0 \quad (10)$$

Donde: μ_0 es la viscosidad plástica (Pa.s), $\frac{dv}{dx}$ es la gradiente de velocidad (s^{-1}), τ_0 es el esfuerzo umbral (Pa).

El modelo describe el comportamiento de alimentos como pasta de tomate, mermeladas, leche condensada y otras suspensiones [17].

Modelo de Herschel Bulkley. Describe a fluidos plásticos que para valores del esfuerzo superiores al del umbral de fluencia, fluyen con carácter no newtoniano [17].

$$\tau = m \left(\frac{dv}{dx} \right)^n + \tau_0 \quad (11)$$

Dónde: m es el coeficiente de consistencia, n el índice de comportamiento de flujo y τ es esfuerzo de corte [3].

El modelo de Herschel Bulkley es utilizado para describir el flujo de dispersiones de proteínas y soluciones de gomas. También de alimentos como mermeladas, confituras, purés y concentrados de zumos de frutas con alto contenido en sólidos solubles [17].

Modelo de Casson. Es un modelo de dos parámetros semiempíricos, utilizado fundamentalmente en suspensiones de partículas que interaccionan en un medio newtoniano [17]. Este modelo es utilizado para describir las propiedades del chocolate fundido [3].

$$\tau^{1/2} = m \left(\frac{dv}{dx} \right)^{1/2} + \tau_0^{1/2} \quad (12)$$

Dónde: τ es esfuerzo de corte, m es el coeficiente de consistencia y τ_0 el umbral de fluencia.

La curva de esfuerzo cortante contra velocidad de corte puede transformarse en una línea recta elaborando una gráfica de la raíz cuadrada del esfuerzo cortante contra la raíz cuadrada de la velocidad de corte [17]. Además, cuando la velocidad de cizalla es elevada puede ser reducida a una versión newtoniana [14].

Tabla 2

Modelos reológicos

Modelo reológico	Ecuación	Parámetros
Newton	$\tau = \mu(\gamma)$	
Ostwald-De-Waele	$\tau = K(\gamma)^n$	$K(Pa \cdot s), n$
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K(\gamma)^n$	$\tau_0(Pa), K(Pa \cdot s), n$
Bingham	$\tau = \tau_0 + K\gamma$	$\tau_0(Pa), K(Pa \cdot s)$
Casson	$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + K(\gamma)^{0.5}$	$\tau_0(Pa), K(Pa \cdot s)$

Fuente: Vandresen y otros, 2009

Equipos para determinar la viscosidad de fluidos. El comportamiento reológico de un alimento puede ser determinado, definido, cuantificado y relacionando con variables tales como: viscosidad, esfuerzo cortante, tasa de cizalladura, temperatura, tiempo y en algunos casos, concentración. Como se muestra en la figura 6.

A nivel experimental los métodos más comunes y utilizados en la industria agroalimentaria son los métodos rotacionales y los métodos de flujo [23].

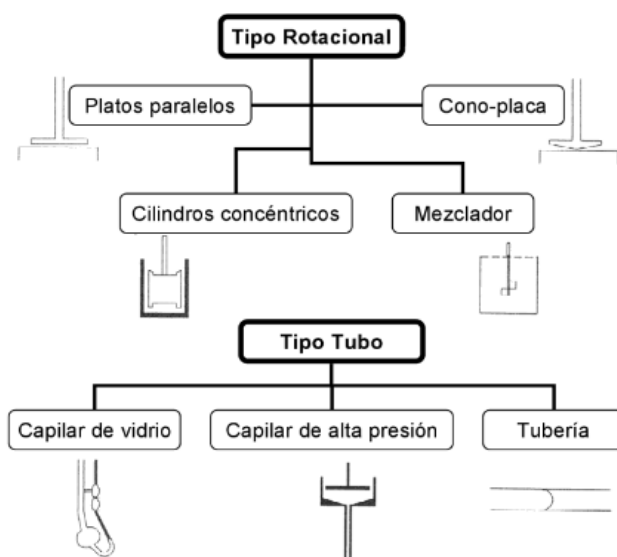
Métodos rotacionales. Los dispositivos más empleados para producir efectos rotacionales son los viscosímetros rotacionales y los reómetros. Reómetros rotacionales. Se basan en el análisis del flujo constante en el espacio anular entre un cilindro macizo interior y un cilindro hueco exterior. El equipo es capaz de controlar la tensión cortante aplicada y también la deformación por cizallamiento de los fluidos [20].

Métodos de flujo. Este método es conocido también como el método de viscosimetría tubular y se basa en el hecho de aplicar un diferencial de presión para crear un flujo. Este procedimiento permite estimar la viscosidad de un fluido mediante las medidas de caída de presión cuando el fluido fluye a un flujo de masa volumétrico conocido [23].

Los instrumentos que utilizan este método pueden ser clasificados en viscosímetros de capilar de vidrio, capilar de alta presión y viscosímetros de tubería [24].

Figura 6

Equipos para determinar la viscosidad de fluidos



Fuente: Quintáns Riveiro, 2009

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Pulpa de tomate andino

La pulpa de tomate andino está compuesta por una fracción carnosa, rica en agua con estructura firme y de color naranja. Su procesamiento se realiza quitando la capa de piel y semillas debido a la naturaleza amarga de estos componentes.

La pulpa de tomate andino se caracteriza por ser bajo en grasas y carbohidratos, tener pH ácido y minerales esenciales como calcio, hierro, potasio, sodio y magnesio.

2.3.2. Comportamiento reológico en la industria de alimentos

El comportamiento reológico es útil en la industria alimentaria para el diseño de plantas, en el cálculo de requerimientos de bombeo; para establecer las dimensiones de tuberías y válvulas; para realizar mezclas, en el cálculo de operaciones con transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento.

El modelo de Herschel Bulkley es utilizado para describir comportamiento de alimentos con alto contenido de sólidos solubles, como mermeladas, confituras, purés y concentrados de zumos de frutas. Este modelo incorpora la tensión umbral de fluencia y el índice potencial n . Los flujos pseudoplásticos ($n < 1$) se caracterizan porque su viscosidad aparente decrece cuando aumenta el gradiente de velocidad de deformación.

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 fluidos no newtonianos se relaciona la viscosidad aparente a una velocidad de deformación fijada mediante la relación de Arrhenius, para estos fluidos se suele utilizar el índice de consistencia en lugar de la viscosidad aparente.

La viscosidad e índice de consistencia disminuyen cuando aumenta la temperatura. Además, el índice de comportamiento al flujo no suele verse afectado por la variación de temperatura, sin embargo, en algunos casos puede aumentar con un aumento de la temperatura.

En procesos alimentarios el efecto de la concentración es el de aumentar la viscosidad o índice de consistencia. Para encontrar a relación del efecto de la concentración en la viscosidad se utilizan las ecuaciones potencial y exponencial.

2.4. Definición de términos básicos

Esfuerzo cortante: Se define como la fuerza por unidad de área necesaria para alcanzar una deformación determinada. Los esfuerzos pueden ser normales y tangenciales, existen nueve componentes que juntos forman el tensor de esfuerzo [15].

Velocidad de corte: Cuando un esfuerzo se aplica a un fluido, el fluido se deforma a una tasa constante que se conoce como velocidad de cizalladura, esta velocidad es igual al valor de la gradiente de velocidad de las moléculas y partículas en cualquier punto de interés del fluido [25].

Viscosidad: La viscosidad es una propiedad de transporte que cuantifica la conductividad de cantidad de movimiento a través de un medio conductivo o fluido. También se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido [3].

Viscosidad aparente: Denominada η , se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, se utiliza para fluidos no newtonianos que tienen un comportamiento no lineal [3].

Viscosidad dinámica o absoluta: Denominada μ , sus unidades son (mPa·s) y se define como la pendiente en cada punto de la curva de esfuerzo cortante frente a velocidad de deformación [17].

Reometría: Ciencia que describe los métodos de medida para la recolección de datos reológicos [3].

Reómetro: Instrumento que mide tanto el esfuerzo y la deformación de un material, el cual no se conoce su relación constitutiva [3].

Reograma: Son gráficos del esfuerzo cortante contra velocidad de cizalladura, de la viscosidad aparente contra la velocidad de cizalladura, del esfuerzo cortante contra el tiempo, o de la viscosidad aparente contra el esfuerzo cortante [20].

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general y específicas

Hipótesis general

El comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino (*Solanum betaceum*) en flujo de corte, será como un fluido no newtoniano pseudoplástico.

Hipótesis específicas

- Las características fisicoquímicas de la pulpa del tomate andino son pH, %humedad, sólidos solubles (°Brix), %acidez titulable, %ceniza, %grasa, %proteína, %carbohidratos, minerales.
- La temperatura influye en la viscosidad.
- La concentración influye en la viscosidad

3.1.1. Operacionalización de variable

Tabla 3

Matriz de operacionalización de variable

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO	TÉCNICA		
Comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino en fujo de corte.	Relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación [26].	Ajuste de datos al modelo reológico que relaciona esfuerzo y velocidad de corte de la pulpa de tomate andino	Modelos no Newtonianos	Modelo reológico: pseudoplástico	Reología	Reometría		
				$\tau = m \left(\frac{dv}{dx}\right)^n$				
				pH			NOM-F-317-S-1978	Electrometría
				Humedad			AOAC 934.06-1934(1996), NTP 203.072:1977 (revisada el 2017)	Gravimetría
				Sólidos solubles			NTP 203.070:1977 (revisada el 2017)	Refractometría
Pulpa de tomate andino	Fracción carnosa, rica en agua con estructura firme y de color amarillo a naranja [11].	Características de la pulpa de tomate andino.	Características fisicoquímicas	Acidez titulable	Cálculo matemático	Volumetría		
				Ceniza			AOAC 940.26-194	Gravimetría
				Grasa			AOAC 930.09-1930,	Gravimetría
				Proteínas			AOAC 920.152	Volumetría
				Carbohidratos				% carbohidratos = (100 - ((% humedad) + (% ceniza) + (% proteína) + (% grasa)))
Concentración de la pulpa de tomate andino	Cantidad de soluto en un cantidad específica de disolvente [27].	Cantidad de sólidos solubles en una solución de pulpa de tomate, medidos en °Brix.	Concentración	Minerales	AOAC 2015.01 (Heavy Metals in Food)	Instrumental		
				3°Brix 5°Brix 9°Brix	Ensayos experimentales	Refractometría		
Temperatura de la pulpa de tomate andino.	Medida del estado térmico de un cuerpo [27].	Temperatura de trabajo en la medición de viscosidad.	temperatura	15 °C 30 °C 45 °C 60 °C	Ensayos experimentales	Instrumental		

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

La presente investigación es de tipo aplicada por que busca confrontar la teoría con la realidad [28]. Tiene un enfoque cuantitativo ya que busca consolidar hipótesis y establecer patrones sobre un fenómeno, es decir está orientada a la realidad objetiva [29]. Por su diseño es experimental, ya que se realiza la manipulación de variables no comprobadas y su posterior observación bajo condiciones controladas [29]. Ver tabla 4 y 5.

