

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



**“DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS
REOLÓGICOS ASOCIADOS AL ZUMO DE TUNAS
(OPUNTIA FICUS-INDICA)”**

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

PRESENTADO POR:

FIGRELLA KATHERINE FLORES RIVADENEYRA
ROSTAIN CORDOVA RIVERA

Callao, 2019

PERÚ

PROLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por la **SRTA. BACHILLER FLORES RIVADENEYRA, FIORELLA KATHERINE Y EL SR. BACHILLER CORDOVA RIVERA, ROSTAIN**, ante el jurado conformado por los siguientes docentes ordinarios:

ING. ANCIETA DEXTRE, CARLOS ALEJANDRO : PRESIDENTE

ING. TOLEDO PALOMINO, MARIA ESTELA : SECRETARIA

ING. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA : VOCAL

ING. CARRASCO VENEGAS, LUIS AMÉRICO : ASESOR

Tal como está asentado en el libro de Actas de Sustentación de Tesis N° 02 Folio N° 131, Acta N° 314, de fecha VEINTIDÓS DE JULIO DEL DOS MIL DIECINUEVE, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, de acuerdo con lo normado por el reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 135-2017-CU de fecha 22 de junio 2017 y modificado con Resolución N°631-2017-R de fecha 24 de julio del 2017.

DEDICATORIA

En primer lugar agradecemos a Dios por permitirnos seguir con vida para lograr nuestros objetivos e iluminar nuestro día a día.

A nuestros padres por apoyarnos en todo momento y ser los pilares de nuestra formación.

A la Universidad Nacional del Callao por tantos momentos vividos y compartidos en sus pasillos y aulas, que por siempre será nuestra ALMA MATER.

A todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo para poder culminar esta gran etapa.

“El secreto de la sabiduría, el poder y el conocimiento es la humildad.”

Ernest Hemingway

AGRADECIMIENTO

Especialmente al Dr. Luis Carrasco Venegas por su constante apoyo en el desarrollo y culminación del proyecto de tesis,

A nuestros padres que siempre están con nosotros apoyándonos en cada paso y decisión que tomamos, ellos son nuestros mejores modelos a seguir ya que sin su apoyo no lograríamos nuestros objetivos.

A nuestros hermanos quienes con su aporte nos ayudaron en muchos aspectos, batallando unos con otros pero en conjunto logramos objetivos en común, apoyándonos siempre.

A nuestros abuelos que fueron nuestros segundos padres, nos aconsejaban recurriendo a su gran experiencia que se ven reflejadas en cada cana.

Y nuestros familiares que fueron parte de nuestra formación.

INDICE

I.	PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.1.	Determinación del problema.....	10
1.2.	Formulación del problema.....	13
1.3.	Objetivos de la investigación.....	13
1.4.	Justificación.....	14
II.	MARCO TEORICO.....	15
2.1.	Antecedentes del estudio.....	15
2.2.	Reología.....	18
2.3.	Modelos Reológicos.....	23
2.3.1.	Modelo de Oswald de Waele.....	24
2.3.2.	Modelo de Herschel-Buckley.....	24
2.3.3.	Modelo de Casson.....	25
2.3.4.	Modelo de Mizrahi Berk.....	26
2.3.5.	Modelo de Robertson Stiff.....	26
2.3.6.	Modelo de Ellis.....	27
2.3.7.	Modelo de Sisko.....	27
2.4.	Importancia de la reología en la industria alimentaria.....	28
2.4.1.	La tuna y su origen.....	29
2.4.2.	Producción de la tuna en el Perú.....	31
2.4.3.	Variedades de tunas.....	32
2.5.	Usos y Aplicaciones.....	34
2.6.	Energía de activación.....	35
2.7.	Definiciones de términos básicos.....	36
III.	VARIABLES E HIPOTESIS.....	38
3.1.	Definición de las variables de la investigación.....	38
3.2.	Operacionalización de variables.....	39
3.3.	Hipótesis General e Hipótesis Específicas.....	40
IV.	METODOLOGIA.....	41
4.1.	Tipo de investigación.....	41

4.2. Diseño de la investigación.....	42
4.3. Población y muestra.....	43
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
4.5. Procedimientos de recolección de datos.....	51
4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos.....	51
V. RESULTADOS.....	52
5.1. Resultados de los ensayos fisicoquímicos.....	52
5.2. Resultados de los ensayos reológicos para el zumo de Tuna.....	54
5.3. Resultados del ajuste de los modelos matemáticos.....	57
5.4. Resultados del análisis de varianza aplicado a los modelos matemáticos.....	64
5.5. Resultados del análisis factorial para el zumo de tuna.....	67
5.6. Resultados del cálculo de viscosidad.....	69
5.7. Resultados del cálculo de la energía de activación para el zumo de tuna.....	72
VI. DISCUSION DE RESULTADOS.....	79
6.1. Contratación de hipótesis con los resultados.....	79
6.2. Contratación de resultados con otros estudios similares.....	83
VII. CONCLUSIONES.....	86
VIII.RECOMENDACIONES.....	87
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS.....	92

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 2. 1: CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	30
TABLA N° 2. 2: EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES DEL PRODUCTO TUNA SEGÚN SUS PRINCIPALES MERCADOS 2014-2019	32
TABLA N° 2. 3: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PULPA DE TUNA.....	35
TABLA N° 4. 1: DISEÑO DE EXPERIMENTACIÓN POR BLOQUES	49
TABLA N° 5. 1: DENSIDAD	52
TABLA N° 5. 2: ACIDEZ	52
TABLA N° 5. 3: GRADOS BRIX.....	53
TABLA N° 5. 4: POTENCIAL DE HIDROGENO USANDO TIRAS DE PH.	53
TABLA N° 5. 5: POTENCIAL DE HIDROGENO USANDO POTENCIÓMETRO	53
TABLA N° 5. 6: DATOS REOLÓGICOS DE LA TUNA ANARANJADA.....	54
TABLA N° 5. 7: DATOS REOLÓGICOS DE LA TUNA VERDE.....	55
TABLA N° 5. 8: DATOS REOLÓGICOS DE LA TUNA ROJA	56
TABLA N° 5. 9: RESULTADOS DEL MODELO LEY DE POTENCIA.....	57
TABLA N° 5. 10: RESULTADOS DEL MODELO DE ROBERTSON STIFF ...	58
TABLA N° 5. 11: RESULTADOS DEL MODELO DE CASSON.....	59
TABLA N° 5. 12: RESULTADOS DEL MODELO HERSCHEL-BULKLEY.	60
TABLA N° 5. 13: RESULTADOS DEL MODELO MIZRAHI-BERK.....	61

TABLA N° 5. 14: RESULTADOS DEL MODELO SSKO	62
TABLA N° 5. 15: RESULTADOS DEL MODELO ELLIS.....	63
TABLA N° 5. 16: VISCOSIDAD APARENTE	71
TABLA N° 5. 17: VISCOSIDAD DIFERENCIAL.....	71
TABLA N° 5. 18: CÁLCULOS PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN	72
TABLA N° 5. 19: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE LA VISCOSIDAD APARENTE	74
TABLA N° 5. 20: CÁLCULOS PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN	76
TABLA N° 5. 21: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE VISCOSIDAD DIFERENCIAL.....	78
TABLA N° 6. 1: RESULTADOS DEL GRADO DE AJUSTE DEL MODELO MIZRAHI BERK	80

INDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO N° 2. 1: EXPORTACION DEL PRODUCTO TUNA SEGÚN SUS PRINCIPALES MERCADOS EN EÑ 2017	31
GRAFICO N° 5. 1: REOGRAMA DE LA TUNA ANARANJADA	54
GRAFICO N° 5. 2: REOGRAMA DE LA TUNA VERDE	55
GRAFICO N° 5. 3: REOGRAMA DE LA TUNA ROJA.....	56
GRAFICO N° 5. 4: REPRESENTACIÓN DE CAJAS PARA R ²	66
GRAFICO N° 5. 5: REPRESENTACIÓN DE CAJAS PARA LA VARIANZA MSE	66
GRAFICO N° 5. 6: ESFUERZO UMBRAL τ_{OM}	67
GRAFICO N° 5. 7: ÍNDICE DE CONSISTENCIA K_M	68
GRAFICO N° 5. 8: ÍNDICE DE FLUJO N_M	69
GRAFICO N° 5. 9: PENDIENTES PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN ..	73
GRAFICO N° 5. 10: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE LA VISCOSIDAD APARENTE	75
GRAFICO N° 5. 11: GRAFICA DE PENDIENTES PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN	76
GRAFICO N° 5. 12: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE VISCOSIDAD DIFERENCIAL	78
GRÁFICO N° 6. 1: REOGRAMA AJUSTADO PARA EL ZUMO DE TUNA VERDE	80

GRÁFICO N° 6. 2: REOGRAMA AJUSTADO PARA EL ZUMO DE TUNA ANARANJADO	81
GRÁFICO N° 6. 3: REOGRAMA AJUSTADO PARA EL ZUMO DE TUNA ROJA	81
GRÁFICO N° 6. 4: ÍNDICE DE CONSISTENCIA K_M	83

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 2. 1: COMPORTAMIENTO REOLÓGICO	17
FIGURA N° 2. 2: CIZALLA SIMPLE ENTRE DOS PLACAS PARALELAS ..	22
FIGURA N° 2. 3: MODELOS REOLÓGICOS.....	23
FIGURA N° 2. 4: REOGRAMA η VS γ	25
FIGURA N° 2. 5: VARIEDADES DE TUNAS.....	33
FIGURA N° 4. 1: MATERIA PRIMA - TUNAS	46
FIGURA N° 4. 2: DETERMINACIÓN DE DENSIDAD	46
FIGURA N° 4. 3: DETERMINACION DE ACIDEZ.....	47
FIGURA N° 4. 4: DETERMINACIÓN DE °BRIX.....	48
FIGURA N° 4. 5: DETERMINACIÓN DE PH.....	48
FIGURA N° 4. 6: ENSAYOS REOLÓGICOS	50
FIGURA N° 5. 1: ANOVA APLICADO A R2	64
FIGURA N° 5. 2: ANOVA APLICADO A MSE	65

RESUMEN

En este trabajo experimental fueron evaluados los modelos reológicos asociados al zumo de tunas (*Opuntia ficus-indica*), para las variedades de las tunas anaranjado, verde y roja a las temperaturas de 25, 30 y 35 °C. El zumo fue elaborado en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química que se encuentra en la Universidad Nacional Del Callao, se analizaron sus propiedades fisicoquímicas y su comportamiento reológico utilizando el reómetro rotacional Rheolab QC de cilindros concéntricos con el software Rheoplus. Los datos obtenidos fueron representados en reogramas, los cuales mostraron un comportamiento no newtoniano.

Los modelos seleccionados para el comportamiento reológico fueron: Ley de Potencia, Casson, Ellis, Herschel Bulkley, Mizrahi-Berk, Sisko y Robertson Stiff; los cuales se desarrollaron por el método de mínimos cuadrados para determinar sus parámetros. Se utilizó la técnica estadística ANOVA y la representación de cajas para determinar el modelo reológico óptimo para el zumo de tuna, siendo este el modelo de Mizrahi Berk. En base a este resultado se realizaron los análisis factoriales para el color y la temperatura, el cálculo de la viscosidad y de la energía de activación para el zumo de tunas (*Opuntia ficus-indica*). Finalmente, el zumo queda representado con un comportamiento reológico pseudoplástico siendo estos los aportes para el diseño de equipos y la industria alimentaria.

Palabras clave: Zumo de Tuna, modelo reológico, pseudoplástico

ABSTRACT

In this experimental work were evaluated rheological models associated with tuna juice (*Opuntia ficus-indica*), for varieties of tuna orange, green and red at temperatures of 25, 30 and 35 °c. The juice was produced in the Research Laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the National University of Callao, analyzed its physicochemical properties and its rheological behavior using the rotational rheometer RHEOLAB QC of cylinders Concentric with Rheoplus software. The data obtained were represented in Reogramas, which showed a non-Newton behavior.

The models selected for the rheological behavior were: Law of power, Casson, Ellis, Herschel Bulkley, Mizrahi-Berk, Sisko and Robertson rigid; Which were developed by the least-squares method to determine their parameters. We used the statistical technique ANOVA and the representation of boxes to determine the model rheological optimal for tuna juice, this being the model of Mizrahi Berk. Based on this result, factorial analyses were performed for color and temperature, the calculated viscosity and activation Energy for tuna juice (*Opuntia ficus-indica*). Finally, the juice is represented with a behavior rheological pseudoplastic being these contributions to the design of equipment and the food industry.

Keywords: tuna juice, model rheological, pseudoplastic.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Determinación del problema.

Las características reológicas que posee un fluido son uno de los principales criterios para la producción en el ámbito industrial a nivel mundial, incluyendo las de plásticos, pinturas, tintas, detergentes, alimentación, aceites lubricantes, etc. Citado de: (SANCHEZ CASAS & FRANCO MATOS, 2018)

Una de las metas más importantes de la reología es hallar ecuaciones constitutivas que nos permitirán modelar el comportamiento de los materiales, dichas ecuaciones en general tienen un carácter tensorial. Citado de: (ROJAS QUISPE & MOLINA RODRIGUEZ, 2017).

Frecuentemente, éstas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado, envasado, almacenamiento y estabilidad física.

A lo largo de la última década, la reología ha experimentado cambios muy notables gracias a los desarrollos teóricos y a la aparición en el mercado de aparatos de medida (reómetros) que son capaces de dar una información que va mucho más lejos que el valor de la viscosidad, y que resultan de vital importancia para la industria de procesos.

En este trabajo se realizará el estudio reológico de tres variedades de tunas que son: la tuna roja, la tuna naranja y la tuna verde (opuntia ficus-indica) haciendo una comparación de sus propiedades y el comportamiento de estas a diferentes condiciones para que el lector pueda diferenciarlos mejor y de acuerdo a ello hacer futuras investigaciones o desarrollo industrial.