Tabla 4

Factores y niveles de investigación

Factores	Unidades	Notación	Niveles			
Temperatura	°C	X ₁	15	30	45	60
Concentración	°Brix	X ₂	3	5	9	

El diseño es factorial completa de dos factores y 4 niveles para el factor temperatura y 3 niveles para el factor concentración, haciendo un total de 12 corridas para el experimento básico. Se realizaron 3 repeticiones. Ver Tabla 5.

Tabla 5

Matriz de experimentación

N° experiencia	Sólidos solubles (°Brix)	Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa.s)
1	3	15	Y ₁
2	3	30	Y ₂
3	3	45	Y ₃
4	3	60	Y ₄
5	5	15	Y ₅
6	5	30	Y ₆
7	5	45	Y ₇
8	5	60	Y ₈
9	9	15	Y ₉
10	9	30	Y ₁₀
11	9	45	Y ₁₁
12	9	60	Y ₁₂

4.2. Método de investigación

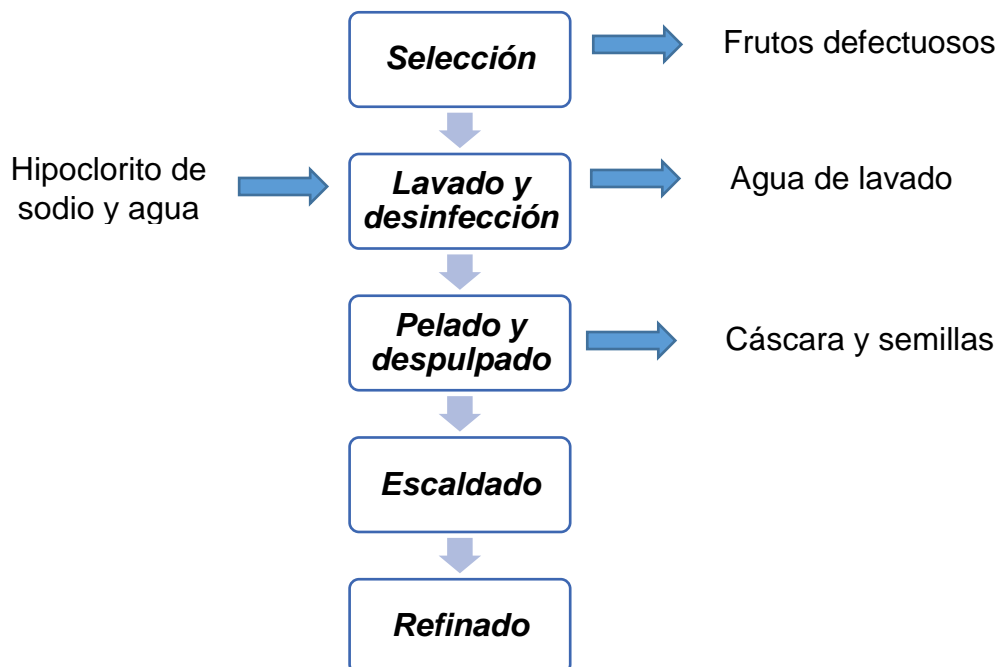
4.2.1. Etapas de la investigación

El desarrollo de la investigación se dio en 5 etapas:

Etapa 1: Obtención de la pulpa de tomate andino. Se acondicionó la materia prima para obtener la pulpa de tomate andino que sirvió de base para la preparación de las diluciones de pulpa en agua, ver figura 7

Figura 7

Obtención de la pulpa de tomate andino



Las operaciones utilizadas para la obtención de la pulpa fueron:

Selección. Se realizó la selección del fruto teniendo en cuenta su forma sean simétrica, su estado de madurez, para ello escogieron los frutos de color naranja a rojo, según se observa en la figura 8, separando aquellos que presentaban defectos visibles.

Figura 8

Selección del fruto de tomate andino



Lavado y desinfección. Se eliminaron residuos presentes en el fruto (tierra, barro, ceras) mediante agua potable a baja presión. Para la desinfección se sumergen los frutos en una solución de 50 ppm de hipoclorito de sodio durante un tiempo de 2 minutos [30]. Ver figura 9.

Figura 9

Desinfección del fruto de tomate andino



Pelado y despulpado. Se retiró la cáscara y semillas, reservando únicamente la pulpa según se muestra en la figura 10.

Figura 10

Fruto sin cáscara



Escaldado. se sumergen los frutos en un recipiente que contiene agua a una temperatura entre 75 y 85°C durante 15 minutos, con la finalidad de ablandar la corteza de la fruta, acentuar el color, facilitar el pelado y disminuir la carga microbiana [31].

Refinado. Se trituroó la pulpa en un procesador de alimentos y se pasó por un tamiz de malla 0.4 mm. Ver figura 11.

Figura 11

Pulpa refinada de tomate andino



Etapa 2: Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino.

La caracterización fisicoquímica fue realizada por un laboratorio externo, los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Determinación de pH
- Determinación del porcentaje de humedad
- Determinación de sólidos solubles (°Brix)
- Determinación de acidez titulable expresado en porcentaje de ácido cítrico
- Determinación del porcentaje de cenizas
- Determinación del porcentaje de grasa
- Determinación del porcentaje de proteínas
- Determinación del porcentaje de carbohidratos.

Etapa 3: Preparación de las diluciones. Se prepararon diluciones de pulpa en agua a 3, 5 y 9°Brix.

Etapa 4: Análisis reológico. Las lecturas experimentales se realizaron utilizando el reómetro modelo RheolabQC para realizar las mediciones del esfuerzo cortante, la velocidad de deformación y viscosidad a concentraciones de 3, 5 y 9°Brix y temperaturas 15, 30, 45 y 60 °C.

Etapa 5: Determinación del comportamiento reológico. Mediante los datos experimentales obtenidos se realizó un análisis de regresión de ecuaciones no lineales para determinar el modelo reológico que mejor describe el comportamiento de la pulpa de tomate andino.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

No aplica

4.3.2. Muestra

Se tomarán 100 mililitros de pulpa de tomate (*Solanum betaceum*), por cada lectura.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El lugar de estudio para el presente trabajo de investigación fue el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química para la preparación de la pulpa, diluciones y análisis reológico.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas

La investigación se realizó en 5 etapas

Etapla 1: Obtención de la pulpa de tomate andino. Se realizó utilizando el análisis visual para seleccionar aquellos que tenían color naranja, rojo y sin defectos, la limpieza consistió en una desinfección con hipoclorito según la guía [30], seguido de un Escaldado a 75°C. La reducción del tamaño se realizó mediante la molienda hasta un tamiz de malla 0.4 mm.

Etapla 2: Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino.

La caracterización fisicoquímica fue realizada por un laboratorio externo, los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Determinación de pH: NOM-F-317-S-1978 (Electrometría).
- Determinación del porcentaje de humedad: AOAC 934.06-1934(1996) (Gravimetría)
- Determinación de sólidos solubles (°Brix): NTP 203.072:1977 (revisada el 2017) (Refractometría)
- Determinación de acidez titulable expresado en porcentaje de ácido cítrico: NTP 203.070:1977 (revisada el 2017) (Volumetría)
- Determinación del porcentaje de cenizas: AOAC 940.26-1940 (Gravimetría)
- Determinación del porcentaje de grasa: AOAC 930.09-1930 (Gravimetría)

- Determinación del porcentaje de proteínas: AOAC 920.152 (Volumetría)
- Determinación del porcentaje de carbohidratos: Cálculo matemático

Etapa 3: Preparación de las diluciones. Refractometría para medir °Brix.

Etapa 4: Análisis reológico. Toma de datos a partir de la observación utilizando un reómetro.

Etapa 5: determinación del comportamiento reológico. Software Rheoplus.

4.5.2. Materiales y equipos

Materiales

- Probetas de 100 y 250 ml
- Varillas de vidrio
- Vasos de precipitado de 500 ml

Equipos

- Balanza analítica (Sartorius 0.1 mg)
- Refractómetro digital de mesa (ATAGO PR-201)
- Reómetro (Marca Antón Paar, Modelo RheoLab QC)
- Procesador de alimentos

Descripción del reómetro. El RheolabQC de la marca Anton Paar es un reómetro rotacional que trabaja bajo el principio de “Searle”, el cual consiste en un motor que mueve el elemento sumergible dentro de la copa fija [32]. Ver figura 12.

El reómetro se conectó a una computadora vía interfaz LAN-Ethernet, con la cual se tomaron los datos experimentales y para la regular la temperatura se utilizó un baño termostático de recirculación Julabo F12-ED. como se muestra en la figura 13.

Figura 12

Reómetro Antón Paar, Modelo RheoLab QC



Figura 13

Reómetro conectado a la computadora y baño termostático



El equipo consta de un cabezal del reómetro dotado de una pantalla y teclado de operación manual. Además de una celda de medición conectada a una manguera de recirculación. La celda va acoplada a un sistema de medición que consta de un cilindro y copa de medición hechos de acero, los cuales se elegirán de acuerdo al rango de viscosidad de trabajo. Para nuestras pruebas experimentales se utilizó el sistema B-CC27 y C-CC27/SS/QC-LTD, como se muestra en la figura 14 y 15 respectivamente.

Figura 14

Cilindro de medición B-CC27



Figura 15

Copa de medición C-CC27/SS/QC-LTD



4.6. Análisis y procesamiento de datos

El análisis y procedimientos de datos serán de acuerdo a la información obtenida de las lecturas en el reómetro, a partir de los valores del esfuerzo de corte, velocidad de deformación y viscosidad. Por lo general los modelos reológicos son ajustados a ecuaciones no lineales, para ello usaremos el software Polymath Educational 6.1 y para el análisis estadístico el software Minitab 18.

4.7. Aspectos éticos en investigación

Las autoras de la investigación se responsabilizan por la información emitida en la presente tesis. Siendo esta original, sin alteración de protocolos, métodos y los resultados obtenidos.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

La tabla 6 muestra los resultados de las características fisicoquímicas de la pulpa de tomate andino.

Tabla 6

Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tomate andino

Parámetros	Resultados
pH	3.6
Sólidos solubles (°Brix)	9.0
Acidez titulable (% ácido cítrico)	1.959
Humedad (%)	89.97
Proteínas (%)	2.21
Grasa (%)	0.77
Ceniza (%)	0.79
Carbohidratos (%)	6.26
Calcio (mg/kg)	245.34
Hierro (mg/kg)	4.48
Potasio (mg/kg)	4912.04
Sodio (mg/kg)	16.94
Zinc (mg/kg)	1.23

En la tabla 7,8 y 9 se presentan los valores de esfuerzo de corte para la pulpa de tomate andino a temperaturas de 15, 30, 45 y 60°C y concentraciones de 3, 5, 9 °Brix, que fueron obtenidos de los promedios de tres replicas realizadas, donde $p < 0.05$. Todas las mediciones se midieron en un rango de velocidad de 10 a 100 s⁻¹.