La producción de la tuna es una actividad que se practica en Perú, Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, Colombia, México, Estados Unidos, etc. En la mayoría de estos países, la tuna se considera un producto secundario de nopaleras dedicadas a la producción de forraje, alimento para los animales, o a la conservación de suelos, o constituyen plantaciones especializadas en la producción de tuna en pequeñas superficies y sólo intervienen en los mercados nacionales e internacionales con limitada participación. Aún cuando México ocupa el primer lugar como productor a nivel mundial y cuenta con técnicos capacitados para un adecuado aprovechamiento de esta fruta, no ha logrado mejorar su presencia en los mercados internacionales.

La comercialización de este producto por sus propiedades funcionales puede generar ventajas competitivas que pueden traducirse en oportunidades de negocio y desarrollo de nuevos productos como mermeladas, jugos, frutas en almíbar, licores, medicinas, colorantes, pigmentos, etc. Ésta estrategia de valorización implica profundizar en el

mejoramiento de la calidad de la tuna durante toda la cadena productiva y establecer prácticas agrícolas.

La tendencia de consumo de alimentos, está relacionado con la demanda de frutas procesadas, debido a que los consumidores requieren alimentos confiables y saludables con alto contenido de vitaminas. Hay un creciente interés por los productos orgánicos, frutos silvestres y exóticos.

A la tuna no le dan mucha importancia para su industrialización y sin embargo, es un recurso muy importante que podría generar empleo para muchas personas, ya que también se puede aprovechar las pencas tiernas para ensaladas y encurtidos y las no tiernas se cortan en pequeños trozos, se dejan secar y se muelen para obtener harina para consumo humano y animal. Citado de: (CAILLAHUA, 2016)

“La goma de las pencas que, al mezclarlas con barro y paja, se utiliza como adherente en el tarrajeo de paredes de viviendas. También se usa como floculante y clarificante de las aguas turbias.” Citado de: (CAILLAHUA, 2016)

1.2. Formulación del problema.

Problema General

¿Qué modelos reológicos se relacionan con el zumo de tunas (*opuntia ficus indica*)?

Problemas Específicos

- a) ¿Qué relación tendrán el esfuerzo y la velocidad de corte en la determinación experimental para el zumo de tunas (*opuntia ficus indica*)?
- b) ¿Cuál será la relación de los datos obtenidos experimentalmente para encontrar los parámetros reológicos asociados al zumo de tunas (*opuntia ficus indica*)?
- c) ¿Qué tipo de reogramas relacionan al zumo de tunas (*opuntia ficus indica*) a las diferentes temperaturas?

1.3. Objetivos de la investigación.

Objetivo General

Determinar los modelos reológicos que relacionan al zumo de tunas (*opuntia ficus indica*).

Objetivos Específicos

- a) Determinar experimentalmente la relación que existe entre la velocidad y el esfuerzo de corte en el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*)

- b) Determinar los parámetros de los modelos reológicos relacionados con el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*) mediante tratamientos estadísticos.
- c) Elaborar reogramas relacionados al zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*) con los datos obtenidos a las temperaturas indicadas.

1.4. Justificación.

Los resultados de la investigación que se propone desarrollar, tendrá valiosos aportes en los siguientes contextos:

- a. **Teórica:** Se ampliará el conocimiento de la reología del zumo de la tuna para llevar un mejor control de los procesos y a la vez generar referencia para futuros trabajos relacionados con este producto.
- b. **Tecnológica:** Permitirá el desarrollo en la industria alimentaria para definir las consistencias de diferentes productos elaborados con pulpa de tuna; del mismo modo ayudará para el cálculo de la ingeniería de procesos ya que esta involucra una gran gama de equipos, asimismo permitirá asociar al zumo de tunas con diversos modelos reológicos.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio.

En las siguientes líneas presentaremos antecedentes de estudio cuyo desarrollo tienen relación directa con el objeto de estudio de esta investigación.

- Juan Mercado Flores, Melva López Orozco, Gerardo Martínez Soto y Mayra Arias Medina del instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato realizaron el estudio de las propiedades reológicas de la tuna en fresco, llegaron a resultados donde las variedades Xoconostle y Esmeralda presentan valores máximos en todo parámetro a excepción de la adhesividad en la cual presentaron valores mínimos y por el contrario las variedades Roja y Morada presentaron valores mínimos en todos los parámetros a excepción de la adhesividad en la cual presentaron valores máximos.

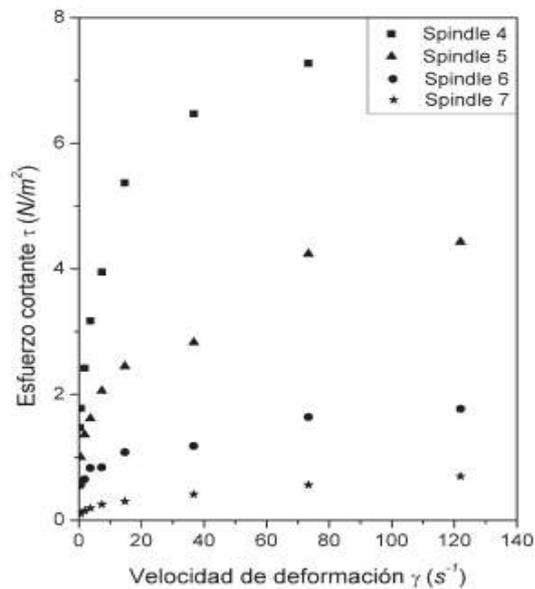
En la tuna Xoconostle, se observa que la Dureza se mantiene, la Resortividad y la Adhesividad aumentan y la Cohesividad, la Gomosidad y la Masticabilidad disminuyen durante el almacenamiento refrigerado.

En la tuna Esmeralda, la Cohesividad, la Resortividad, y la Adhesividad se mantienen, y la Gomosidad, la Dureza y la Masticabilidad disminuyen durante el almacenamiento bajo

refrigeración. Citado de: (MERCADO FLORES, LÓPEZ OROZCO, MARTÍNEZ SOTO, FLORES SOTO, & ARÉVALO LUCIANO, 2007)

- En la tuna Morada, la Cohesividad, la Resortividad, la Gomosidad y la Masticabilidad se mantienen, la Adhesividad aumenta y la Dureza disminuye durante el almacenamiento refrigerado. Citado de: (MERCADO FLORES, LÓPEZ OROZCO, MARTÍNEZ SOTO, FLORES SOTO, & ARÉVALO LUCIANO, 2007)
- Alicia Maestro Garriga realizó una maestría en diciembre del 2002 sobre la reología de espesantes celulósicos para pinturas al agua: modelización y mecanismo de espesamiento asociativo, donde realizó estudios de la interacción de los polímeros asociados con otros componentes de las pinturas, influencia de los cosolventes. Citado de: (MAESTRO GARRIGA, 2002)
- Alejandro Regalado Méndez y Octavio Antonio Noriega Ramos realizaron un estudio del comportamiento reológico de un fluido usando un viscosímetro de Brookfield mostraron gráficamente el comportamiento de la muestra a diferentes “splindles”. Citado de: (REGALADO MÉNDEZ & NORIEGA RAMOS, 2009)

FIGURA N° 2. 1: COMPORTAMIENTO REOLÓGICO



Fuente: (REGALADO MÉNDEZ & NORIEGA RAMOS, 2009)

- En julio del 2015 los ingenieros Carrasco Venegas Luis, Castañeda Pérez luz y Altamirano Oncoy Karina realizaron una investigación donde realizaron el cálculo de los parámetros reológicos de una muestra de shampoo usando el modelo de Carreau – Yasuda, el mismo que se efectuó mediante el método de regresión no lineal, el cual consiste en la formulación de una función objetivo que viene a ser la suma de la diferencia al cuadrado entre los datos observados experimentalmente y los estimados, obtenidos a partir del modelo propuesto mediante el modelo de Carreau-Yasuda. Dicha función objetivo se deriva, parcialmente, respecto a cada uno de los cinco parámetros del modelo y luego se iguala a cero. Este procedimiento permite obtener cinco ecuaciones algebraicas no

lineales, que han sido resueltas con el software Polymath. Citado de: (CARRASCO VENEGAS, CASTAÑEDA PEREZ, & ALTAMIRANO ONCOY, Modelos de Viscosidad de Fluidos No Newtonianos, 2014).

2.2. Reología.

Se define como la ciencia que estudia la deformación de sólidos y fluidos bajo la influencia de fuerzas mecánicas y se relaciona con diferentes disciplinas, entre las que destacan la física, química, biología, ingeniería y matemáticas. El campo de acción de la Reología incide en áreas tales como: ciencia de polímeros, tecnología del concreto y asfaltos, tecnología de lubricantes, pinturas, pigmentos, adhesivos, ciencias biomédicas (estudio del flujo sanguíneo, injertos de piel, etc.), bioingeniería, cosméticos, fármacos y alimentos. La reología establece relaciones entre tres variables: deformación, esfuerzo y tiempo. El esfuerzo y la deformación se relacionan con la fuerza aplicada al cambio de forma.

- **Funciones materiales**

Son propiedades de los materiales que dependen únicamente de la naturaleza de éste.

Para fluidos newtonianos existe una función material que los caracteriza, la viscosidad (μ), la cual en condiciones isotérmicas es constante. Por otra parte, en fluidos no newtonianos las funciones materiales dependen de la velocidad de corte, frecuencia, tiempo,

entre otras variables. Estas funciones materiales sirven para clasificar fluidos y pueden ser usadas para determinar constantes en ecuaciones constitutivas no newtonianas. Ejemplos de funciones materiales son: la viscosidad, los coeficientes de esfuerzos normales, el módulo de almacenamiento, el módulo de pérdida, la viscosidad relativa, la viscosidad específica, la viscosidad reducida, la viscosidad intrínseca, etc.

- Esfuerzo

El esfuerzo (σ) es definido como la fuerza por unidad de área. A diferencia de la fuerza, es un parámetro que incluye el efecto de las dimensiones de la muestra (área) y por lo tanto puede ser usado para evaluar la respuesta mecánica del material. Existen dos tipos de esfuerzo: el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante (también llamado esfuerzo de cizalla). El primero actúa en forma perpendicular a la superficie del material y el segundo paralelamente a ésta.

- Deformación

Cambio de forma, de volumen o de ambos, en un material, resultante de la modificación de las distancias relativas entre los puntos del mismo (*deformation*). En Física se utiliza el mismo término para denominar a la medida de deformación respecto a una dimensión de referencia (longitud, área o volumen). Este concepto en inglés se denomina *strain* y puede ser expresado

como porcentaje de deformación (% strain) o simplemente como deformación.

- Fluido Newtoniano.

Es aquel fluido cuya relación entre la velocidad de corte o velocidad de cizallamiento ($\dot{\gamma}$) y el esfuerzo de corte o densidad de flujo viscoso de transporte de cantidad de movimiento (τ) es constante.

Citado de: (CARRASCO VENEGAS, CASTAÑEDA PEREZ, & ALTAMIRANO ONCOY, Modelos de Viscosidad de Fluidos No Newtonianos, 2014)

- Fluido no Newtoniano.

Este tipo de fluidos no tienen una sola viscosidad a una temperatura dada, se dice que son dependientes tanto de la temperatura como de la velocidad de deformación y puede ser también dependiente del tiempo. Con base en esta última condición, los fluidos no Newtonianos, explica pueden clasificarse en:

- Pseudoplásticos: Para este tipo de fluido la viscosidad decrece conforme se incrementa la velocidad de deformación. La razón por la cual se da este comportamiento, es que, al haber mayor velocidad de deformación, las partículas de este tipo de fluidos se reacomodan de tal modo que existe una menor resistencia al flujo y por lo tanto una menor viscosidad.

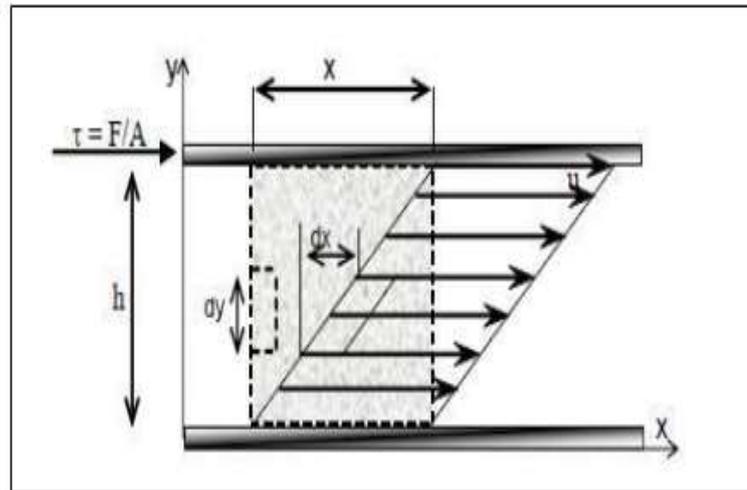
- Dilatantes: La viscosidad de estos fluidos incrementa al mismo tiempo que la velocidad de deformación se acrecienta. Éste tipo de comportamiento es común en suspensiones de muy alta concentración.
- Plásticos y plástico de Bingham. Estos fluidos requieren la aplicación de una fuerza antes de que el material comience a fluir. A dicha fuerza se le conoce como esfuerzo de cedencia (τ_0).
- Flujo de Cizalla simple

Un flujo de cizalla es aquél en el cual:

- ✓ Existe una familia uni-paramétrica de superficies materiales de fluido. Esta familia constituye las superficies de cizallamiento las cuales se mueven isométricamente, es decir, la distancia entre cualesquiera dos partículas vecinas en la superficie es constante (flujo laminar).
- ✓ El volumen de cada elemento de fluido es constante.
- ✓ Si además de estas condiciones se cumple que:
- ✓ El flujo es unidireccional pero no necesariamente estacionario reológicamente.
- ✓ La velocidad de cizalla es constante

El flujo se denomina flujo de cizalla simple

FIGURA N° 2. 2: CIZALLA SIMPLE ENTRE DOS PLACAS PARALELAS



Fuente: (NUÑEZ CARBALLAR, 2016)

- Flujo Viscosimétrico

Es un flujo en condiciones de cizallamiento simple en estado estacionario. Ejemplos de flujo viscosimétricos son: el flujo axial en tuberías, flujo rotacional en cilindros concéntricos, flujo rotacional ente cono y flujo de fluidos confinados entre dos placas, una móvil y la otra fija.