Tabla 7*Datos experimentales a 3° Brix*

$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C
	τ [Pa]					τ [Pa]					τ [Pa]			
10	1.44	1.16	0.96	1.13	40	2.58	2.41	2.02	1.92	71	3.47	3.29	3.01	2.65
11	1.68	1.37	0.89	1.11	41	2.68	2.32	2.08	1.94	72	3.47	3.35	2.98	2.73
12	1.64	1.41	1.05	1.09	42	2.56	2.39	2.23	1.88	73	3.53	3.36	2.97	2.68
13	1.74	1.39	1.13	1.11	43	2.64	2.46	2.18	1.93	74	3.55	3.39	3.04	2.78
14	1.91	1.42	1.10	1.09	44	2.75	2.48	2.14	1.96	75	3.60	3.39	3.04	2.76
15	1.82	1.45	1.11	1.19	45	2.69	2.50	2.28	1.99	76	3.59	3.40	3.03	2.80
16	1.72	1.50	1.30	1.26	46	2.79	2.50	2.27	2.03	77	3.64	3.43	3.08	2.85
17	1.67	1.63	1.40	1.22	47	2.79	2.62	2.32	2.00	78	3.73	3.48	3.12	2.87
18	1.90	1.66	1.28	1.32	48	2.83	2.61	2.36	2.13	79	3.72	3.46	3.10	2.84
19	1.78	1.80	1.48	1.30	49	2.86	2.67	2.37	2.06	80	3.78	3.56	3.14	2.89
20	1.96	1.72	1.37	1.29	50	2.96	2.62	2.39	2.12	81	3.78	3.61	3.17	2.93
21	1.98	1.63	1.51	1.30	51	2.94	2.67	2.43	2.16	82	3.80	3.55	3.23	2.93
22	2.00	1.68	1.55	1.48	52	2.94	2.77	2.49	2.15	83	3.86	3.71	3.25	2.96
23	1.97	1.82	1.59	1.45	53	3.00	2.78	2.42	2.24	84	3.86	3.69	3.26	2.95
24	2.08	1.84	1.55	1.41	54	3.04	2.76	2.51	2.30	85	3.93	3.74	3.28	3.05
25	2.11	1.84	1.59	1.46	55	3.04	2.85	2.59	2.23	86	3.98	3.68	3.26	3.03
26	2.08	1.92	1.63	1.47	56	3.13	2.86	2.52	2.29	87	4.01	3.68	3.27	3.08
27	2.16	1.87	1.70	1.53	57	3.18	2.83	2.57	2.36	88	4.02	3.69	3.29	3.15
28	2.19	1.90	1.69	1.59	58	3.19	2.88	2.60	2.40	89	4.01	3.75	3.31	3.06
29	2.17	2.00	1.80	1.56	59	3.12	2.98	2.67	2.30	90	4.05	3.80	3.38	3.07
30	2.31	1.97	1.77	1.63	60	3.23	2.99	2.63	2.42	91	4.06	3.88	3.41	3.03
31	2.30	2.04	1.80	1.68	61	3.28	2.99	2.65	2.44	92	4.12	3.90	3.41	3.15
32	2.28	2.10	1.89	1.61	62	3.28	2.99	2.71	2.40	93	4.16	3.82	3.37	3.18
33	2.37	2.08	1.80	1.73	63	3.30	3.10	2.74	2.46	94	4.17	3.87	3.38	3.21
34	2.34	2.16	1.90	1.64	64	3.27	3.10	2.77	2.47	95	4.19	3.87	3.48	3.20
35	2.35	2.10	1.96	1.72	65	3.30	3.10	2.76	2.54	96	4.12	3.98	3.51	3.17
36	2.40	2.19	1.99	1.81	66	3.37	3.13	2.75	2.55	97	4.24	3.91	3.51	3.28
37	2.57	2.21	1.96	1.86	67	3.40	3.10	2.82	2.59	98	4.27	3.95	3.48	3.29
38	2.56	2.27	1.98	1.85	68	3.49	3.13	2.88	2.59	99	4.30	3.99	3.51	3.29
39	2.62	2.28	1.98	1.89	69	3.53	3.21	2.88	2.67	100	4.19	4.06	3.57	3.24
40	2.58	2.41	2.02	1.92	70	3.44	3.24	2.91	2.61					

Tabla 8*Datos experimentales a 5° Brix*

$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C
	τ [Pa]					τ [Pa]					τ [Pa]			
10	7.82	7.60	7.37	7.80	40	13.10	12.70	11.80	11.10	71	16.50	15.90	15.00	14.10
11	7.89	8.11	7.54	7.87	41	13.20	12.70	11.90	11.30	72	16.70	16.00	15.10	14.30
12	8.08	8.36	7.79	7.92	42	13.30	12.90	12.00	11.30	73	16.70	16.10	15.20	14.30
13	8.38	8.52	7.88	8.09	43	13.50	13.00	12.10	11.40	74	16.80	16.20	15.30	14.40
14	8.61	8.76	8.06	8.18	44	13.60	13.10	12.20	11.50	75	16.90	16.30	15.50	14.50
15	8.78	8.79	8.23	8.38	45	13.80	13.30	12.30	11.60	76	16.90	16.40	15.50	14.80
16	9.09	8.91	8.36	8.48	46	13.80	13.40	12.50	11.70	77	17.10	16.50	15.60	14.80
17	9.24	9.15	8.48	8.48	47	14.00	13.50	12.60	11.90	78	17.10	16.60	15.70	14.90
18	9.39	9.43	8.74	8.57	48	14.10	13.60	12.70	12.00	79	17.30	16.60	15.80	14.90
19	9.58	9.46	8.84	8.71	49	14.20	13.70	12.80	12.00	80	17.50	16.70	15.80	15.00
20	9.76	9.73	8.98	8.78	50	14.40	13.90	12.90	12.10	81	17.40	16.80	16.00	15.20
21	10.00	9.85	9.07	8.93	51	14.50	13.90	13.00	12.30	82	17.60	16.90	16.10	15.20
22	10.20	9.96	9.30	9.12	52	14.60	14.10	13.20	12.40	83	17.70	17.00	16.20	15.30
23	10.30	10.10	9.48	9.19	53	14.70	14.30	13.20	12.40	84	17.80	17.10	16.20	15.50
24	10.50	10.30	9.55	9.20	54	14.80	14.30	13.30	12.60	85	17.90	17.20	16.30	15.60
25	10.60	10.50	9.74	9.32	55	14.90	14.40	13.60	12.70	86	18.10	17.30	16.40	15.60
26	10.80	10.60	9.91	9.41	56	15.00	14.50	13.60	12.80	87	18.00	17.40	16.50	15.70
27	11.00	10.70	9.96	9.66	57	15.10	14.70	13.70	12.90	88	18.10	17.50	16.70	15.80
28	11.20	10.90	10.20	9.65	58	15.30	14.70	13.80	13.00	89	18.20	17.60	16.70	15.80
29	11.30	11.00	10.30	9.74	59	15.30	14.80	14.00	13.10	90	18.30	17.60	16.80	15.90
30	11.40	11.20	10.40	9.84	60	15.40	15.00	14.00	13.10	91	18.40	17.70	16.80	16.00
31	11.50	11.30	10.60	10.00	61	15.70	15.10	14.10	13.30	92	18.50	17.80	16.90	16.10
32	11.70	11.40	10.60	11.70	62	15.70	15.10	14.20	13.40	93	18.60	17.90	17.00	16.20
33	11.90	11.60	10.80	11.90	63	15.80	15.20	14.30	13.50	94	18.70	18.00	17.20	16.20
34	12.00	11.70	10.90	12.00	64	15.90	15.30	14.40	13.60	95	18.80	18.00	17.20	16.30
35	12.20	11.80	10.90	12.20	65	16.00	15.40	14.60	13.70	96	18.80	18.10	17.30	16.40
36	12.30	11.90	11.20	12.30	66	16.20	15.50	14.60	13.80	97	19.10	18.20	17.40	16.50
37	12.40	12.10	11.30	12.40	67	16.20	15.70	14.70	13.90	98	19.00	18.40	17.50	16.50
38	12.50	12.30	11.50	12.50	68	16.40	15.70	14.80	14.00	99	19.10	18.30	17.60	16.70
39	12.80	12.50	11.50	12.80	69	16.50	15.80	14.90	14.10	100	19.20	18.40	17.70	16.80
40	12.90	12.50	11.70	12.90	70	13.10	12.70	11.80	11.10					

Tabla 9*Datos experimentales a 9° Brix*

$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C
	τ [Pa]					τ [Pa]					τ [Pa]			
10	40.30	35.90	36.20	35.30	40	58.30	54.90	51.30	49.60	71	67.40	65.00	60.40	58.70
11	41.00	36.90	36.60	36.00	41	58.70	55.30	51.70	49.90	72	67.70	65.20	60.70	59.00
12	41.90	38.10	37.20	36.40	42	59.10	55.70	52.00	50.30	73	67.90	65.50	61.00	59.20
13	42.70	39.00	37.70	36.90	43	59.40	56.10	52.30	50.80	74	68.20	65.70	61.20	59.40
14	43.50	39.80	38.20	37.50	44	59.80	56.60	52.60	50.90	75	68.40	66.10	61.40	59.70
15	44.40	40.50	38.90	37.90	45	60.10	56.90	53.00	51.40	76	68.80	66.20	61.80	59.90
16	45.20	41.20	39.50	38.40	46	60.50	57.30	53.50	51.70	77	69.00	66.60	62.00	60.10
17	45.80	42.10	40.10	39.00	47	61.00	57.70	53.70	52.10	78	69.20	66.80	62.20	60.40
18	46.50	42.90	40.60	39.60	48	61.20	58.00	54.00	52.30	79	69.50	67.10	62.50	60.70
19	47.30	43.50	41.20	40.00	49	61.40	58.40	54.40	52.70	80	69.70	67.30	62.70	60.80
20	47.70	44.20	41.60	40.70	50	61.80	58.70	54.70	53.00	81	70.00	67.60	63.10	61.10
21	48.50	44.80	42.20	41.20	51	62.10	59.10	55.00	53.40	82	70.20	67.90	63.20	61.20
22	49.20	45.50	42.80	41.60	52	62.40	59.50	55.30	53.70	83	70.40	68.10	63.40	61.50
23	49.80	46.10	43.30	42.10	53	62.80	59.80	55.60	54.00	84	70.70	68.30	63.70	61.70
24	50.30	46.60	43.70	42.60	54	63.00	60.10	56.00	54.30	85	70.90	68.70	63.90	62.00
25	50.90	47.20	44.20	43.00	55	63.50	60.40	56.30	54.70	86	71.20	68.90	64.10	62.10
26	51.50	47.80	44.70	43.50	56	63.70	60.80	56.50	54.80	87	71.30	69.20	64.40	62.30
27	51.90	48.40	45.10	43.90	57	63.90	61.10	56.80	55.10	88	71.50	69.40	64.60	62.50
28	52.40	48.90	45.70	44.30	58	64.30	61.40	57.20	55.40	89	71.70	69.50	64.70	62.70
29	52.90	49.40	46.10	44.80	59	64.50	61.80	57.40	55.80	90	72.00	69.80	65.10	63.00
30	53.50	50.00	46.50	45.20	60	64.90	62.10	57.70	55.90	91	72.20	70.00	65.20	63.30
31	54.00	50.50	47.10	45.70	61	65.10	62.40	58.10	56.20	92	72.30	70.30	65.40	63.30
32	54.40	50.90	47.40	46.10	62	65.40	62.60	58.30	56.50	93	72.60	70.50	65.60	63.60
33	54.90	51.40	47.90	46.40	63	65.80	63.00	58.60	56.80	94	72.70	70.80	65.80	63.70
34	55.30	51.90	48.30	47.00	64	66.00	63.30	58.90	57.00	95	73.00	71.00	66.20	64.00
35	55.90	52.40	48.80	47.30	65	66.20	63.40	59.20	57.20	96	73.20	71.20	66.30	64.20
36	56.30	52.80	49.20	47.70	66	66.50	63.80	59.40	57.60	97	73.50	71.40	66.60	64.40
37	56.70	53.20	49.70	48.10	67	66.70	64.20	59.60	57.80	98	73.70	71.60	66.70	64.70
38	57.10	53.60	50.10	48.50	68	66.90	64.60	59.90	58.10	99	73.90	72.00	67.10	65.00
39	57.50	54.10	50.30	48.80	69	67.20	64.70	60.20	58.40	100	74.00	72.00	67.10	65.20
40	58.00	54.50	50.90	49.20	70	58.30	54.90	51.30	49.60					