- Pruebas de flujo

Comúnmente a las pruebas de flujo en cizalla simple estacionaria (flujo viscosimétrico) se les denomina pruebas de flujo. A partir de los datos experimentales de σ vs $\dot{\gamma}$ ó η vs $\dot{\gamma}$, se determinan las curvas de flujo del fluido que describen el comportamiento reológico del fluido o bien son usadas para determinar parámetros reológicos a través del ajuste de modelos reológicos.

2.3. Modelos Reológicos

Los modelos reológicos son ecuaciones empíricas que relacionan las variables:

Esfuerzo y velocidad de corte de fluidos, a través de coeficientes o parámetros que describen y clasifican su comportamiento al flujo. Se han desarrollado varios modelos para describir el comportamiento no newtoniano de fluidos, principalmente de aquéllos que tiene un comportamiento reológico independiente del tiempo. Entre los modelos más conocidos se encuentran: el modelo de Ostwald de Waele (modelo de la Ley de la potencia), el modelo de Bingham, el modelo de Carreau, el modelo de Cross, Casson, Herschel-Bulkley, entre otros.

FIGURA N° 2. 3: MODELOS REOLÓGICOS

Modelos de 1 parámetro	
Ley de Newton	$\sigma = \mu \dot{\gamma}$
Modelo de Newton generalizado	$\sigma = \eta \dot{\gamma}$
Modelos de 2 parámetros	
Bingham	$\sigma = \sigma_0 + \eta_0 \dot{\gamma}$
Casson (Casson, 1959)	$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + K_1(\dot{\gamma})^{0.5}$
Ostwald de Waele (Ley de la potencia)	$\sigma = K \dot{\gamma}^n$
Modelos de 3 parámetros	
Herschel-Bulkley	$\sigma = \sigma_0 + K(\dot{\gamma})^n$
Casson modificado	$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + K_1(\dot{\gamma})^n$
Herschel-Bulkley generalizado	$\sigma^n = (\sigma_0)^n + K_1(\dot{\gamma})^{n_2}$
Ellis (1927)	$\dot{\gamma} = K_1\sigma + K_2(\sigma)^n$
Carreau (1972)	$\eta = \frac{\eta_0}{\left[1 + (t_1 \dot{\gamma})^2\right]^{\frac{(1-n)}{2}}}$
Cross-Williamson (1965)	$\eta = \frac{\eta_0}{1 + t_1 \dot{\gamma} ^{1-n}}$

Fuente: (STEFFE, 1996)

2.3.1. Modelo de Oswald de Waele

Es el modelo más utilizado para describir el comportamiento de los fluidos no newtonianos; es un modelo sencillo y muy utilizado en cálculos de ingeniería aunque sólo describe la zona lineal del comportamiento reológico.

$$\eta = K(\dot{\gamma})^{n-1}$$

n = índice de flujo (-)

K = índice de consistencia

Si $n < 1$ el fluido es Pseudoplástico

$n > 1$ el fluido es dilatante

$n = 1$ fluido newtoniano

2.3.2. Modelo de Herschel-Buckley

Es un modelo de tres parámetros que incluye un esfuerzo de cedencia, τ_0 , se considera una extensión del modelo de la ley de la potencia o modelo de Ostwald de Waele. Este modelo se utiliza para modelar el comportamiento reológico de materiales cuya viscosidad tiende a infinito (carácter sólido) conforme $\dot{\gamma}$ tiende a cero.

Los reogramas de estos materiales no muestran la meseta newtoniana a velocidades de cizalla bajas, es decir no se aprecia un valor de η_0 como el observado en la curva 3 de la Figura N° 2.4. Por esta razón, el modelo de la Ley de la potencia puede también ser usado para describir el comportamiento reológico de estos materiales, y el parámetro τ_0 , del

modelo de Herschel-Bulkley es realmente un parámetro de ajuste matemático, al cual frecuentemente se le asocia un significado de esfuerzo de cedencia.

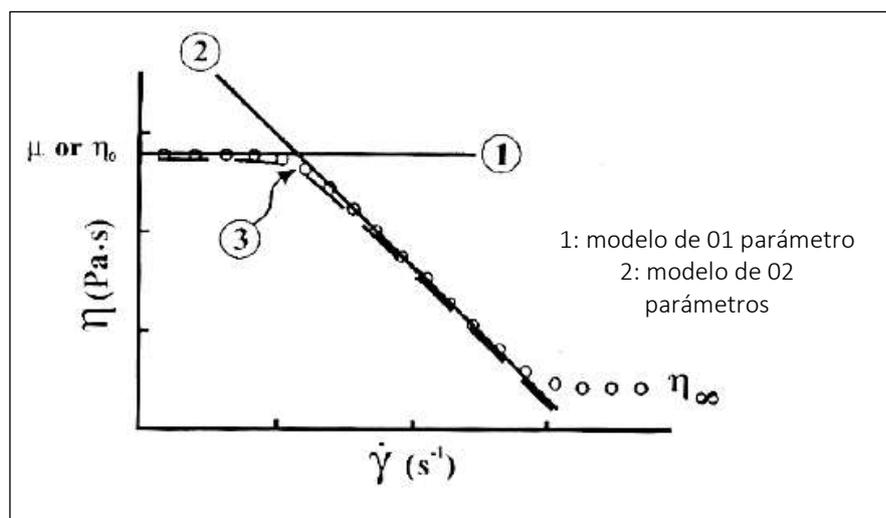
$$\tau = \tau_{0H} + K_H \dot{\gamma}^{n_H}$$

K_H : Constante de Herschel

τ_{0H} : Umbral de fluencia

n_H : Índice de flujo

FIGURA N° 2. 4: REOGRAMA η VS $\dot{\gamma}$



Fuente: (Adaptado de Carreau, 1997)

2.3.3. Modelo de Casson

Este modelo da una buena descripción de las características reológicas de los fluidos de perforación. A altas temperaturas y bajas presiones la aproximación se hace más pobre. La relación que los caracteriza es:

$$\tau^{0.5} = K_{0C} + K_C \gamma^{0.5}$$

K_C : Índice de consistencia Casson

K_{0C} : Constante de Casson

2.3.4. Modelo de Mizrahi Berk

Es una modificación de la ecuación del modelo de Casson. Las constantes reológicas (K_C , n) son características de un fluido a un valor dado de temperatura y concentración.

$$\tau^{0.5} = \tau_{0M} + K_M \gamma^{n_M}$$

τ_{0M} : Constante de Mizrahi-Berk

K_M : Índice de consistencia Mizrahi-Berk

n_M : Índice de flujo

2.3.5. Modelo de Robertson Stiff

Modelo muy similar al modelo de potencia, con la introducción de un término correctivo para las tasas de cizallamiento.

$$\tau = K_R (\gamma_0 + \gamma)^{n_R}$$

K_R : Índice de consistencia Robertson Stiff (Pa.sⁿ)

γ_0 : Velocidad inicial de deformación (1/s)

n_R : Índice de flujo

2.3.6. Modelo de Ellis

Este modelo presenta la facilidad y flexibilidad de trabajar bajo comportamiento newtoniano y no newtoniano dependiendo del esfuerzo.

$$\tau = \gamma / \left[\frac{1}{n_0} + K_E \tau^{\left(\frac{1}{n_E} - 1\right)} \right]$$

K_E : Índice de consistencia

n_0 : Constante de Ellis

n_E : Índice de flujo

2.3.7. Modelo de Sisko

Este modelo puede ser aplicado en operaciones como el bombeo de alimentos líquidos y los procesos de mezcla que implican altos gradientes de velocidad. Citado de: (SANCHEZ CASAS & FRANCO MATOS, 2018)

$$\tau = n_\alpha \gamma + K_S \gamma^{n_S}$$

K_S : Índice de consistencia Sisko

n_α : Constante de Sisko

n_S : Índice de flujo

2.4. Importancia de la reología en la industria alimentaria

La ciencia de la reología es muy importante en la industria alimentaria debido a que tiene muchas aplicaciones en la manipulación, procesamiento y aceptabilidad de los alimentos, así como en la tecnología aplicada. La viscosidad, el tipo de comportamiento del flujo y la estructura del material, son aspectos básicos para el diseño del proceso y la buena calidad del producto terminado. La calidad de los alimentos depende de la plasticidad, pseudoplásticidad y la propiedad de adelgazamiento por corte, factores determinados por la ciencia de la reología. Concretamente, los datos reológicos de los alimentos son necesarios en la industria alimentaria para poder realizar cada una de las actividades que a continuación se mencionan: Citado de: (SANCHEZ CASAS & FRANCO MATOS, 2018)

- Cálculos necesarios para la ingeniería de procesos que involucran una amplia gama de equipos (tuberías, bombas, extrusores, amasadoras, máquinas de pintar, intercambiadores de calor, homogeneizadores, calentadores, viscosímetros en línea, etc.). Citado de: (RAMÍREZ NAVAS, 2006)
- Determinación de la funcionalidad de los ingredientes en el desarrollo de productos. (RAMÍREZ NAVAS, 2006)
- Control de calidad de los productos intermedios o finales, este control se realiza en la propia línea de producción y es

determinante para la aceptación de los productos. Citado de:
(SANCHEZ CASAS & FRANCO MATOS, 2018)

- Pruebas para determinar la vida útil de anaquel.
- La producción de pinturas, pegamentos, cosméticos, etc.
- Estabilidad de emulsiones y suspensiones. Citado de: (RAMÍREZ NAVAS, 2006)
- Evaluación de la textura de los alimentos mediante la correlación de los datos sensoriales, punto importante para que el producto sea aceptado por los consumidores. Citado de: (SANCHEZ CASAS & FRANCO MATOS, 2018)

2.4.1. La tuna y su origen

Los primeros restos sobre el uso de cactáceas encontrados en el Perú datan de la época del Horizonte Pre-agrícola (10,000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay en las cercanías del lago de Junín sobre los 4200 msnm. En ese sitio se hallaron semillas de una especie de Opuntia de una antigüedad de más de 11,800 años, la cual podría tratarse de *Austrocy lindropuntia floccosa*, que es la única que crece en tales altitudes y cuyos frutos aún siguen siendo consumidos en las serranías del centro y sur del país.

Descripción de la planta

- Características Físicas

La tuna presenta diferentes características dependiendo de la subespecie a la cual se esté refiriendo; en general y de acuerdo con un estudio hecho por donde se evaluaron las variaciones morfológicas de frutos recolectados en 21 plantíos del tipo solar, experimental y comercial.

- Clasificación Científica

El primer nombre español es Higo de las Indias, que alude a su origen, las “Nuevas Indias” y de allí su primer nombre científico: *Cactus ficus-indica* L. El nombre *ficus-indica* había sido usado en “frases diagnósticas” ya mucho antes de Linneo, para designar varias especies.

TABLA N° 2. 1: CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

DIVISION	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	MAGNOLIOPSIDA
SUB CLASE	CARYOPHYLLIDAE
ORDEN	CARYIOPHYLLALES
FAMILIA	CACTACEA
GÉNERO	Opuntia
ESPECIE	<i>Opuntia ficus-indica</i> (Linnaeus) Miller

Fuente: (Museo de Historia Natural, 2016)

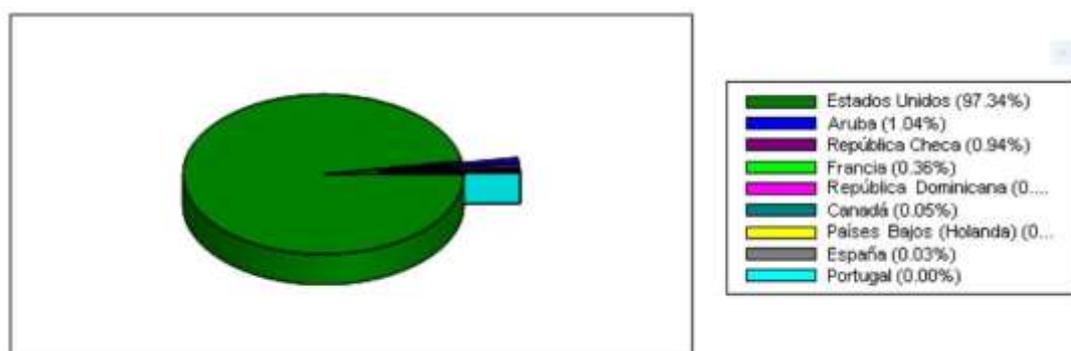
2.4.2. Producción de la tuna en el Perú

El cultivo de la tuna en el Perú constituye una actividad importante en la región de la Sierra, aunque en los últimos 20 años se ha incrementado su cultivo en la Costa. En la Sierra la mayor proporción de tunales permite obtener fruta y cochinilla, mientras que en la costa se puede desarrollar un tipo de explotación: fruta o cochinilla. Citado de: (CASTAGNINO ACOSTA, 2016)

La tuna en nuestro país es producida principalmente en los departamentos de Ayacucho, Huancavelica, Lima y Cusco.

El área total de producción es muy variable, estimándose en unas 10,000 has aproximadamente. Dependiendo de la zona de producción, de la variedad y del manejo cultural, los rendimientos son entre 4 y 11 ton / ha. Las zonas productoras de tuna de Lima son las que poseen la mejor tecnología, lográndose altos rendimientos especialmente en la variedad tuna blanca.

GRAFICO N° 2. 1: EXPORTACION DEL PRODUCTO TUNA SEGÚN SUS PRINCIPALES MERCADOS EN EL 2017



Fuente: (SUNAT, 2019)

TABLA N° 2. 2: EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES DEL PRODUCTO TUNA SEGÚN SUS PRINCIPALES MERCADOS 2014-2019

	2014	2015	2016	2017
Estados Unidos	129.646,00	90.877,20	145.361,69	374.540,51
Aruba	0,00	0,00	449,75	4.019,78
República Checa	1.800,57	2.860,80	1.710,00	3.600,00
Francia	2.618,85	1.652,60	1.953,76	1.386,24
República Dominicana	0,00	0,00	0,00	784,10
Canadá	0,00	705,60	118,38	201,00
Países Bajos (Holanda)	2,00	0,00	0,00	140,89
España	0,00	0,00	162,00	108,00
Portugal	0,00	0,00	0,00	5,00
Alemania	540,58	3.002,68	0,00	0,00
Curazao	20,40	20,40	88,40	0,00
Bolivia	3.249,82	0,00	0,00	0,00
Hong Kong	0,00	0,00	6,70	0,00
Italia	0,00	57,00	0,00	0,00
Japón	2,00	0,00	0,00	0,00
Aguas Internacionales	0,00	0,00	29.294,25	0,00
Chile	1.174,30	127,00	1.620,00	0,00
Total	139.054,52	99.303,28	180.764,93	384.785,52

Fuente: (SUNAT, 2019)

2.4.3. Variedades de tunas

En nuestro país, se conocen las siguientes variedades:

- Tuna Blanca: Proviene de una planta con 1.5 - 2.5 m de altura, flores color amarillo claro, pencas de 20 - 25 cm de diámetro. Es una planta

susceptible a plagas y enfermedades. Sus frutos son de color verde claro, muy jugoso, dulce y cristalino. Es el fruto de mayor aceptación.

- Tuna Morada: Proviene de una planta con altura superior a los 3 metros. Sus flores son de color violeta. Tiene buena calidad de fruto, cuyo color es rojo.

- Tuna amarilla: Proviene de plantas con tamaño de 2 a 3 m. Sus pencas tienen 15 - 25 cm de diámetro. Son resistentes a plagas y enfermedades. Esta es la mejor tuna para la producción de cochinilla, los frutos tienen un color naranja claro.

FIGURA N° 2. 5: VARIEDADES DE TUNAS



Fuente: (SWEET CANELA, 2017)

2.5. Usos y Aplicaciones

De la tuna se utiliza el mucílago, la cáscara, la pulpa y sus compuestos químicos para la elaboración de aceites comestibles, pectinas y colorantes. Se emplea también en la elaboración de vinos, licores, refresco "tuna", miel de tuna tipo maple (que los conquistadores llamaron "melcocha"), queso de tuna, mermeladas, jaleas, deshidratados para dulces de alto valor energético, barras de cereales, alcohol industrial, vinagres, aromatizantes, pasta y harina forrajera. El contenido de fibras, proteínas, minerales y materias grasas de la *Opuntia ficus indica* es mayor que el encontrado en otras frutas; una taza de higos contiene 5g de fibra, 20% más de la cantidad recomendada para el consumo diario, 6% de hierro, 6% de calcio y 7% de potasio. Sus carbohidratos se componen de glucosa o fructosa. Una porción de 40g de *Opuntia ficus indica* sustituye el consumo de una fruta. Por las características nutricionales de este fruto, el Higo Chumbo encaja en prácticamente en cualquier dieta, sea esta baja en sodio, alta en fibra, para pérdida de peso y para tratar diabetes. La *Opuntia ficus indica*, también es utilizada con fines medicinales, como astringente, antiinflamatorio, antipirético, analgésico, tonificante, afrodisíaco y laxante, entre otros usos que se han encontrado a nivel experimental, tales como: fuente de energía para la producción de gas metano, producción de biomasa y enzimas, producción de pectina a partir de la penca y extracción de colorantes a partir del mismo cultivo mediante la infesta del insecto Carmín de la Cochinilla.

Composición química de la pulpa:

TABLA N° 2. 3: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PULPA DE TUNA.

Por cada 100 gr. De producto comestible de tuna	
Calorías	34g
Agua	90.3 gr
Carbohidratos	9.0 mg.
Proteínas	0.5 mg.
Fosforo	11 mg.
Calcio	1 mg.
Hierro	0.4 mg.
Niacina	0.3 mg.
Vitamina C	15 mg.

Fuente: (DÍAZ SÚÑIGA & LÓPEZ SÁNCHEZ, 2018)

2.6. Energía de activación

Para el cálculo de la energía de activación se parte de la ecuación de Arrhenius, la cual indica la relación entre la viscosidad y la temperatura.

$$\mu_{ap} = \mu_{ap0} e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (1)$$

μ_{ap} : Viscosidad

μ_{0ap} : Viscosidad inicial

Ea : Energía de activación

T : Temperatura

Se desarrolla una expresión lineal para el cálculo de la energía de activación

$$\ln(\mu_{ap}) = \ln(\mu_{ap0}) - \frac{Ea}{RT} \quad (2)$$

Organizando los términos de la ecuación (2)

$$\ln(\mu_{ap}) = -\frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \ln(\mu_{ap0}) \quad (3)$$

La ecuación anterior es comparable con:

$$y = mx + b \quad (4)$$

Se genera los siguientes cambios de variables:

$$y = \ln(\mu_{ap}) \quad (5)$$

$$x = \left(\frac{1}{T} \right) \quad (6)$$

2.7. Definiciones de términos básicos

- Esfuerzo de Corte: Resistencia del fluido al movimiento deslizante de sus capas cuando se aplica una fuerza en forma tangencial a su superficie laminar. Tiene unidades de fuerza sobre área.
- Fluido: Sustancias que están en estado líquido o gaseoso.

- Fluido no newtoniano: Son todos aquellos fluidos donde no hay relación directa entre el esfuerzo y la velocidad de corte. Citado de: (ROJAS QUISPE & MOLINA RODRIGUEZ, 2017)
- Índice de consistencia Medida indirecta de la viscosidad, depende del índice de comportamiento de flujo.
- Índice de comportamiento de flujo Desviación del comportamiento reológico con respecto a los fluidos newtonianos.
- Pseudoplástico Característica de un fluido no newtoniano en la cual su viscosidad se reduce con el gradiente de esfuerzo de corte.
- Reograma Representación gráfica del comportamiento reológico de un fluido, esfuerzo de corte frente a velocidad de corte
- Tasa de Corte: Diferencia entre las velocidades de dos capas dividida la distancia que las separa. Tiene unidades de velocidad sobre longitud.
- Tuna: fruto jugoso y de cáscara dura del nopal
- Viscosidad: Resistencia que opone un fluido a ser deformado. En términos matemáticos es la relación de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y la tasa de corte.
- Zumo: Líquido que se extrae de las frutas y vegetales mediante presión o cocción y se toma como alimento

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1. Definición de las variables de la investigación

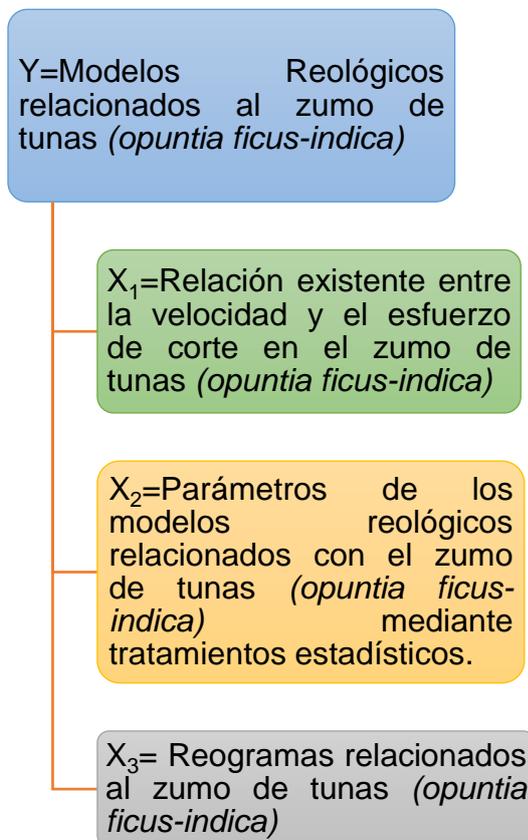
Según su naturaleza, las variables determinadas son cuantitativas.

Según su dependencia, las variables (X1, X2, X3) y Y son independientes y dependiente, respectivamente.

Relacionando dichas variables tenemos:

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

La grafica muestra la relación entre dichas variables.



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

3.2. Operacionalización de variables.

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y=Modelos Reológicos relacionados al zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>)	Representación de los datos obtenidos de manera experimental usando los modelos reológicos relacionados al comportamiento del zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	El coeficiente de correlación múltiple y revisión de su varianza.	Realizando la relación de las variables X_1 , X_2 y X_3 .

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X_1 =Relación existente entre la velocidad y el esfuerzo de corte para el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	Revisión de la concordancia entre la velocidad y el esfuerzo de corte.	Variaciones en la relación no lineal.	Gráfico
X_2 =Parámetros de los modelos reológicos relacionados con el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>) mediante tratamientos estadísticos.	Relación cuantitativa entre los resultados de esfuerzo y velocidad de corte del zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	Índice de correlación y análisis de la varianza.	Regresión no lineal.
X_3 = Reogramas relacionados al zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	Diagrama de los reogramas que caracterizan el comportamiento del zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	Desviación estándar respecto a la media del comportamiento de fluido newtoniano.	Gráfico.

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

3.3. Hipótesis General e Hipótesis Específicas.

Hipótesis General

El zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*) tiene un comportamiento reológico parecido al de los fluidos Pseudo-plásticos (Robertson Stiff, Casson, Sisko y otros).

Hipótesis Específicas

- a. El esfuerzo y la velocidad de corte guardan una relación no lineal para el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).
- b. Realizando el análisis estadístico de los datos obtenidos para la velocidad y esfuerzo de corte, obtendremos los parámetros de los modelos relacionados con el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).
- c. Los reogramas del zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*) se comportan similar a un fluido no newtoniano, particularmente a los fluidos Pseudo-plásticos.

IV. METODOLOGIA

4.1. Tipo de investigación.

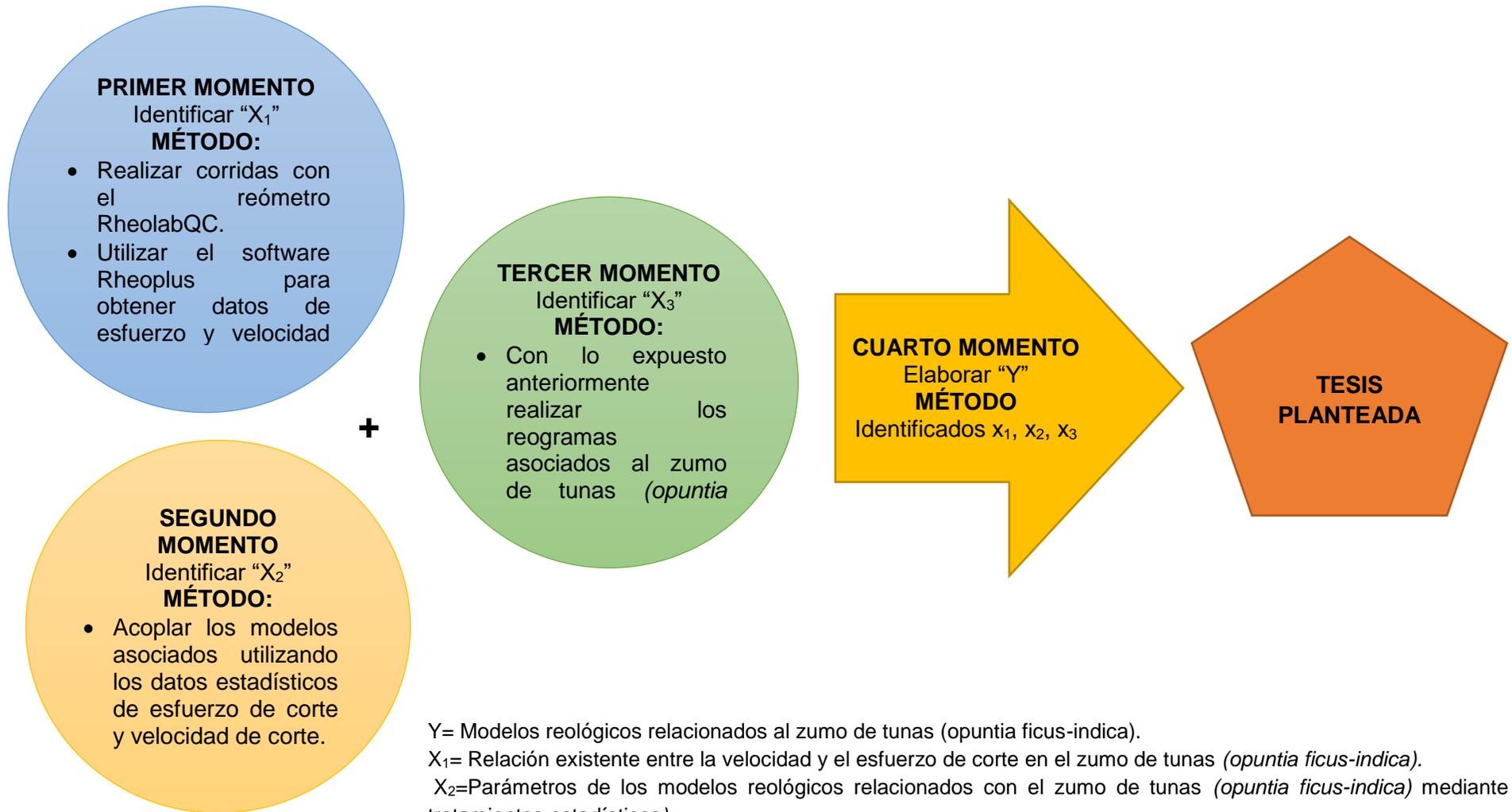
La Investigación propuesta es del tipo experimental, una investigación que utiliza los principios encontrados en el método científico.