Las figura 16,17 y 18 muestran los reogramas experimentales de la pulpa de tomate andino a 3, 5 y 9 °Brix y a diferentes temperaturas de 15, 30, 45 y 60°C

Figura 16

Reograma de la pulpa de tomate andino a 3°Brix

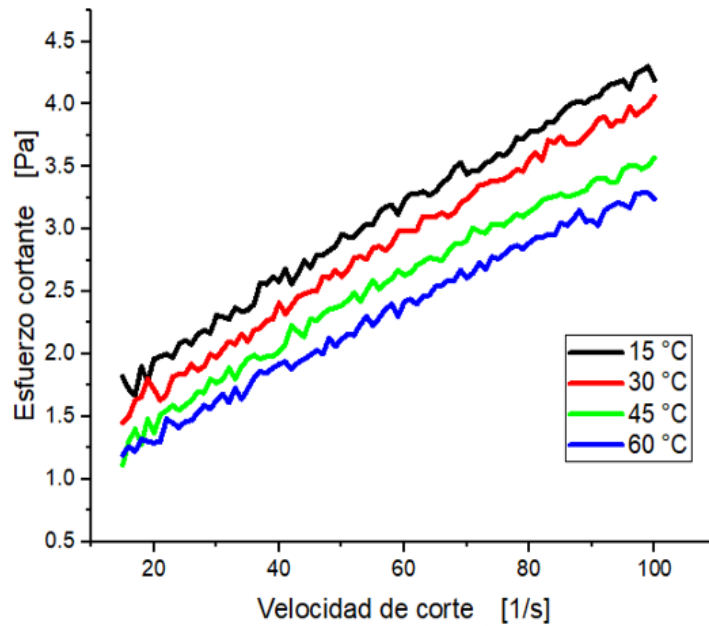


Figura 17

Reograma de la pulpa de tomate andino a 5°Brix

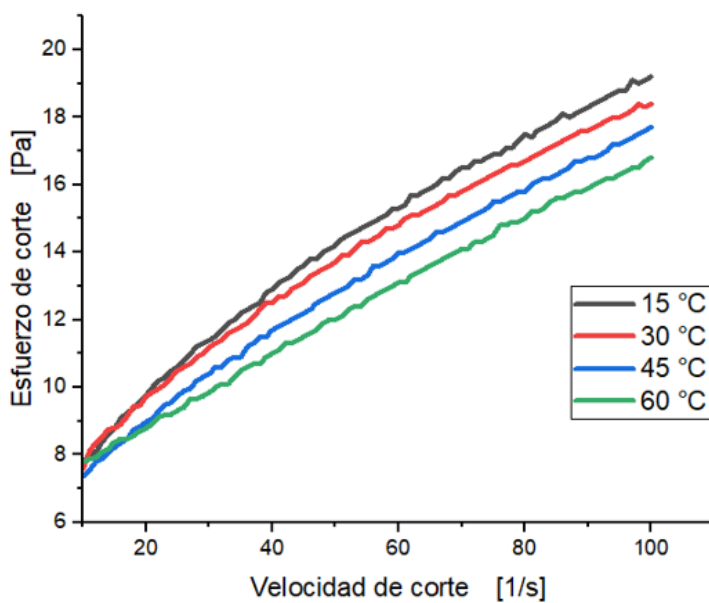
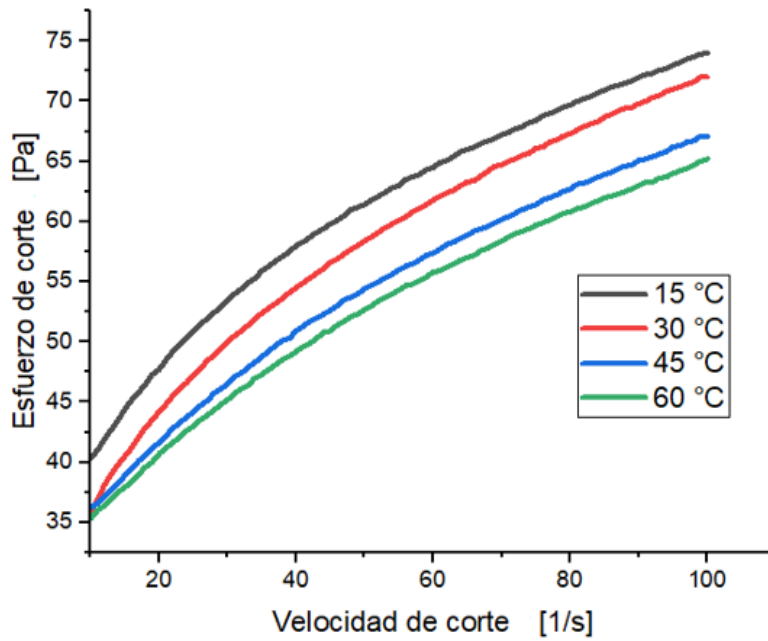


Figura 18

Reograma de la pulpa de tomate andino a 9°Brix



La tabla 10, 11 y 12 muestran los resultados de la relación numérica entre la velocidad de corte y viscosidad para la pulpa de tomate andino a temperaturas de 15°C, 30°C, 45°C y 60°C respectivamente.

Tabla 10

Datos experimentales de viscosidad a 3° Brix

$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C
	μ [Pa. s]					μ [Pa. s]					μ [Pa. s]			
10	0.144	0.116	0.096	0.113	41	0.061	0.057	0.053	0.045	72	0.048	0.047	0.042	0.038
11	0.153	0.125	0.081	0.101	42	0.062	0.057	0.051	0.045	73	0.048	0.046	0.041	0.037
12	0.137	0.118	0.088	0.091	43	0.063	0.056	0.049	0.045	74	0.048	0.046	0.041	0.038
13	0.134	0.107	0.087	0.086	44	0.060	0.056	0.051	0.044	75	0.048	0.045	0.041	0.037
14	0.136	0.101	0.078	0.078	45	0.061	0.054	0.049	0.044	76	0.047	0.045	0.040	0.037
15	0.121	0.097	0.074	0.079	46	0.059	0.056	0.049	0.043	77	0.047	0.045	0.040	0.037
16	0.107	0.094	0.081	0.079	47	0.059	0.054	0.049	0.044	78	0.048	0.045	0.040	0.037
17	0.098	0.096	0.083	0.072	48	0.058	0.055	0.048	0.042	79	0.047	0.044	0.039	0.036
18	0.106	0.092	0.071	0.074	49	0.059	0.052	0.048	0.042	80	0.047	0.044	0.039	0.036
19	0.094	0.095	0.078	0.068	50	0.058	0.052	0.048	0.042	81	0.047	0.045	0.039	0.036
20	0.098	0.086	0.068	0.065	51	0.057	0.053	0.048	0.041	82	0.046	0.043	0.039	0.036
21	0.094	0.078	0.072	0.062	52	0.057	0.053	0.046	0.042	83	0.047	0.045	0.039	0.036
22	0.091	0.076	0.071	0.067	53	0.056	0.051	0.046	0.043	84	0.046	0.044	0.039	0.035
23	0.086	0.079	0.069	0.063	54	0.055	0.052	0.047	0.041	85	0.046	0.044	0.039	0.036
24	0.087	0.077	0.065	0.059	55	0.056	0.051	0.045	0.041	86	0.046	0.043	0.038	0.035
25	0.084	0.074	0.064	0.058	56	0.056	0.050	0.045	0.041	87	0.046	0.042	0.038	0.036
26	0.080	0.074	0.063	0.057	57	0.055	0.050	0.045	0.041	88	0.046	0.042	0.037	0.036
27	0.080	0.069	0.063	0.057	58	0.053	0.051	0.045	0.039	89	0.045	0.042	0.037	0.034
28	0.078	0.068	0.060	0.057	59	0.054	0.050	0.044	0.040	90	0.045	0.042	0.038	0.034
29	0.075	0.069	0.062	0.054	60	0.054	0.049	0.043	0.040	91	0.045	0.043	0.038	0.033
30	0.077	0.066	0.059	0.054	61	0.053	0.048	0.044	0.039	92	0.045	0.042	0.037	0.034
31	0.074	0.066	0.058	0.054	62	0.052	0.049	0.044	0.039	93	0.045	0.041	0.036	0.034
32	0.071	0.066	0.059	0.050	63	0.051	0.048	0.043	0.039	94	0.044	0.041	0.036	0.034
33	0.072	0.063	0.055	0.053	64	0.051	0.048	0.043	0.039	95	0.044	0.041	0.037	0.034
34	0.069	0.064	0.056	0.048	65	0.051	0.047	0.042	0.039	96	0.043	0.041	0.037	0.033
35	0.067	0.060	0.056	0.049	66	0.051	0.046	0.042	0.039	97	0.044	0.040	0.036	0.034
36	0.067	0.061	0.055	0.050	67	0.051	0.046	0.042	0.038	98	0.044	0.040	0.036	0.034
37	0.069	0.060	0.053	0.050	68	0.051	0.047	0.042	0.039	99	0.043	0.040	0.036	0.033
38	0.068	0.060	0.052	0.049	69	0.049	0.046	0.042	0.037	100	0.042	0.041	0.036	0.032
39	0.067	0.059	0.051	0.049	70	0.049	0.046	0.042	0.037					
40	0.064	0.060	0.051	0.048	71	0.061	0.057	0.053	0.045					