Por su finalidad es de tipo exploratorio, puesto que busca encaminar por nuevos rumbos para llevar a cabo la investigación en campos no estudiados o poco estudiados.

Por su diseño interpretativo es experimental porque permitirá manipular el factor causal para determinar el efecto deseado.

Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados es del tipo cuantitativo porque las variables de la investigación son cuantitativas.

4.2. Diseño de la investigación



Y= Modelos reológicos relacionados al zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).

X₁= Relación existente entre la velocidad y el esfuerzo de corte en el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).

X₂=Parámetros de los modelos reológicos relacionados con el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*) mediante tratamientos estadísticos).

X₃=Reogramas relacionados al zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).

4.3. Población y muestra.

Población

La población fue 18 kilogramos de tunas (*Opuntia ficus-indica*) que son originarias de Ancash.

Muestra

La muestra es de 6 unidades de cada color (roja, naranja, verde) y es representativa considerando que las tunas (*Opuntia ficus – indica*) a ensayar se encuentran en estado óptimo de calidad ya que se escogieron considerando sus características organolépticas.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

4.4.1. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales se realizaron en el ambiente del laboratorio de investigación de la facultad de ingeniería química de la UNAC. (Bellavista, Callao. Perú)

4.4.2. Técnica de recolección de datos

a. Tratamiento físico

La preparación de muestra se realizó mediante una serie de operaciones detalladas en el ítem 4.4.4.

b. Obtención de las muestras de ensayo

Un lote de 6 kg de tunas de cada color (rojo, naranja y verde), cuyas características organolépticas y calidad son propios de la Sierra de Ancash, tomamos las tunas para cada prueba de las cuales se extrajeron el zumo para realizar los análisis de pH, °Bx, %Acidez y el estudio reológico.

c. Análisis cuantitativo

Medición del esfuerzo de corte a temperatura controlada con un sistema de enfriamiento, llevado a cabo en el reómetro RheoLab QC, con el cual se obtienen los reogramas para cada ensayo, que serán explicados y detallados más adelante.

d. Análisis matemático

Se aplicó el método de mínimos cuadrados para la regresión de cada modelo, se calcularon los parámetros del modelo, el índice de correlación y la varianza asociada.

4.4.3. Instrumentos de recolección de datos

a. Materiales

- Mortero grande
- Probetas
- Bagueta
- Vasos de precipitado
- Bureta 25 ml
- Matraces de 250 ml

- Pipeta de 10 ml
- Soporte universal
- Nuez
- Tiras de pH
- Pisseta

b. Equipos

- Reómetro RheolabQC
- Potenciómetro
- Brixómetro
- Balanza al 0.1g
- Densímetro digital

c. *Reactivos*

- *Fenolftaleína 0.1%*
- *Hidróxido de sodio 0.1 N*
- Agua de destilada

4.4.4. Procedimiento de recolección de datos

a. *De la Materia prima*

Para los ensayos se usó aproximadamente 18 kg de materia prima (tunas verde, roja y naranja) provenientes de la Sierra de Ancash, las cuales pasaran por un pre-tratamiento para a extracción del zumo de tunas.

FIGURA N° 4. 1: MATERIA PRIMA - TUNAS



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

b. Análisis Fisicoquímico del zumo

En este punto se señala la metodología utilizada en el análisis del zumo de tuna utilizado para el estudio.

- **Determinación de densidad.** Se determinó la densidad del zumo de tuna con el equipo densímetro digital Rudolph que nos proporcionó la empresa Vistony S.A.C. Citado de: (VISTONY)

FIGURA N° 4. 2: DETERMINACIÓN DE DENSIDAD



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

- **Determinación del % de acidez.** Se toman 3 tunas de cada color y se tritura en el mortero, luego dejamos reposar por aproximadamente 5 minutos y se separa por decantación el zumo la cual se colocará en un vaso de precipitado, obteniéndose (30 ml zumo tuna roja, 25 ml zumo tuna naranja y 18 ml zumo de tuna verde). Se tomará una alícuota de 5 ml de cada uno, para su titulación con hidróxido de sodio 0.1 N, previo a la titulación se agrega de cuatro a cinco gotas de indicador fenolftaleína, agita ligeramente y proceder a abrir la llave de la bureta previamente cargada con hidróxido de sodio. Titular con la solución hasta el cambio de color. Citado de: (A.O.A.C, 1994)

FIGURA N° 4. 3: DETERMINACION DE ACIDEZ



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

- **Determinación de °Bx.** Se utilizó el refractómetro manual para medir los grados brix del zumo de la tunas, este equipo fue proporcionado por la FIQ UNAC. Citado de: (A.O.A.C, 1994)

FIGURA N° 4. 4: DETERMINACIÓN DE °BRIX



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

- **Determinación de PH.** Se determinó el pH entre dos electrodos sumergidos en la muestra de zumo de las tunas que se estudia para la medida de la diferencia de potencial (cuantitativamente). Citado de: (A.O.A.C, 1994) y cualitativamente mediante indicadores de tiras de Ph (MColorspHast). Citado de: (VISTONY)

FIGURA N° 4. 5: DETERMINACIÓN DE PH



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

c. Estudio reológico del zumo

Se determinaron las variables (esfuerzo de corte, velocidad de corte, viscosidad, etc.) mediante el equipo Reómetro RheolabQC del laboratorio experimental de la FIQ. UNAC de

acuerdo al diseño experimental por bloques 3 x 3. Posteriormente se realizaron los ajustes de mínimos cuadrados con los datos reológicos (τ , γ) para demostrar los modelos a los que está asociado el zumo de tunas.

TABLA N° 4. 1: DISEÑO DE EXPERIMENTACIÓN POR BLOQUES

Tratamientos	Factores		Resultados:
	Color	Temperatura	
1	Naranja	25	(τ , γ)1
2	Naranja	30	(τ , γ)2
3	Naranja	35	(τ , γ)3
4	Verde	25	(τ , γ)4
5	Verde	30	(τ , γ)5
6	Verde	35	(τ , γ)6
7	Rojo	25	(τ , γ)7
8	Rojo	30	(τ , γ)8
9	Rojo	35	(τ , γ)9

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

FIGURA N° 4. 6: ENSAYOS REOLÓGICOS

COLOR VERDE	COLOR NARANJA	COLOR ROJO
 A photograph showing a person wearing blue gloves using a white mortar and pestle to grind a green, chunky material in a white mortar.	 A photograph showing a person wearing blue gloves using a white mortar and pestle to grind an orange, granular material in a white mortar.	 A photograph showing a person wearing blue gloves using a white mortar and pestle to grind a red, granular material in a white mortar.



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

4.5. Procedimientos de recolección de datos

4.5.1. Fuentes primarias

En el Laboratorio de Investigación FIQ – UNAC se realizaron las operaciones físicas para el tratamiento de la materia prima, la extracción del zumo y la determinación de los datos reológicos asociados al zumo de tuna.

4.5.2. Fuentes secundarias

Para un óptimo desarrollo de la experimentación se utilizaron fuentes bibliográficas, revistas científicas, manuales de equipos, tesis, etc.

4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos

Software: Los datos obtenidos se procesaron con el software Rheoplus, Minitab, y Excel para la representación gráfica de los resultados y regresión no lineal. Gracias a esto podemos obtener una gráfica de la velocidad de corte, esfuerzo de corte, viscosidad, representación de cajas, ANOVA, análisis factorial etc.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados de los ensayos fisicoquímicos

5.1.1. Densidad (ρ) en g/cm^3 usando el equipo densímetro digital

Rudolph

TABLA N° 5. 1: DENSIDAD

COLORES TEMPERATURA (°C)	VERDE	ROJO	NARANJA
25	1.0527	1.0344	1.0394
30	1.0501	1.0325	1.0369
35	1.0480	1.0300	1.0349

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.1.2. Acidez (%) por titulación.

TABLA N° 5. 2: ACIDEZ

COLORES TEMPERATURA (°C)	VERDE	ROJO	NARANJA
25	0.82 %	0.51 %	0.78 %

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.1.3. Grados de °Bx usando refractómetro manual.

TABLA N° 5. 3: GRADOS BRUX

COLORES TEMPERATURA (°C)	VERDE	ROJO	NARANJA
25	14	11	12

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.1.4. Potencial de hidrogeno (pH)

TABLA N° 5. 4: POTENCIAL DE HIDROGENO USANDO TIRAS DE PH

COLORES PH	VERDE	ROJO	NARANJA
25°C	6	6	6
Cualitativamente (tiras de pH)			

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

TABLA N° 5. 5: POTENCIAL DE HIDROGENO USANDO POTENCIÓMETRO

COLORES PH	VERDE	ROJO	NARANJA
25°C	6.31	6.10	6.23
Cuantitativamente (potenciómetro)			

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.2. Resultados de los ensayos reológicos para el zumo de Tuna.

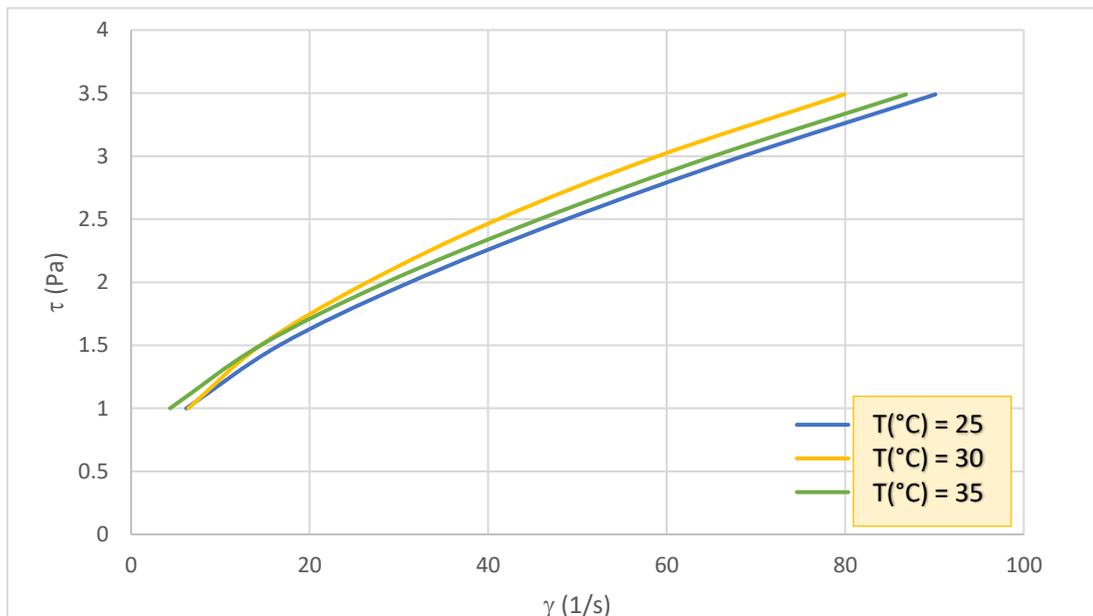
5.2.1. Datos reológicos del zumo de tuna naranja.

TABLA N° 5. 6: DATOS REOLÓGICOS DE LJAA TUNA NARANJA

T= 25°C		T= 30°C		T= 35°C	
[1/s]	τ [Pa]	[1/s]	τ [Pa]	[1/s]	τ [Pa]
6.18	1	6.42	1	4.36	1
16.6	1.5	14.5	1.5	14.5	1.5
30.9	1.99	26.2	1.99	28.3	1.99
48.4	2.49	40.8	2.49	45.4	2.49
68.1	2.99	58.6	2.99	64.8	2.99
90.1	3.49	79.9	3.49	86.8	3.49

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRAFICO N° 5. 1: REOGRAMA DE LA TUNA NARANJA



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

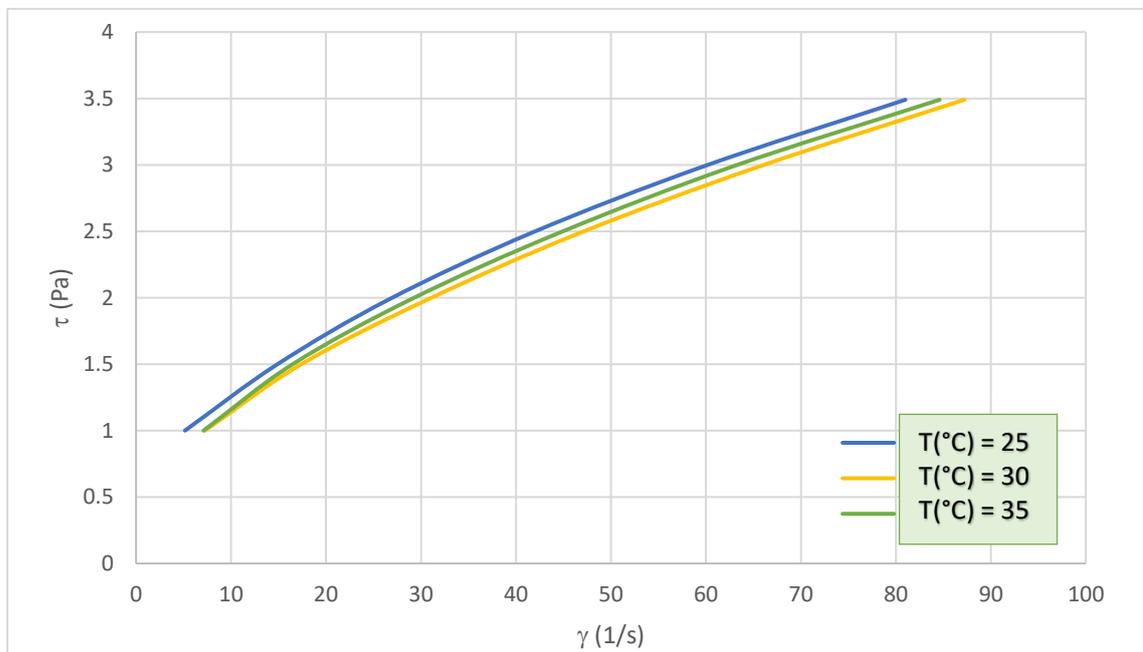
5.2.2. Datos reológicos del zumo de tuna verde