Tabla 11

Datos experimentales de viscosidad a 5° Brix

$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C
	μ [Pa. s]					μ [Pa. s]					μ [Pa. s]			
10	0.782	0.760	0.737	0.780	41	0.319	0.309	0.287	0.271	72	0.233	0.222	0.210	0.199
11	0.717	0.737	0.686	0.716	42	0.314	0.302	0.282	0.269	73	0.228	0.221	0.209	0.196
12	0.673	0.696	0.649	0.660	43	0.309	0.300	0.279	0.262	74	0.227	0.219	0.207	0.195
13	0.645	0.655	0.607	0.622	44	0.306	0.296	0.276	0.260	75	0.225	0.217	0.206	0.194
14	0.615	0.626	0.576	0.585	45	0.301	0.291	0.272	0.257	76	0.223	0.216	0.204	0.194
15	0.585	0.586	0.549	0.558	46	0.299	0.289	0.268	0.252	77	0.222	0.214	0.202	0.192
16	0.568	0.557	0.522	0.530	47	0.293	0.285	0.265	0.250	78	0.220	0.212	0.201	0.191
17	0.544	0.538	0.499	0.499	48	0.291	0.281	0.263	0.248	79	0.218	0.210	0.200	0.189
18	0.522	0.524	0.486	0.476	49	0.288	0.278	0.258	0.245	80	0.218	0.209	0.198	0.187
19	0.504	0.498	0.465	0.459	50	0.283	0.275	0.256	0.241	81	0.215	0.208	0.198	0.188
20	0.488	0.487	0.449	0.439	51	0.282	0.273	0.253	0.238	82	0.215	0.206	0.196	0.185
21	0.478	0.469	0.432	0.425	52	0.279	0.268	0.250	0.237	83	0.214	0.205	0.195	0.184
22	0.463	0.453	0.423	0.415	53	0.275	0.266	0.249	0.233	84	0.212	0.204	0.193	0.185
23	0.447	0.439	0.412	0.399	54	0.272	0.264	0.245	0.230	85	0.211	0.202	0.192	0.183
24	0.436	0.431	0.398	0.383	55	0.270	0.260	0.242	0.230	86	0.210	0.201	0.190	0.182
25	0.426	0.418	0.390	0.373	56	0.266	0.257	0.242	0.226	87	0.207	0.201	0.190	0.180
26	0.414	0.407	0.381	0.362	57	0.264	0.255	0.239	0.225	88	0.206	0.199	0.189	0.179
27	0.408	0.397	0.369	0.358	58	0.261	0.254	0.236	0.223	89	0.204	0.197	0.188	0.177
28	0.398	0.390	0.363	0.345	59	0.260	0.249	0.233	0.221	90	0.203	0.196	0.187	0.177
29	0.391	0.380	0.354	0.336	60	0.255	0.247	0.233	0.219	91	0.203	0.195	0.185	0.175
30	0.380	0.374	0.346	0.328	61	0.253	0.246	0.229	0.215	92	0.201	0.193	0.184	0.175
31	0.372	0.363	0.341	0.323	62	0.253	0.243	0.227	0.215	93	0.200	0.193	0.183	0.174
32	0.367	0.358	0.331	0.315	63	0.250	0.239	0.225	0.213	94	0.199	0.191	0.183	0.172
33	0.359	0.350	0.328	0.308	64	0.247	0.238	0.223	0.212	95	0.197	0.189	0.182	0.172
34	0.354	0.344	0.320	0.302	65	0.244	0.235	0.222	0.209	96	0.196	0.188	0.180	0.171
35	0.349	0.338	0.313	0.300	66	0.242	0.233	0.220	0.208	97	0.197	0.187	0.179	0.170
36	0.341	0.330	0.310	0.295	67	0.242	0.232	0.218	0.206	98	0.194	0.187	0.179	0.168
37	0.335	0.328	0.306	0.288	68	0.239	0.231	0.216	0.204	99	0.193	0.185	0.178	0.168
38	0.329	0.323	0.301	0.282	69	0.237	0.228	0.215	0.203	100	0.192	0.184	0.177	0.168
39	0.327	0.319	0.296	0.280	70	0.235	0.226	0.213	0.202					
40	0.323	0.313	0.291	0.276	71	0.233	0.224	0.211	0.199					

Tabla 12

Datos experimentales de viscosidad a 9° Brix

$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C	$\dot{\gamma}$ [1/s]	15°C	30°C	45°C	60°C
	μ [Pa. s]					μ [Pa. s]					μ [Pa. s]			
10	4.030	3.590	3.620	3.530	41	1.420	1.340	1.250	1.210	72	0.941	0.905	0.843	0.819
11	3.720	3.360	3.320	3.270	42	1.400	1.320	1.230	1.190	73	0.931	0.897	0.836	0.811
12	3.490	3.180	3.100	3.030	43	1.370	1.300	1.210	1.170	74	0.921	0.888	0.826	0.803
13	3.280	3.000	2.900	2.830	44	1.350	1.280	1.190	1.150	75	0.913	0.881	0.819	0.796
14	3.110	2.840	2.730	2.680	45	1.330	1.260	1.170	1.130	76	0.905	0.871	0.813	0.788
15	2.960	2.700	2.590	2.530	46	1.310	1.240	1.150	1.120	77	0.896	0.865	0.805	0.781
16	2.830	2.580	2.470	2.400	47	1.290	1.220	1.140	1.100	78	0.888	0.857	0.797	0.774
17	2.690	2.480	2.360	2.300	48	1.270	1.200	1.120	1.080	79	0.880	0.849	0.791	0.768
18	2.580	2.380	2.260	2.200	49	1.250	1.180	1.100	1.070	80	0.871	0.842	0.783	0.760
19	2.490	2.290	2.170	2.110	50	1.230	1.170	1.090	1.050	81	0.864	0.835	0.778	0.754
20	2.380	2.210	2.080	2.040	51	1.210	1.150	1.070	1.040	82	0.856	0.828	0.771	0.747
21	2.310	2.130	2.010	1.960	52	1.190	1.140	1.060	1.030	83	0.849	0.821	0.764	0.741
22	2.240	2.070	1.940	1.890	53	1.180	1.120	1.040	1.010	84	0.842	0.813	0.758	0.734
23	2.160	2.000	1.880	1.830	54	1.160	1.110	1.030	1.000	85	0.834	0.808	0.752	0.729
24	2.100	1.940	1.820	1.780	55	1.150	1.090	1.020	0.987	86	0.828	0.801	0.745	0.722
25	2.040	1.890	1.770	1.720	56	1.130	1.080	1.010	0.976	87	0.820	0.795	0.740	0.716
26	1.980	1.840	1.720	1.670	57	1.120	1.070	0.992	0.962	88	0.812	0.788	0.734	0.711
27	1.920	1.790	1.670	1.630	58	1.100	1.050	0.980	0.951	89	0.806	0.781	0.727	0.705
28	1.870	1.750	1.630	1.580	59	1.090	1.040	0.969	0.938	90	0.800	0.775	0.723	0.700
29	1.820	1.700	1.590	1.540	60	1.080	1.030	0.957	0.930	91	0.793	0.769	0.717	0.695
30	1.780	1.670	1.550	1.510	61	1.060	1.020	0.945	0.917	92	0.786	0.764	0.711	0.688
31	1.740	1.630	1.520	1.470	62	1.050	1.010	0.938	0.907	93	0.781	0.758	0.705	0.683
32	1.700	1.590	1.480	1.440	63	1.040	0.993	0.926	0.897	94	0.773	0.753	0.700	0.678
33	1.660	1.560	1.450	1.410	64	1.030	0.985	0.916	0.887	95	0.769	0.748	0.697	0.673
34	1.630	1.530	1.420	1.380	65	1.010	0.973	0.906	0.877	96	0.762	0.742	0.690	0.669
35	1.600	1.500	1.400	1.350	66	1.000	0.961	0.897	0.867	97	0.758	0.737	0.686	0.663
36	1.560	1.470	1.370	1.320	67	0.993	0.953	0.886	0.859	98	0.752	0.731	0.680	0.661
37	1.530	1.440	1.340	1.300	68	0.980	0.944	0.876	0.851	99	0.746	0.727	0.678	0.657
38	1.500	1.410	1.320	1.280	69	0.970	0.936	0.867	0.842	100	0.740	0.720	0.671	0.652
39	1.470	1.390	1.290	1.250	70	0.960	0.924	0.860	0.834					
40	1.450	1.360	1.270	1.230	71	0.950	0.915	0.850	0.826					

En las figuras 19, 20 y 21 se muestran la relación entre la viscosidad y velocidad de corte a diferentes temperaturas.

Figura 19

Relación viscosidad y velocidad de corte a 3 °Brix

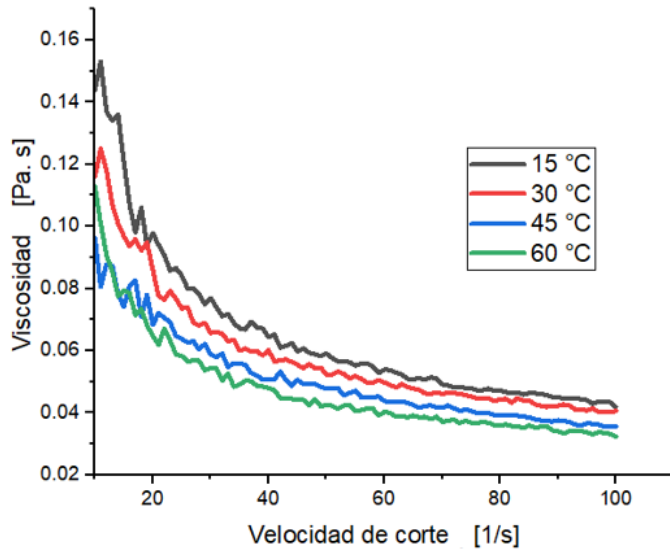


Figura 20

Relación viscosidad y velocidad de corte a 5 °Brix

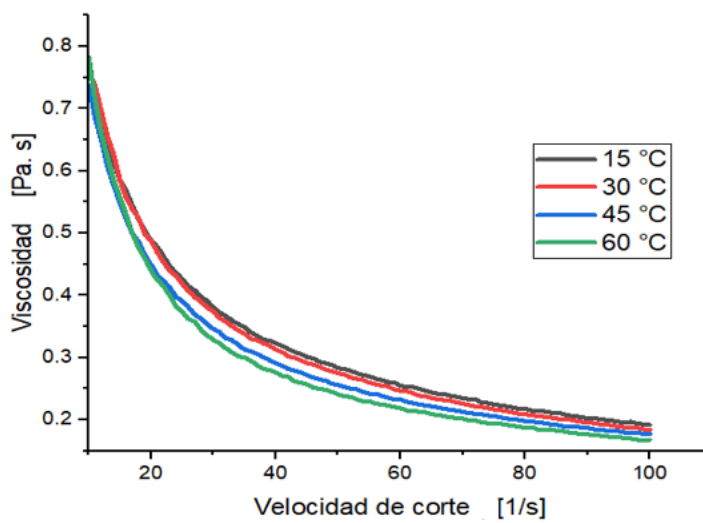
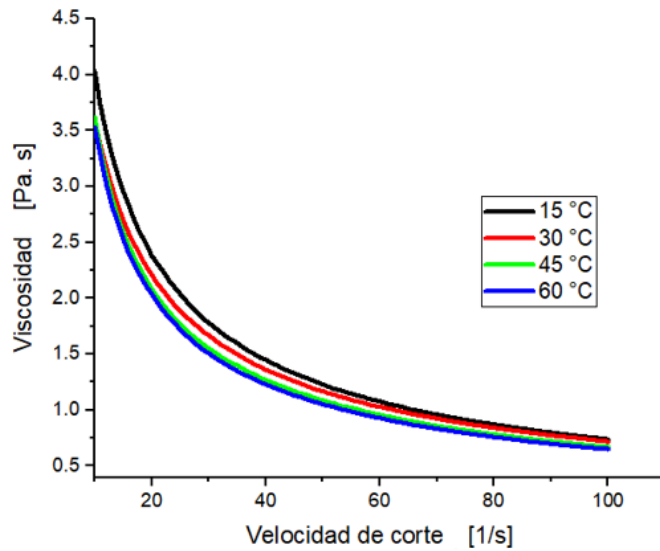


Figura 21

Relación viscosidad y velocidad de corte a 9 °Brix



5.2. Resultados inferenciales

De las mediciones experimentales de esfuerzo de corte y velocidad de corte para la pulpa de tomate andino a diferentes concentraciones y temperaturas, se presentan los parámetros reológicos para los modelos de Bingham, Oswald de Waele, Casson y Herschel Bulkley. Ver Tabla 13

Tabla 13

Parámetros de modelos relacionados a la pulpa de tomate andino

	Modelo	Parámetros	3 °Brix				5 ° Brix				9 ° Brix			
			15 °C	30 ° C	45 ° C	60 °C	15 °C	30 ° C	45 ° C	60 °C	15 °C	30 ° C	45 ° C	60 °C
1	<i>Bingham</i>	τ_0	1.348	1.095	0.044	0.851	6.812	6.780	6.187	6.258	38.219	33.776	33.189	32.201
		K	0.030	0.030	0.001	0.025	0.135	0.127	0.123	0.111	0.405	0.431	0.377	0.365
		R ²	0.994	0.994	0.985	0.995	0.961	0.952	0.959	0.962	0.904	0.913	0.928	0.919
2	<i>Ostwald de Waele</i>	n	0.501	0.555	0.577	0.573	0.393	2.904	0.417	0.396	0.268	0.306	0.280	0.280
		K	0.417	0.309	0.250	0.233	3.027	2.904	2.551	2.636	21.551	17.632	18.337	17.787
		R ²	0.987	0.993	0.997	0.990	0.997	0.997	0.995	0.982	0.998	0.999	0.994	0.992
3	<i>Herschel Bulkley</i>	τ_0	0.4112	0.2111	0.4108	0.2645	2.7257	3.7786	3.8194	4.2054	11.8749	12.6834	16.4658	17.8093
		n	0.5929	0.6082	0.6041	0.6626	0.5267	0.5666	0.6136	0.6332	0.3386	0.3961	0.4303	0.4501
		K	0.2492	0.2341	0.1878	0.1429	1.4601	1.0826	0.8190	0.6724	13.1284	9.6475	7.0141	5.9751
		R ²	0.9955	0.9966	0.9966	0.9960	0.9993	0.9996	0.9993	0.9912	0.9996	0.9999	0.9996	0.9995
4	<i>Casson</i>	τ_0	27.985	0.501	0.396	0.375	4.152	4.213	3.763	3.970	27.985	23.555	23.957	23.235
		K	0.347	0.131	0.128	0.121	4.152	0.229	0.229	0.211	0.347	0.380	0.341	0.336
		R ²	0.967	0.997	0.994	0.996	0.992	0.986	0.989	0.986	0.967	0.970	0.978	0.971

La tabla 14 y figura 22 muestran la relación entre el Índice de consistencia y la temperatura de la pulpa de tomate andino, relacionados mediante la ecuación de Arrhenius, ecuación (5).

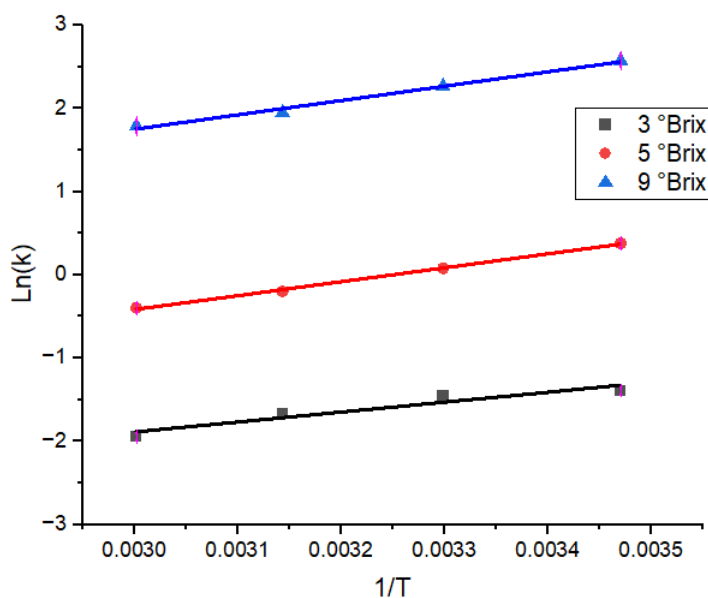
Tabla 14

Valores de índice de consistencia (K) a diferentes concentraciones

T (°C)	3 °Brix	5 °Brix	9 °Brix
15	0.2492	1.4601	13.1284
30	0.2341	1.0826	9.6475
45	0.1878	0.8190	7.0141
60	0.1429	0.6724	5.9751

Figura 22

Relación entre el índice de consistencia y la temperatura



En la tabla 15 se presenta la energía de activación para la pulpa de tomate andino.

Tabla 15*Energía de activación para la pulpa de tomate andino*

Concentración (°Brix)	K_0 (Pa.s ⁿ)	Energía de activación (Ea) (kJ/mol)	R ²
3	0.0042	9.923	0.917
5	0.0044	13.894	0.997
9	0.0329	14.316	0.990

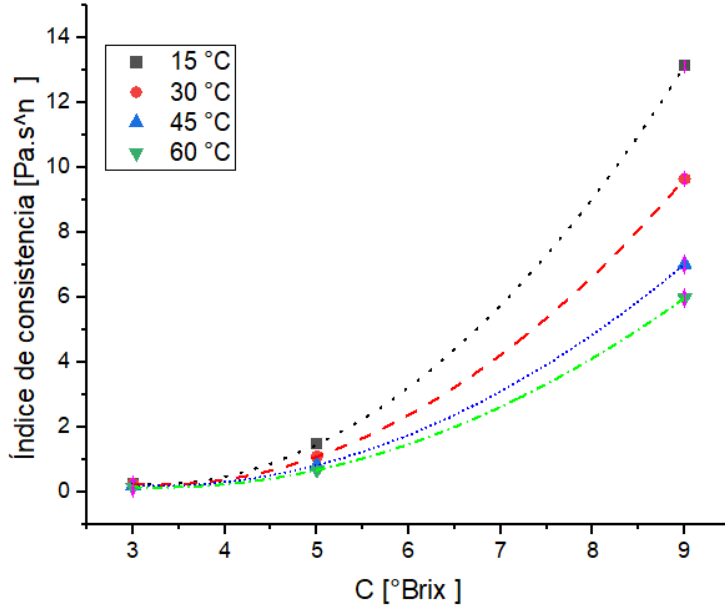
En la figura 23 se presenta la relación del índice de consistencia frente a la concentración a diferentes temperaturas de la pulpa, para mostrar la influencia de la concentración sobre la viscosidad se probaron con los modelos potencial y exponencial que se muestran en la tabla 16.

Tabla 16*Modelo potencial y exponencial para la concentración*

Temperatura °C	Modelo potencial			Modelo exponencial		
	k_1	a_1	R ²	k_2	a_2	R ²
15	0.0046	3.6116	0.9820	0.0436	0.6448	0.9838
30	0.00003	8.7182	0.8472	0.0033	1.6507	0.9379
45	0.0005	6.3215	0.8488	0.0165	1.1964	0.9389
60	0.0014	5.4013	0.8476	0.0293	1.0225	0.9382

Figura 23

Índice de consistencia frente a la concentración



En la figura 24 se muestra la influencia de los parámetros de concentración y temperatura sobre la viscosidad. A través del programa estadístico Minitab 18, se realizó el análisis de varianza y diagrama de Pareto según se muestra en la tabla 17 y figura 24.

Figura 24

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

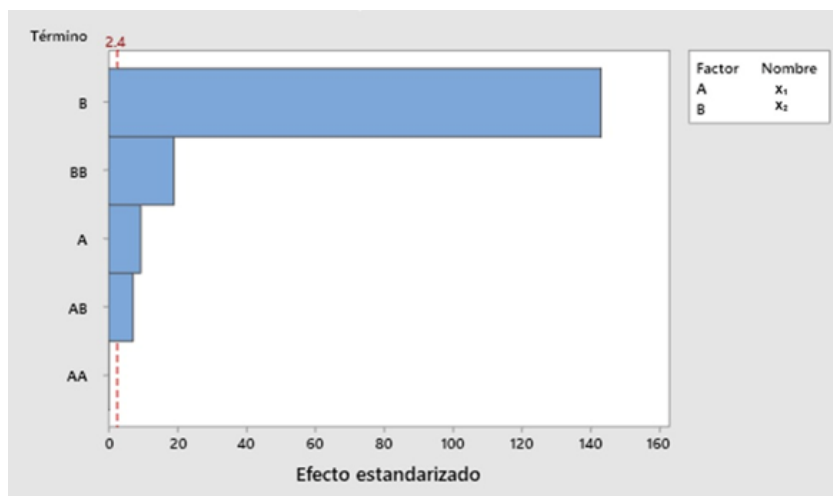


Tabla 17*Análisis de varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.963877	0.192775	4555.93	0.000
Lineal	2	0.869624	0.434812	10276.06	0.000
T	1	0.003696	0.003696	87.34	0.000
C	1	0.865928	0.865928	20464.78	0.000
Cuadrado	2	0.015181	0.007590	179.39	0.000
T*T	1	0.000001	0.000001	0.02	0.898
C*C	1	0.015180	0.015180	358.76	0.000
Interacción de 2 factores	1	0.002157	0.002157	50.97	0.000
T*C	1	0.002157	0.002157	50.97	0.000
Error	6	0.000254	0.000042		
Total	11	0.964131			

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis específicas

Las características fisicoquímicas de la pulpa de tomate de árbol son presentadas en la tabla 4: sólidos solubles (9 °Brix), pH (3,6), acidez (1,959 % ácido cítrico), humedad (89,97%), proteína (2.21 %), grasas (0.77%), cenizas (0.79%), carbohidratos (6.26%), calcio (245.3 mg/kg), potasio (4912.03 mg/kg), sodio (16.94 mg/kg), hierro (4.48 mg/kg) y zinc (1.23 mg/kg).

Para la evaluación del efecto de la temperatura sobre la viscosidad se realizó el análisis estadístico y un ajuste de los datos experimentales a la ecuación de Arrhenius. En la tabla 17 y figura 24 se presenta el análisis estadístico donde se obtiene un índice de probabilidad (p) menor a 0.05 para el factor temperatura, lo que demuestra que tiene un efecto significativo sobre la viscosidad. En la figura 22 se muestra la correlación entre el inverso de la temperatura absoluta con el logaritmo del índice de consistencia cumpliendo con la linealidad prevista por la ecuación de Arrhenius, también se observa que los valores de energía de activación calculados están entre 9.922 y 14.316 KJ/ mol. En la tabla 14 se observa como el índice de consistencia disminuye con el incremento de la temperatura, por lo que se comprueba la hipótesis planteada.