TABLA N° 5. 7: DATOS REOLÓGICOS DE LA TUNA VERDE

T= 25°C		T= 30°C		T= 35°C	
γ [1/s]	τ [Pa]	γ [1/s]	τ [Pa]	γ [1/s]	τ [Pa]
5.15	1	7.26	1	7.11	1
14.9	1.5	17.4	1.5	16.5	1.5
26.7	1.99	30.8	1.99	29	1.99
41.7	2.49	46.8	2.49	44.6	2.49
59.8	2.99	65.7	2.99	62.9	2.99
81	3.49	87.2	3.49	84.6	3.49

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRAFICO N° 5. 2: REOGRAMA DE LA TUNA VERDE



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

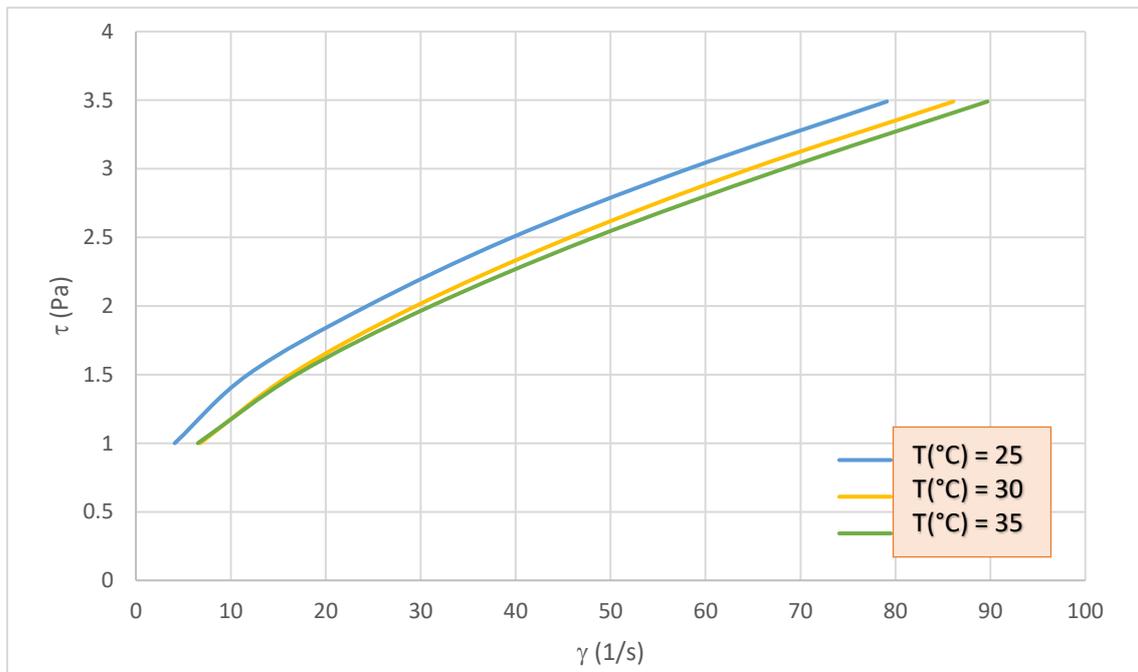
5.2.3. Datos reológicos del zumo de tuna roja

TABLA N° 5. 8: DATOS REOLÓGICOS DE LA TUNA ROJA

T= 25°C		T= 30°C		T= 35°C	
γ [1/s]	τ [Pa]	γ [1/s]	τ [Pa]	γ [1/s]	τ [Pa]
4.09	1	6.79	1	6.53	1
11.8	1.5	16.3	1.5	16.9	1.5
24.1	1.99	29.2	1.99	30.8	1.99
39.3	2.49	45.4	2.49	47.9	2.49
57.8	2.99	64.3	2.99	67.8	2.99
79.1	3.49	86.1	3.49	89.7	3.49

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRAFICO N° 5. 3: REOGRAMA DE LA TUNA ROJA



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.3. Resultados del ajuste de los modelos matemáticos

5.3.1. Ajuste del modelo Ley de potencia

Modelo : $\tau = K\gamma^n$

Ecuación de regresión : $\hat{y}_i = Kx_i^n$

Constantes : K, n

TABLA N° 5. 9: RESULTADOS DEL MODELO LEY DE POTENCIA

	T°C	K	n	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	0.3789644	0.4900685	0.997118	0.0031234
	30	0.3945259	0.497361	0.9999325	7.31E-05
	35	0.4517813	0.4535622	0.993657	0.0068744
Tuna Verde	25	0.4175482	0.4811444	0.9975672	0.0026366
	30	0.3418642	0.5184024	0.9990898	0.0009865
	35	0.3557712	0.5137876	0.999711	0.0003132
Tuna Roja	25	0.5033167	0.4399521	0.9974984	0.0027112
	30	0.3677621	0.5036141	0.9993769	0.0006753
	35	0.3687196	0.4972261	0.9980813	0.0020795

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.3.2. Ajuste del modelo Robertson Stiff

Modelo : $\tau = K_R(\gamma_0 + \gamma)^{n_R}$

Ecuación de regresión : $\hat{y}_i = K_R(\gamma_0 + x_i)^{n_R}$

Constantes : K_R, γ_0, n_R

TABLA N° 5. 10: RESULTADOS DEL MODELO DE ROBERTSON STIFF

	T°C	K	y ₀	n	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	0.260777	4.548497	0.5695993	0.9998707	0.0001869
	30	0.3819391	0.357279	0.5045165	0.99996	5.78E-05
	35	0.277031	5.667869	0.5593045	0.9999198	0.0001158
Tuna Verde	25	0.311181	3.263125	0.5455837	0.9999203	0.0001151
	30	0.2745989	2.614745	0.5652265	0.9999826	2.51E-05
	35	0.3173841	1.32599	0.5384738	0.999989	1.59E-05
Tuna Roja	25	0.3902928	2.693444	0.4968259	0.9997419	0.0003729
	30	0.3113671	1.956297	0.539501	0.9999743	3.71E-05
	35	0.2718128	3.704427	0.5621815	0.999938	8.96E-05

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.3.3. Ajuste del modelo Casson

Modelo : $\tau^{0.5} = K_{0C} + K_C \gamma^{0.5}$

Ecuación de regresión : $\hat{y}_i = (K_{0C} + K_C x_i^{0.5})^2$

Constantes : K_{0C}, K_C

TABLA N° 5. 11: RESULTADOS DEL MODELO DE CASSON

Color	T°C	K ₀	K _c	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	0.7247119	0.1214038	0.9986212	0.0014944
	30	0.7227404	0.1303731	0.9938165	0.0067016
	35	0.7714709	0.1185697	0.9991578	0.0009128
Tuna Verde	25	0.740077	0.1270209	0.9972474	0.0029832
	30	0.6890129	0.1277104	0.9974538	0.0027596
	35	0.697688	0.1291094	0.9958882	0.0044563
Tuna Roja	25	0.7957776	0.1221856	0.9963819	0.0039212
	30	0.7105872	0.1263575	0.9965302	0.0037605
	35	0.716448	0.1227146	0.9980928	0.002067

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.3.4. Ajuste del modelo Herschel-Bulkley

Modelo : $\tau = \tau_{0H} + K_H \dot{\gamma}^{n_H}$

Ecuación de regresión : $\hat{y}_i = \tau_{0H} + K_H x_i^{n_H}$

Constantes : τ_{0H}, K_H, n_H

TABLA N° 5. 12: RESULTADOS DEL MODELO HERSCHEL-BULKLEY

	T°C	T ₀	K	n	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	0.4500412	0.175008	0.6339589	0.9999475	7.59E-05
	30	0.0624377	0.362379	0.5129555	0.9999633	5.30E-05
	35	0.581263	0.1623319	0.6464764	0.999991	1.31E-05
Tuna Verde	25	0.4005135	0.2202984	0.601599	0.9998313	0.0002437
	30	0.2858382	0.2158246	0.6038739	0.9999868	1.90E-05
	35	0.1721178	0.2752375	0.5611532	0.9999874	1.83E-05
Tuna Roja	25	0.4244234	0.2655215	0.5593586	0.9998668	0.0001924
	30	0.2456583	0.252363	0.5731175	0.9999908	1.33E-05
	35	0.3872765	0.1935301	0.6167886	0.9999806	2.81E-05

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.3.5. Ajuste del modelo Mizrahi-Berk

Modelo : $\tau^{0.5} = \tau_{0M} + K_M \gamma^{n_M}$

Ecuación de regresión : $\hat{y}_i = (\tau_{0M} + K_M x_i^{n_M})^2$

Constantes : τ_{0M}, K_M, n_M

TABLA N° 5. 13: RESULTADOS DEL MODELO MIZRAHI-BERK

	T°C	T ₀	K	n	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	0.5386518	0.2261824	0.3934519	0.9999794	2.98E-05
	30	0.089838	0.556871	0.2650803	0.9999646	5.11E-05
	35	0.6596009	0.1818643	0.4244387	0.9999917	1.20E-05
Tuna Verde	25	0.4838636	0.281453	0.3629516	0.9997589	0.0003485
	30	0.3644777	0.3191931	0.3469772	0.9999821	2.59E-05
	35	0.2298995	0.4226833	0.3054026	0.9999836	2.37E-05
Tuna Roja	25	0.5137158	0.3018799	0.3433512	0.999909	0.0001315
	30	0.3202654	0.3660002	0.323658	0.9999956	6.34E-06
	35	0.4753748	0.261389	0.3720035	0.9999952	6.97E-06

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.3.6. Ajuste del modelo Sisko

Modelo : $\tau = n_{\alpha}\gamma + K_S\gamma^{n_s}$

Ecuación de regresión : $\hat{y}_i = n_{\alpha}x_i + K_Sx_i^{n_s}$

Constantes : n_{α}, K_S, n_s

TABLA N° 5. 14: RESULTADOS DEL MODELO SISCO

	T°C	n _α	K	n _s	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	0.6493062	-0.498072	1.045739	0.9596119	0.0583625
	30	0.0024033	0.4051669	0.4787594	0.999966	4.91E-05
	35	0.0165102	0.6180846	0.2703417	0.9998878	0.0001621
Tuna Verde	25	0.3170432	-0.161549	1.121342	0.953048	0.0678477
	30	0.0105041	0.4037298	0.4150385	0.9999512	7.06E-05
	35	0.0063516	0.3870943	0.4581951	0.9999656	4.98E-05
Tuna Roja	25	0.0122279	0.5977203	0.3297595	0.9999448	7.98E-05
	30	0.0086375	0.418173	0.422644	0.9999903	1.40E-05
	35	0.0125787	0.4637977	0.3621769	0.999988	1.74E-05

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.3.7. Ajuste del modelo Ellis

Modelo : $\tau = \gamma / \left(\frac{1}{n_0} + K_E \tau^{\left(\frac{1}{n_E} - 1 \right)} \right)$

Ecuación de regresión : $\frac{1}{n_0} \hat{y}_i + K_E \hat{y}_i^{\frac{1}{n_E}} = x_i$

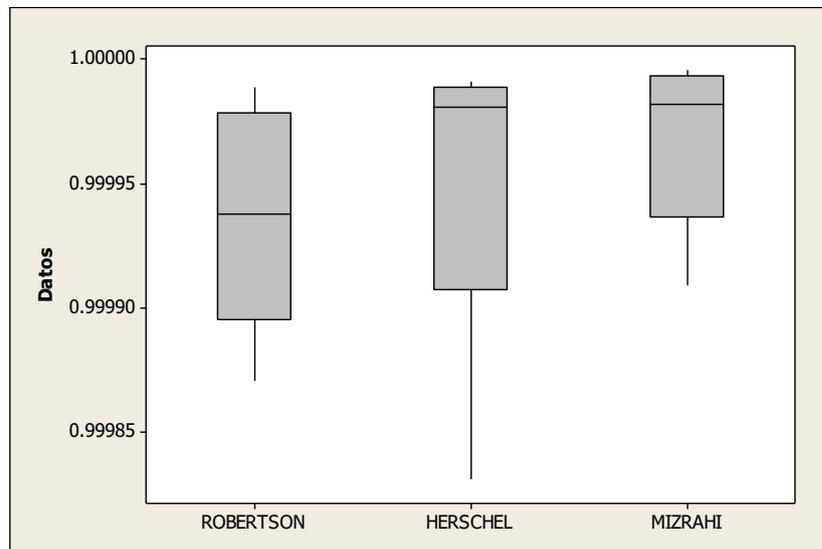
Constantes : n_0, K_E, n_E

TABLA N° 5. 15: RESULTADOS DEL MODELO ELLIS

	T°C	N ₀	K	N _E	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	51.4995	7.891522	0.5110208	0.9985413	2.467979
	30	51.49931	6.53208	0.4992134	0.9999594	0.0524322
	35	51.49817	6.676389	0.4848322	0.9977063	3.737893
Tuna Verde	25	51.49998	6.547156	0.4960999	0.9993552	0.8765215
	30	51.49979	8.238635	0.5287321	0.9995848	0.6315755
	35	51.47081	7.622009	0.5190666	0.9998744	0.1793767
Tuna Roja	25	0.064261	-1.406523	51.49771	0.7341967	362.3105
	30	51.49831	7.550626	0.5126288	0.9996787	0.4836214
	35	51.49976	7.950449	0.5138571	0.9990258	1.61711