Para la evaluación del efecto de la concentración sobre la viscosidad se realizó el análisis estadístico y un ajuste de los datos experimentales a las ecuaciones potencial (7) y exponencial (8). En la tabla 17 y figura 24 se presenta el análisis estadístico donde se obtiene un índice de probabilidad (p) menor a 0.05 para el factor concentración lo que demuestra que tiene un efecto significativo sobre la viscosidad. La relación entre la concentración y la viscosidad, se comprueba al ajustar los datos experimentales del índice de consistencia a las ecuaciones 7 y 8, cuyos datos presentados en la tabla 16, indican que para las temperaturas estudiadas es la ecuación que mejor se ajusta es la exponencial cuyos R^2 son superiores a 0.93. En la figura 23, se aprecia que, al incrementar la concentración, aumenta el índice de consistencia. Por lo detallado líneas arriba se confirma la hipótesis del efecto de la concentración sobre la viscosidad.

Hipótesis General

En la tabla 13 se puede observar que el modelo que mejor se ajusta a los datos experimentales obtenidos es el modelo de Herschel Bulkley con un coeficiente de determinación R^2 superior a 0.995, presentando un esfuerzo umbral inicial y cuyo índice de comportamiento al flujo (n) es menor a la unidad para todas las concentraciones y temperaturas estudiadas, lo cual señala un comportamiento de fluido del tipo pseudoplástico. En las figuras 19, 20, 21 se puede observar la relación entre viscosidad y velocidad de corte; los valores que alcanza la viscosidad se hacen menores a medida que aumenta la velocidad de corte, comportamiento propio de un fluido pseudoplástico. Demostrando de esta manera la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

La contrastación de resultados del presente trabajos de investigación respecto a [7] y [10] se presenta en la tabla 18.

Los valores obtenidos de la caracterización fisicoquímica son similares a los resultados reportados por [7] en su trabajo de investigación Propiedades reológicas del tomate (*Lycopersicum esculentum*) concentrado, con excepción del % de grasas que fue inferior y el % de cenizas que fue superior a los resultados presentados en este trabajo de investigación.

[10] reportan resultados mayores en % sólidos solubles, % carbohidratos, calcio, hierro y zinc en comparación a lo presentado en la presente investigación y valores inferiores de % grasas, proteínas y potasio.

Estas diferencias en ambos casos pueden deberse a la etapa de maduración, variedad y factores ambientales de los frutos.

Tabla 18*Comparación de características fisicoquímicas con otros autores*

Parámetros	Leyva y otros.	Dak y otros. [7]	Repo y Encina [10]
pH	3.6	----	3.77
Sólidos solubles (°Brix)	9.0	9.83	11.57
Acidez titulable (%)	1.959	----	----
Humedad (%)	89.97	84.45	82.9
Proteínas (%)	2.21	2.02	1.9
Grasa (%)	0.77	0.065	0.1
Ceniza (%)	0.79	1.02	1.0
Carbohidratos (%)	6.26	----	14.1
Calcio (mg/kg)	245.34	----	255.6
Hierro (mg/kg)	4.48	----	9.0
Potasio (mg/kg)	4912.04	----	4410.3
Sodio (mg/kg)	16.94	----	----
Zinc (mg/kg)	1.23	----	4.5

[7] En su trabajo de investigación Propiedades reológicas del tomate (*Lycopersicum esculentum*) concentrado, reportan valores de energía de activación entre 8.6 y 14.08 KJ/mol para concentraciones entre 8.04 y 18 °Brix, así como también presentan que el índice de consistencia tiene una correlación positiva con el inverso de la temperatura, resultados similares a los obtenidos en este trabajo de investigación. Los valores de energía de activación reportados por [9] para pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum*) varían entre 11,55 a 14,81 kJ/mol a un rango de concentración de 10 y 25 °Brix, por otra parte, detallan que conforme se incrementa la temperatura la pulpa de cocona pierde ligeramente pseudoplasticidad (adelgazamiento por cizallamiento), en donde disminuye el índice de consistencia en todos los tratamientos, en comparación a los resultados obtenidos en la presente investigación para energía de activación los cuales son inferiores, pero resultados similares en cuando a la disminución del índice de consistencia con el aumento de la temperatura. [5] en su investigación

para la pulpa de mango, observan que el índice de consistencia mostró correlación positiva con el inverso de la temperatura absoluta, de igual manera, muestra que la viscosidad aparente disminuye a medida que aumenta la temperatura de la pulpa, resultados que al ser comparados con los obtenidos en la presente investigación son similares.

La ecuación exponencial permite correlacionar los parámetros de concentración e índice de consistencia, según lo reportado por [7] detallan que el coeficiente de consistencia aumenta exponencialmente con el incremento de la concentración y se observa que la viscosidad aparente aumentó con el incremento de la concentración de la concentración.

[5] observaron que el índice de consistencia incrementó con el aumento de la concentración, aumentando por consiguiente la viscosidad aparente. Resultados similares a los obtenidos en esta investigación para el modelo exponencial ajustado a los datos experimentales. Por otro lado, los resultados reportados por [9] difieren de los presentados en esta investigación, debido a que presentan un efecto negativo entre el índice de consistencia y la concentración, es decir, a medida que aumenta los sólidos solubles en la pulpa los valores del índice de consistencia disminuyen ligeramente.

[7] determinaron que el modelo que mejor se ajusta a sus datos experimentales es el modelo de ley de potencia: índice de comportamiento al flujo (0.23-0.82), índice de consistencia (0.09 - 65.87 Pa. s) a las concentraciones (8.04-18 °Brix) y temperaturas (20- 60 °C), indicando un comportamiento pseudoplástico para el tomate (*Lycopersicum esculentum*). [9] reportan que el modelo ley de potencia tiene un mejor ajuste con parámetros reológicos: índice de comportamiento al flujo (0.271-0.353), índice de consistencia (48.63-111.14 Pa. s) a las concentraciones (10-25°Brix) y temperaturas (30-60°C), presentando un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico para la pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum*). [5] reportan que el modelo ley de potencia tiene un mejor ajuste con parámetros reológicos: índice de comportamiento al flujo (0,1812-0,275), índice de consistencia (4,0302-31,9049 Pa. s) a las concentraciones (15-30°Brix) y temperaturas (15-60°C), presentando un comportamiento no

newtoniano de tipo pseudoplástico para la pulpa de mango (*Mangifera*). En comparación, la presente investigación muestra una diferencia en el modelo reológico obtenido, comportamiento que se describe mediante el modelo de Herschel Bulkley presentando esfuerzo umbral inicial, para el tipo de fluido se presenta similar resultado siendo la pulpa de tomate de árbol un fluido pseudoplástico.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

La presente investigación se realizó en cumplimiento de legislaciones vigentes y directivas involucradas, respetando la ética del proceso de investigación. De acuerdo al reglamento del código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución N° 260-2019-CU.

VII. CONCLUSIONES

- Se determinó el comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino, encontrándose que el modelo de Herschel Bulkley es el modelo que mejor se ajusta a los datos experimentales, con un índice de comportamiento al flujo(n) menor a la unidad, por lo que se concluye que el fluido tiene un comportamiento pseudoplástico a todas las concentraciones y temperaturas trabajadas.
- Se caracterizó fisicoquímicamente la pulpa de tomate andino encontrando que posee 3.6 de pH, 9% de sólidos solubles (°Brix), 1.959% acidez titulable, 89.97% humedad, 2.21% proteína, 0.77% grasa, 0.79% ceniza, 6.26% carbohidratos, 245.3 mg/kg de calcio, 4912.03 mg/kg de potasio, 16.94 mg/kg de sodio, 4.48 mg/kg de hierro y 1.23 mg/kg de zinc.
- Se evaluó el efecto de la temperatura sobre la viscosidad por medio de análisis estadístico concluyendo que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la viscosidad y mediante el ajuste al modelo de Arrhenius se obtienen energías de activación entre 9.922 y 14.316 KJ/ mol, mostrando que el índice de consistencia disminuye con el incremento de la temperatura.
- Se evaluó el efecto de la concentración sobre la viscosidad por medio de análisis estadístico concluyendo que la concentración tiene un efecto significativo sobre la viscosidad y mediante el ajuste al modelo exponencial se obtiene una relación directamente proporcional entre la concentración y la viscosidad de la pulpa de tomate andino.

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio del comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino a mayores concentraciones.
- Realizar el estudio del comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino a diferentes tamaños de partículas.
- Realizar la comparación del comportamiento reológico con otras variedades de tomate andino.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMAYA ROBLES, Julio E. y JULCA HASHIMOTO, José L. *Tomate de árbol (Cyphomandra betacea Send.)*. Trujillo : Gerencia regional de recursos naturales y gestión del medio ambiente, 2006.
- [2] GARCÍA QUESADA, Juan Carlos. Open Course Ware UA. [En línea] 10 de Marzo de 2022. <https://ocw.ua.es/es/ingenieria-y-arquitectura/reologia-2006.html>.
- [3] RAMÍREZ NAVAS, Juan Sebastián. *Introducción a la reología de los alimentos*. Cali : ReCiTeIA, 2006.
- [4] BUONO, Sebastián, ABDO, Guadalupe y HAMITY, Valeria. *El tomate árbol de las yungas : cultivo, potencialidades e importancia*. Buenos Aires : s.n., 2019. págs. 9-10.
- [5] ORTEGA QUINTANA, Fabián Alberto, y otros. *Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins*. Bucaramanga : Revista ION, 2015. Vol. 28.
- [6] QUINTANA, Somaris E., GRANADOS, Clemente y GARCIA-ZAPATEIRO, Luis A. Propiedades Reológicas de la Pulpa de Papaya (Carica papaya). *Scielo*. [En línea] 2017. [Citado el: 25 de Enero de 2023.] <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000400003> . IVol. 28(4), 11-16 (2017).
- [7] DAK, Manish, VERMA, Radha Charan y JAAFFREY. *Rheological Properties of Tomato Concentrate..* s.l. : International Journal of Food Engineering, 2008, Vol. 4
- [8] SOBRADO GÓMEZ, Angel. Modelos reológicos asociados al néctar mix papaya-piña. Callao : Universidad nacional del Callao, 2019.
- [9] LAGUNA, Caleb Leandro , y otros. *Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona*. Ucayali : Revista de Investigaciones Altoandinas, 2022. Vol. 24.

- [10] REPO DE CARRASCO, Ritva y ENCINA ZELADA, Christian René. *Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas.* . Lima : s.n., 2008, Revista Sociedad Química del Perú, Vol. 74, págs. 108-124.
- [11] REVELO VARGAS, Danilo Andrés. *Microcapsulación de tomate de árbol rojo (Solanum betaceum Cav.) mediante spray dry para aplicación en productos lácteos.* Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [12] FERNANDINO, C. M., y otros. *Physicochemical properties of tamarillo pulp (Solanum betaceum) and its applicability in the production of ice cream.* Minas Gerais : Brazilian Journal of Food Technology, 2021. Vol. 24.
- [13] SCHOTSMANS, W.C., EAST, A. y WOOLF, A. *Tamarillo (Solanum betaceum (Cav.)).* New Zealand : Woodhead Publishing Limited, 2011. Vol. 442.
- [14] A.BARNES, Howard. *A Handbook of elementary rheology.* Inglaterra : The University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid, 2000.
- [15] IBARZ, Albert y BARBOSA CÁNOVAS, Gustavo V. *Operaciones unitarias en la Ingeniería de Alimentos.* Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 2005.
- [16] FERRER LÓPEZ, Víctor Hugo. *Reología de fluidos complejos considerando una cinética de microestructuras.* Ciudad de México : Instituto Politécnico Nacional, 2017.
- [17] DÍAZ OCAMPO, Raúl. *Reología aplicada a sistemas alimentarios.* Guayaquil : Ediciones Grupo Compás, 2018.
- [18] PÉREZ-TREJO, Leonor, MÉNDEZ SÁNCHEZ, Arturo F. y PANIAGUA MERCADO, A. M. Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). *Latin-American Journal of Physics Education.* 2010, Vol. 4, 1.
- [19] MEZGER, Thomas G. *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillatory rheometers.* Germany : Vicentz Network, 2006.