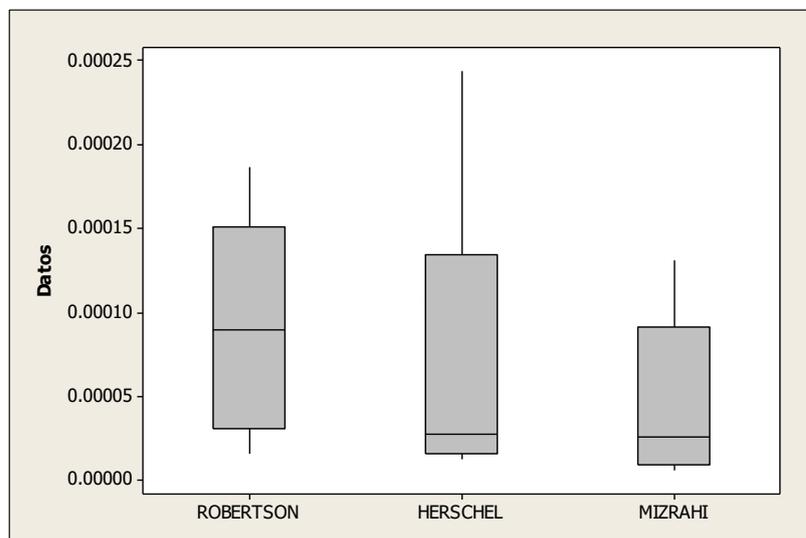
Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRAFICO N° 5. 4: REPRESENTACIÓN DE CAJAS PARA R²



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRAFICO N° 5. 5: REPRESENTACIÓN DE CAJAS PARA LA VARIANZA MSE



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

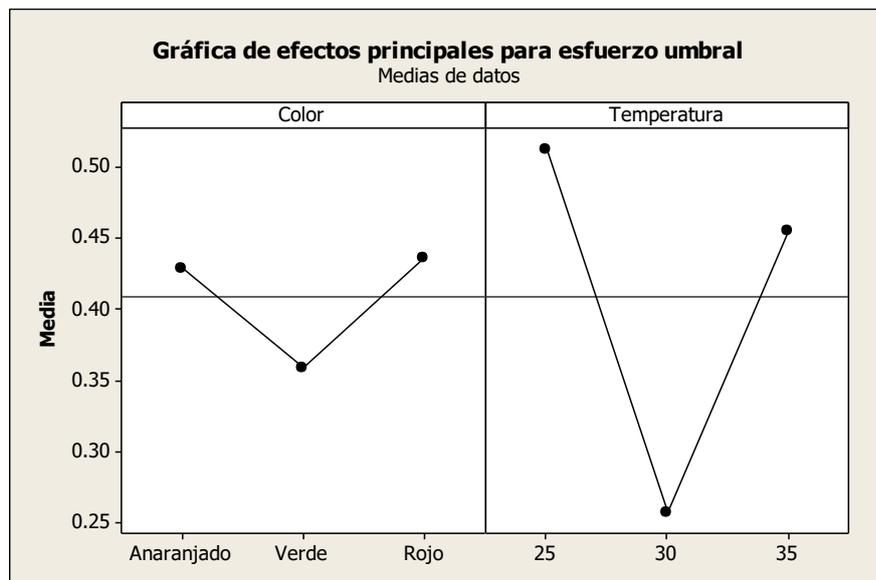
De los gráficos se observa que el modelo de Mizrahi-Berk presenta cajas con menor amplitud y situada en los límites de los valores de $R^2 \rightarrow 1$ y

Varianza $\rightarrow 0$ respectivamente, lo que lo convierte en el modelo de representación óptima para los datos experimentales.

5.5. Resultados del análisis factorial para el zumo de tuna.

En base al modelo se Mizrahi-Berk se realizó el análisis factorial para el zumo de tuna.

GRAFICO N° 5. 6: ESFUERZO UMBRAL τ_{0M}



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

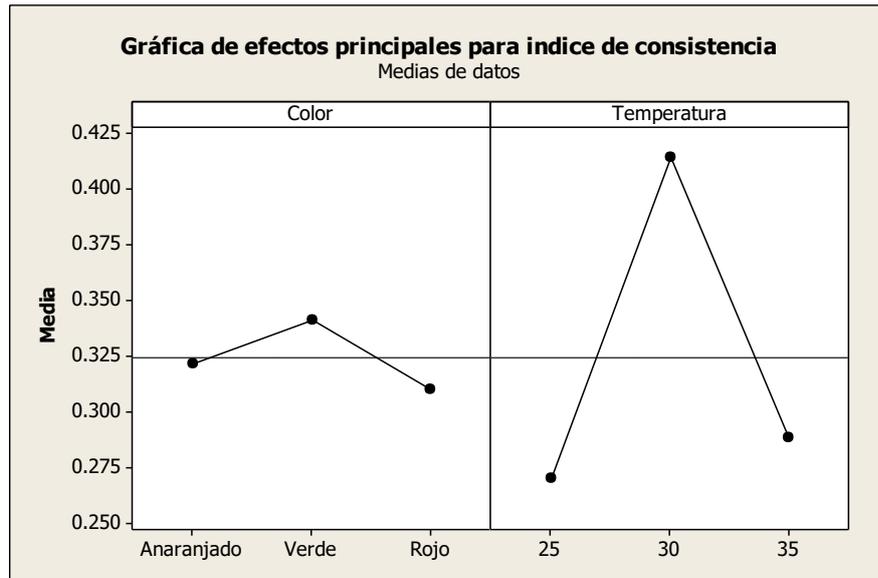
Del grafico se observa que para el zumo de tuna roja se presenta un mayor esfuerzo umbral τ_{0M} respecto a la tuna anaranjada y esta a su vez mayor que la tuna verde. Esto quiere decir, mayor esfuerzo para iniciar el movimiento del fluido

$$\tau_{0M}(\text{roja}) > \tau_{0M}(\text{anaranjada}) > \tau_{0M}(\text{verde})$$

Análogamente se observa la siguiente relación para la temperatura.

$$\tau_{0M}(25^{\circ}C) > \tau_{0M}(35^{\circ}C) > \tau_{0M}(30^{\circ}C)$$

GRAFICO N° 5. 7: ÍNDICE DE CONSISTENCIA K_M



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

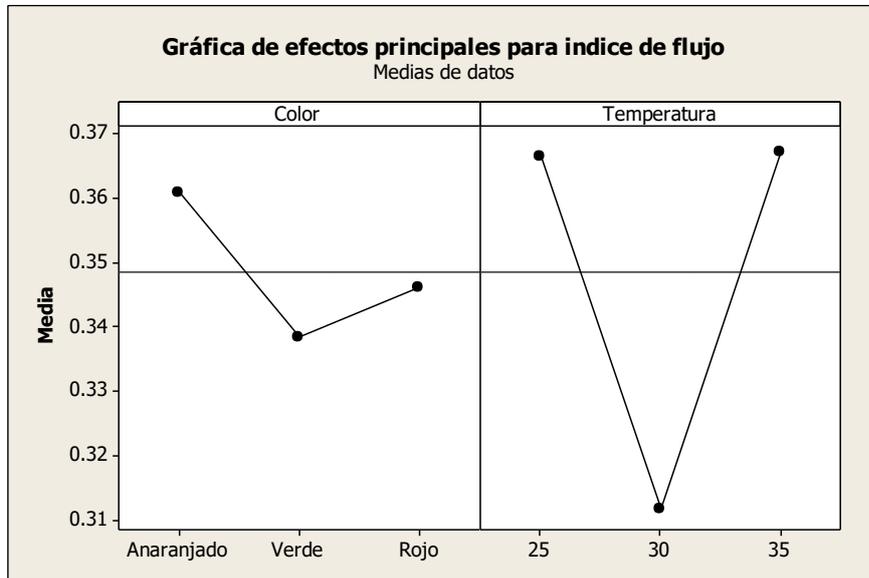
Del grafico se observa que para el zumo de tuna verde existe un mayor índice de consistencia K_M respecto a la tuna anaranjada y esta a su vez mayor que la tuna roja. Este parámetro es un equivalente a la viscosidad en fluidos newtonianos, vale decir, el zumo de tuna verde es más “viscoso” que los zumos anaranjado y verde.

$$K_M(\text{verde}) > K_M(\text{anaranjada}) > K_M(\text{roja})$$

Análogamente se observa la siguiente relación para la temperatura.

$$K_M(30^{\circ}C) > K_M(35^{\circ}C) > K_M(25^{\circ}C)$$

GRAFICO N° 5. 8: ÍNDICE DE FLUJO n_M



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Los valores del índice de flujo n_M se encuentran en el rango de 0.311 a 0.367 lo que evidencia el comportamiento pseudoplásticos del fluido.

5.6. Resultados del cálculo de viscosidad

En base al modelo de Mizrahi Berk se calculó la viscosidad aparente y diferencial para el zumo de tuna.

Modelo Mizrahi-Berk

Ecuación
$$: \tau^{0.5} = \tau_{0M} + K_M \gamma^{n_M}$$

Viscosidad aparente
$$: \mu_{ap} = \frac{\tau}{\gamma}$$

$$\mu_{ap} = (\tau_{0M} + K_M \gamma^{n_M}) \left(\frac{\tau_{0M}}{\gamma} + K_M \gamma^{n_M - 1} \right)$$

Viscosidad diferencial $:\mu_{dif} = \frac{d\tau}{d\gamma}$

$$\mu_{dif} = 2(\tau_{0M} + K_M \gamma^{n_M}) K_M n_M \gamma^{n_M - 1}$$

Con las constantes obtenidas en la sección 5.2.5 se calculó la viscosidad aparente y la viscosidad diferencial como se indica a continuación.

TABLA N° 5. 16: VISCOSIDAD APARENTE

γ (1/s)	Tuna naranja τ (Pa.s)			Tuna verde τ (Pa.s)			Tuna roja τ (Pa.s)		
	T=25°C	T=30°C	T=35°C	T=25°C	T=30°C	T=35°C	T=25°C	T=30°C	T=35°C
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.121	0.124	0.131	0.128	0.115	0.117	0.139	0.119	0.119
20	0.081	0.087	0.086	0.087	0.080	0.083	0.092	0.083	0.081
30	0.065	0.071	0.068	0.070	0.066	0.068	0.073	0.067	0.065
40	0.057	0.062	0.059	0.061	0.057	0.059	0.063	0.058	0.057
50	0.051	0.055	0.052	0.054	0.052	0.053	0.056	0.052	0.051
60	0.047	0.050	0.048	0.050	0.047	0.048	0.051	0.048	0.047
70	0.043	0.047	0.044	0.046	0.044	0.045	0.047	0.045	0.043
80	0.041	0.044	0.042	0.043	0.042	0.042	0.044	0.042	0.041
90	0.039	0.041	0.040	0.041	0.040	0.040	0.041	0.040	0.039

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

TABLA N° 5. 17: VISCOSIDAD DIFERENCIAL

γ (1/s)	Tuna anaranjada τ (Pa.s)			Tuna verde τ (Pa.s)			Tuna roja τ (Pa.s)		
	T=25°C	T=30°C	T=35°C	T=25°C	T=30°C	T=35°C	T=25°C	T=30°C	T=35°C
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	0.136	0.191	0.130	0.156	0.151	0.169	0.169	0.163	0.143
5	0.065	0.085	0.062	0.073	0.071	0.078	0.075	0.075	0.067
10	0.048	0.061	0.047	0.053	0.053	0.057	0.054	0.055	0.050
20	0.037	0.043	0.036	0.040	0.040	0.041	0.039	0.040	0.038
30	0.032	0.035	0.031	0.034	0.034	0.035	0.033	0.034	0.032
40	0.029	0.031	0.028	0.030	0.030	0.031	0.029	0.030	0.029
50	0.026	0.028	0.026	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027
60	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025
70	0.024	0.024	0.024	0.025	0.024	0.024	0.023	0.024	0.024
80	0.023	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.023
90	0.022	0.021	0.022	0.022	0.022	0.022	0.021	0.021	0.022
100	0.021	0.020	0.021	0.022	0.021	0.021	0.020	0.021	0.021

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.7. Resultados del cálculo de la energía de activación para el zumo de tuna

5.7.1. Energía de activación a partir de la viscosidad aparente.

Para la determinación de la energía de activación se siguieron los siguientes pasos:

Para el zumo de tuna anaranjada

- i. Se calculó la inversa de las temperaturas de estudio: T (1/K)
- ii. Se calculó el logaritmo natural de la viscosidad aparente: $\text{LN}(\mu_{25^\circ\text{C}})$, $\text{LN}(\mu_{30^\circ\text{C}})$, $\text{LN}(\mu_{35^\circ\text{C}})$.
- iii. Se organizaron los datos como se indica en la tabla N° 5.13.

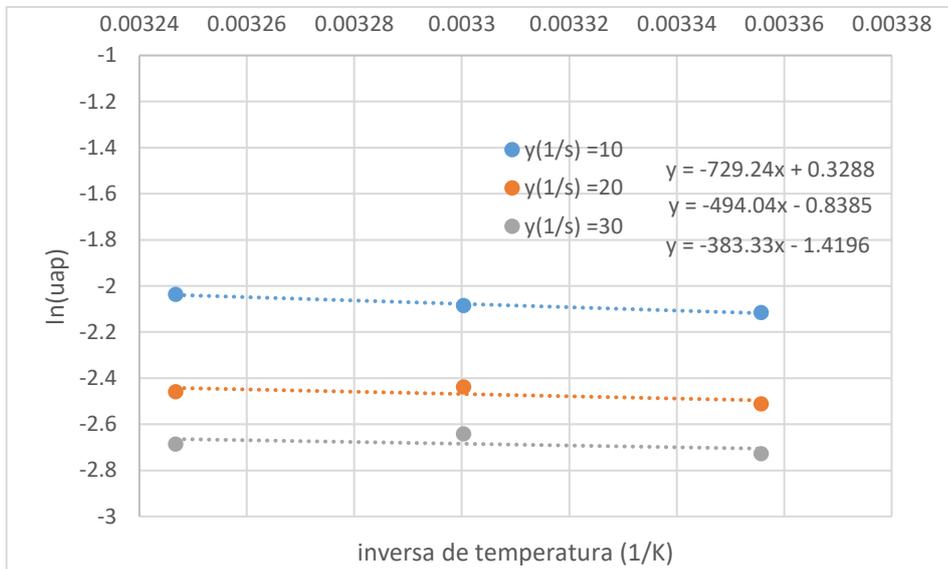
TABLA N° 5. 18: CÁLCULOS PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

T(1/K)	0.00336	0.00330	0.00325
γ (1/s)	$\ln(u_{ap25})$	$\ln(u_{ap30})$	$\ln(u_{ap35})$
0	-	-	-
10	-2.115	-2.085	-2.036
20	-2.512	-2.438	-2.458
30	-2.727	-2.642	-2.686
40	-2.872	-2.786	-2.838
50	-2.981	-2.898	-2.952
60	-3.067	-2.988	-3.041
70	-3.138	-3.065	-3.114
80	-3.199	-3.131	-3.176
90	-3.251	-3.189	-3.229

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

- iv. Para cada punto γ (1/s), se graficó la inversa de la temperatura $T(1/K)$ frente a $\text{Ln}(\mu)$ y se obtuvo la pendiente m y el intercepto b

GRAFICO N° 5. 9: PENDIENTES PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

- v. De la gráfica anterior se obtuvieron los valores de la pendiente e intercepto y se calcularon los valores E_a y μ_{ap0} .