- [20] MORENO BOTELLA, Rodrigo. *Reología de las suspensiones cerámicas*. Madrid : Consejo superior de investigaciones científicas, 2005. pág. 123.
- [21] AKBULUT, M. y ÖZCAN, M.M. *Algunas propiedades físicas, químicas y reológicas del sorgo dulce (Sorghum Bicolor (L) Moench) Pekmez (Melaza)*. Konya : International Journal of Food Properties, 2008. Vol. 11.
- [22] BIRD, R.Byron, STEWART, Warren E. y LIGHTFOOT, Edwin N. *Fenómenos de Transporte:Un estudio sistemático de los fundamentos del transporte de materia, energía y cantidad de movimiento*. Barcelona : Reverté S.A., 1992.
- [23] CIRO VELÁSQUEZ, Héctor José. *Reología de fluidos y su aplicación en el area de los alimentos*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2006.
- [24] QUINTÁNS RIVEIRO, Lourdes Consuelo. *Reología de productos alimentarios*. Santiago de Compostela : Universidad de Santiago de Compostela, 2009. pág. 20.
- [25] GÓMEZ BOADO, María Mónica. *Obtención de piezas de SiC por inmersión de preformas de Si en lechos carbonosos*. España : Minerva. Repositorio Institucional de la Universidad de Santiago de Compostela, 2008.
- [26] CHITUE-DE-ASSUNCAO-NASCIMENTO, Juliano, y otros. *Comportamiento reológico de una biograsa de aceite vegetal de Jatropha curcasL y jabón de litio*. Santiago de Cuba : Tecnología Química, 2013. Vol. 33.
- [27] HIMMELBLAU, David M. *Principios básicos y cálculos de la ingeniería química*. 6. México : Pearson Educación, 2002.
- [28] MAR OROSCO, Carlos Eusebio, BARBOSA MORENO, Alfonso y MOLAR OROZCO, Juan Flavio. *Metodología de la investigación - Métodos y técnicas*. Ciudad de Méxio : Grupo Editorial Patria SA de CV, 2020. 43.
- [29] HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México : McGraw-Hill Interamericana Editores, 2018.

[30] Dirección de Normalización - INACAL. [En línea] 06 de Abril de 2020. [Citado el: 05 de Enero de 2023.] https://www.inacal.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/2/not/inacal-aprueba-guia-limpieza-desinfeccion-manos/files/Paginas_Guia_ed.pdf.

[31] BARRERA G., Jaime Alberto y HERNÁNDEZ G., María Soledad. Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de especies nativas de la Amazonia. *Repositorio Institucional Agrosavia. Corporación colombiana de investigación agropecuaria*. [En línea] 2004. [Citado el: 05 de Febrero de 2023.] <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12843>.

[32] Germany, Anton Paar. *Manual de Instrucciones RheolabQC*. Ostfildern : Anton Paar Germany GmbH, 2006. C04ib50-b.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE TOMATE ANDINO (*Solanum betaceum*) EN FLUJO DE CORTE

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo es el comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino (<i>Solanum betaceum</i>) en flujo de corte?	Determinar el comportamiento reológico de la pulpa del tomate andino (<i>Solanum betaceum</i>) en flujo de corte.	El comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino en flujo de corte será un fluido newtoniano pseudoplástico.	Y1=Comportamiento reológico de la pulpa de tomate andino.	Modelos no Newtonianos	Modelo reológico: pseudoplástico $\tau = m \left(\frac{dv}{dx}\right)^n$	Reología
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la pulpa de tomate andino (<i>Solanum betaceum</i>)?	Caracterizar fisicoquímicamente la pulpa de tomate andino.	Las características fisicoquímicas de la pulpa del tomate andino serán pH, %humedad, sólidos solubles (°Brix), %acidez titulable, %ceniza, %grasa, %proteína, %carbohidrato y minerales.	X1= Pulpa de tomate andino	Características fisicoquímicas	pH % Humedad Sólidos solubles (°Brix) Acidez titulable (%Ácido cítrico) % Ceniza % Grasa % Proteínas % carbohidratos mg/kg Minerales	NOM-F-317-S-1978 AOAC 934.06-1934(1996), NTP 203.072:1977 (revisada el 2017) NTP 203.070:1977 (revisada el 2017) AOAC 940.26-1940, Ash of fruits and fruit products AOAC 930.09-1930, Ether extract of plants. Gravimetric method AOAC 920.152 Protein in Fruit Products Cálculo matemático % carbohidratos = (100 - ((% humedad) + (% ceniza) + (% proteína) + (% grasa))) Instrumental
¿Cuál es la influencia de la temperatura sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino (<i>Solanum betaceum</i>) en flujo de corte?	Evaluar la influencia de la temperatura sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino en flujo de corte.	La temperatura influye en la viscosidad	X3= Temperatura de la pulpa de tomate andino	temperatura	15 °C 30 °C 45 °C 60 °C	Ensayos experimentales
¿Cuál es la influencia de la concentración sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino (<i>Solanum betaceum</i>) en flujo de corte?	Evaluar la influencia de la concentración sobre la viscosidad de la pulpa de tomate andino en flujo de corte.	La concentración influye en la viscosidad	X2= Concentración de la pulpa de tomate andino	Concentración	3°Brix 5°Brix 9°Brix	Ensayos experimentales

ANEXO 2: INFORME DE ENSAYO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA PULPA DE TOMATE ANDINO



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-099

INFORME DE ENSAYO N° 000109938

CLIENTE:	HEYDIE NAOMI LEYVA MAYO
DOMICILIO LEGAL:	()
REFERENCIA CLIENTE:	PULPA DE TOMATE ANDINO
CÓDIGO TYPESA:	000100135
MATRIZ:	Frutas y hortalizas
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	Cotización N° 00020010100 LOTE: 280223 MUESTRA REFRIGERADA CANTIDAD: 270 g Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA:	
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:	
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:	
FECHA DE TOMA:	1/03/2023
FECHA DE RECEPCIÓN:	1/03/2023
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	1/03/2023 - 15/03/2023

RESULTADOS ANALÍTICOS FÍSICO-QUÍMICOS GENERALES					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Acidez titulable (Expresado como ácido cítrico)	% Ác. cítrico	1.959	NTP 203.070.1977 (revisada el 2017) PRODUCTOS ELABORADOS A PARTIR DE FRUTAS Y OTROS VEGETALES. Determinación de la acidez.	Volumetría	0.100
Carbohidratos	% Carbohidratos	6.26	PNTE-LTG-29. Rev.0 Determinación de Carbohidratos		
Ceniza	%	0.79	AOAC 940.26-1940, Ash of fruits and fruit products	Gravimetría	0.01
Grasa	%	0.77	AOAC 930.09-1930, Ether extract of plants. Gravimetric method	Gravimetría	0.5
Humedad	%	89.97	AOAC 930.15 Loss on Drying	Gravimetría	0.09
pH	ud. pH	3.6	NMX-F-317-S-1978 Determinación de pH en alimentos	Potenciométrica	---
Proteína (AOAC 920.152)	%	2.21	AOAC Official Method 920.115 Swwetened Condensed Milk G. Protein	Volumetría	0.01
Sólidos Solubles	*Brix	9.0	NTP 203.072: 1977 (revisada el 2017) Productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales. Determinación de sólidos solubles.	Refractometría	0.1

Callao, 15 de Marzo de 2023



Fdo. Vanessa León Legua
Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el INACAL - DA

NOTA:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPESA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPESA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao, Telef 511-711-9736/711-9753 E-mail: hbperu@typesa.com

MC2301-1

1/1

INFORME DE ENSAYO N° 000111381

CLIENTE: HEYDIE NAOMI LEYVA MAYO
DOMICILIO LEGAL: ()
REFERENCIA CLIENTE: PULPA DE TOMATE ANDINO
CÓDIGO TYPESA: 000102117
MATRIZ: Frutas y hortalizas
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020010100
 LOTE: 280223
 MUESTRA REFRIGERADA
 CANTIDAD: 270 g
 Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
FECHA DE TOMA:
FECHA DE RECEPCIÓN: 1/03/2023
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 1/03/2023 - 21/03/2023

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Aluminio (AOAC 2015.01)	mg/kg	1.6248	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.2783
Antimonio (AOAC 2015.01)	mg/kg	< 0.0105	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0105
Arsénico (AOAC 2015.01)	mg/kg	< 0.0188	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0188
Bario (AOAC 2015.01)	mg/kg	0.4715	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0236
Berilio (AOAC 2015.01)	mg/kg	< 0.0161	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0161
Boro (AOAC 2015.01)	mg/kg	1.2884	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0379
Cadmio (AOAC 2015.01)	mg/kg	< 0.006	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.006
Calcio (AOAC 2015.01)	mg/kg	245.3448	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.9412
Cobalto (AOAC 2015.01)	mg/kg	0.0507	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0169
Cobre (AOAC 2015.01)	mg/kg	0.8208	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0165
Cromo (AOAC 2015.01)	mg/kg	0.1932	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0198
Estaño (AOAC 2015.01)	mg/kg	< 0.1169	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.1169
Estroncio (AOAC 2015.01)	mg/kg	2.1169	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0607
Hierro (AOAC 2015.01)	mg/kg	4.4786	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.4553
Litio (AOAC 2015.01)	mg/kg	0.0521	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0146
Magnesio (AOAC 2015.01)	mg/kg	289.3666	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.3061

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el **INACAL - DA**

NOTA:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPESA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPESA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269. Callao. Telf 511-711-9736/711-9753 E-mail: labperu@typesa.com

INFORME DE ENSAYO N° 000111381

CLIENTE: HEYDIE NAOMI LEYVA MAYO
DOMICILIO LEGAL: ()
REFERENCIA CLIENTE: PULPA DE TOMATE ANDINO
CÓDIGO TYPSA: 000102117
MATRIZ: Frutas y hortalizas
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020010100
 LOTE: 280223
 MUESTRA REFRIGERADA
 CANTIDAD: 270 g
 Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:
FECHA DE TOMA:
FECHA DE RECEPCIÓN: 1/03/2023
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 1/03/2023 - 21/03/2023

RESULTADOS ANALÍTICOS METALES PESADOS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Zinc (AOAC 2015.01)	mg/kg	1.2298	AOAC Official Method 2015.01 (Heavy Metals in Food) 20th Ed.2016	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	0.0456

Callao, 21 de Marzo de 2023



Fdo. Vanessa León Legua
 Jefe de Laboratorio General y Espectroscopía
 CQP N° 927

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el **INACAL - DA**

NOTA:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

LABORATORIO TYPSA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269. Callao. Telf 511-711-9736/711-9753 E-mail: labperu@typsa.com