Para $\gamma [1/s]=10$: $m = -729.24$ y $b = 0.3288$

$$E_a = -(-729.24) \frac{8.3144}{1000} = 6.0629 \text{ KJ}$$

$$\mu_{ap0} = e^{0.3288} = 1.3892 \text{ Pa.s}$$

Para $\gamma [1/s]=20$: $m = -494.04$ y $b = -0.8385$

$$E_a = -(-494.04) \frac{8.3144}{1000} = 4.1075 \text{ KJ}$$

$$\mu_{ap0} = e^{-0.8385} = 0.4323 \text{ Pa.s}$$

Para $\gamma [1/s]=30$: $m = -383.33$ y $b = -1.4196$

$$E_a = -(-383.33) \frac{8.3144}{1000} = 3.1870 \text{ KJ}$$

$$\mu_{ap0} = e^{-1.4196} = 0.2418 \text{ Pa.s}$$

vi. Análogamente se realiza el cálculo para los demás puntos de velocidad de corte $\dot{\gamma}$ [1/s].

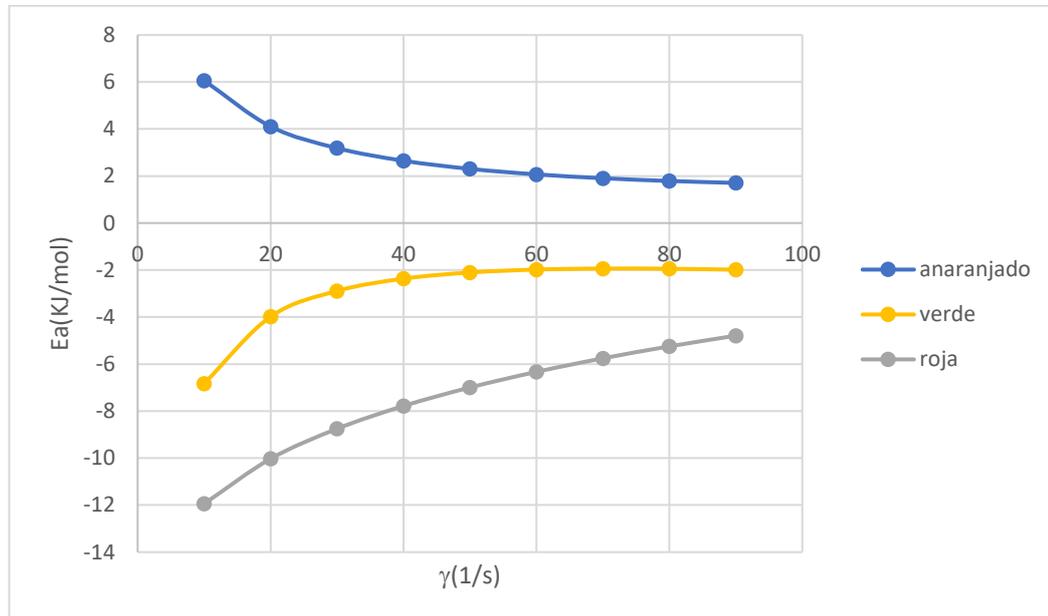
El cálculo se continuó para las variedades de tuna roja y verde. Los resultados de la energía de activación se muestran en la siguiente tabla.

TABLA N° 5. 19: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE LA VISCOSIDAD APARENTE

$\dot{\gamma}$ (1/s)	Tuna naranja		Tuna verde		Tuna roja	
	Ea (KJ/mol)	μ_{ap} (Pa.s)	Ea (KJ/mol)	μ_{ap} (Pa.s)	Ea (KJ/mol)	μ_{ap} (Pa.s)
0	-	-	-	-	-	-
10	6.0629	1.3892	-6.8288	0.0080	-11.9429	0.0011
20	4.1075	0.4324	-3.9824	0.0171	-10.0288	0.0016
30	3.1870	0.2418	-2.8898	0.0215	-8.7526	0.0021
40	2.6502	0.1686	-2.3679	0.0230	-7.7825	0.0027
50	2.3048	0.1316	-2.1051	0.0229	-6.9955	0.0033
60	2.0702	0.1097	-1.9806	0.0221	-6.3314	0.0039
70	1.9061	0.0955	-1.9374	0.0209	-5.7559	0.0046
80	1.7895	0.0856	-1.9451	0.0196	-5.2475	0.0053
90	1.7065	0.0784	-1.9860	0.0183	-4.7917	0.0060

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRAFICO N° 5. 10: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE LA VISCOSIDAD APARENTE



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

5.7.2. Cálculo de la energía de activación a partir de la viscosidad diferencial

Se ejecutó el procedimiento de cálculo empleado en la sección 5.7.1 con la viscosidad diferencial del modelo Mizrahi-Berk, obteniendo los siguientes resultados.

Para la tuna anaranjada

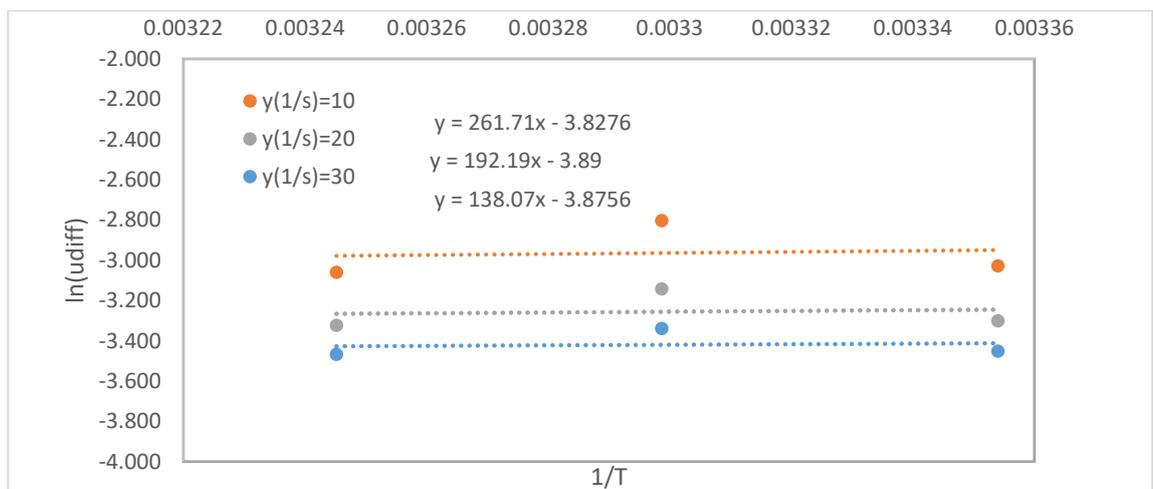
TABLA N° 5. 20: CÁLCULOS PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

T(1/K)	0.00336	0.00330	0.00325
γ (1/s)	ln μ_{diff25}	ln μ_{diff30}	ln μ_{diff35}
0	-	-	-
1	-1.994	-1.656	-2.041
5	-2.738	-2.461	-2.775
10	-3.029	-2.803	-3.060
20	-3.301	-3.143	-3.324
30	-3.452	-3.340	-3.468
40	-3.555	-3.480	-3.566
50	-3.633	-3.588	-3.640
60	-3.696	-3.676	-3.698
70	-3.748	-3.751	-3.746
80	-3.792	-3.815	-3.787
90	-3.831	-3.872	-3.823
100	-3.865	-3.923	-3.854

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Se graficó la inversa de la temperatura T (1/K) frente a LN (μ) y se obtuvo la pendiente para cada punto γ (1/s).

GRAFICO N° 5. 11: GRAFICA DE PENDIENTES PARA LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

De la gráfica anterior, los valores de la pendiente e intercepto resultan

Para $\gamma [1/s]=10$: $m = 261.71$ y $b = -3.8376$

$$Ea = -(261.71) \frac{8.3144}{1000} = 2.1758 KJ$$

$$\mu_{ap0} = e^{-3.8376} = 0.0217 Pa.s$$

Para $\gamma [1/s]=20$: $m = 192.19$ y $b = -3.89$

$$Ea = -(192.19) \frac{8.3144}{1000} = 1.5978 KJ$$

$$\mu_{ap0} = e^{-3.89} = 0.0204 Pa.s$$

Para $\gamma [1/s]=30$: $m = 138.07$ y $b = -3.8756$

$$Ea = -(138.07) \frac{8.3144}{1000} = 1.1479 KJ$$

$$\mu_{ap0} = e^{-3.8756} = 0.0207 Pa.s$$

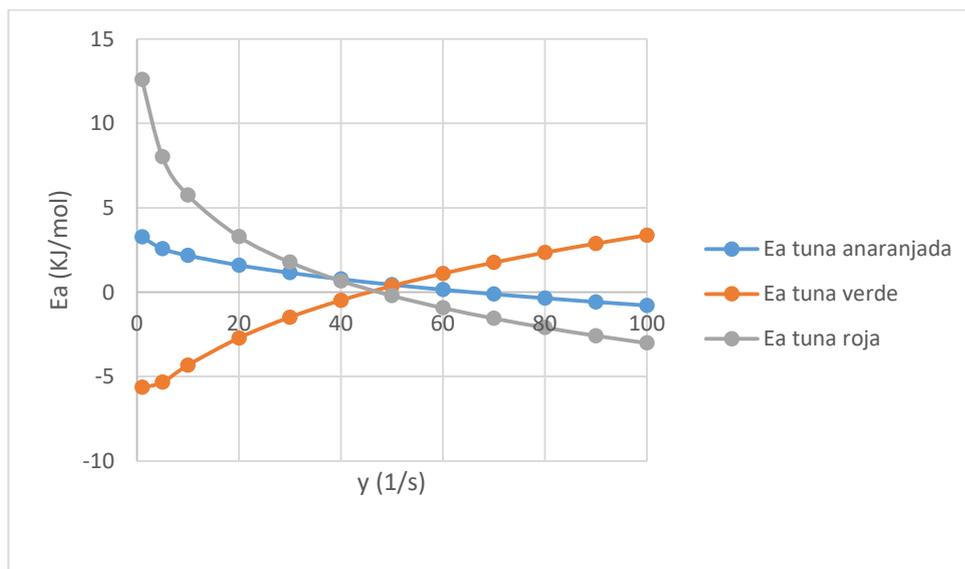
Análogamente se realiza el cálculo para los demás puntos de velocidad de corte, con lo cual se obtiene la siguiente tabla:

TABLA N° 5. 21: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE VISCOSIDAD DIFERENCIAL

γ (1/s)	Naranja		Verde		Roja	
	Ea (KJ/mol)	μ diff (Pa.s)	Ea (KJ/mol)	μ diff (Pa.s)	Ea (KJ/mol)	μ diff (Pa.s)
0	-	-	-	-	-	-
1	3.2697	0.0410	-5.6447	1.4898	12.6055	0.0011
5	2.5757	0.0252	-5.3375	0.6139	8.0183	0.0030
10	2.1759	0.0218	-4.3295	0.3024	5.7434	0.0054
20	1.5979	0.0204	-2.7149	0.1185	3.2884	0.0106
30	1.1479	0.0207	-1.4839	0.0615	1.7739	0.0163
40	0.7705	0.0215	-0.4837	0.0368	0.6671	0.0225
50	0.4422	0.0225	0.3632	0.0240	-0.2088	0.0291
60	0.1501	0.0235	1.1004	0.0167	-0.9350	0.0361
70	-0.1139	0.0246	1.7546	0.0121	-1.5559	0.0434
80	-0.3555	0.0258	2.3440	0.0091	-2.0988	0.0511
90	-0.5784	0.0270	2.8809	0.0070	-2.5813	0.0592
100	-0.7858	0.0282	3.3745	0.0055	-3.0157	0.0675

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRAFICO N° 5. 12: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE VISCOSIDAD DIFERENCIAL



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

VI. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

De los resultados obtenidos, podemos afirmar la hipótesis general la cual establece que el zumo de tunas (*Opuntia ficus-indica*) posee un comportamiento reológico característico de los fluidos pseudoplásticos, el cual queda representado por los modelos: Ostwald de Waele (Ley de potencia), Herschel Bulkley, Casson, Ellis, Mizrahi-Berk, Robertson-Stiff y Sisko. Encontrando que el modelo de Mizrahi Berk obtiene un valor promedio de $R^2 = 0.9999$ para un nivel de confianza del 95% y con margen de varianza mínimo $MSE = 0.0000$.

Ecuación:
$$\tau^{0.5} = \tau_{0M} + K_M \dot{\gamma}^{n_M}$$

τ_{0M} : Punto de cedencia de Mizrahi-Berk ($\text{Pa}^{0.5}$)

K_M : Índice de consistencia de Mizrahi-Berk ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)

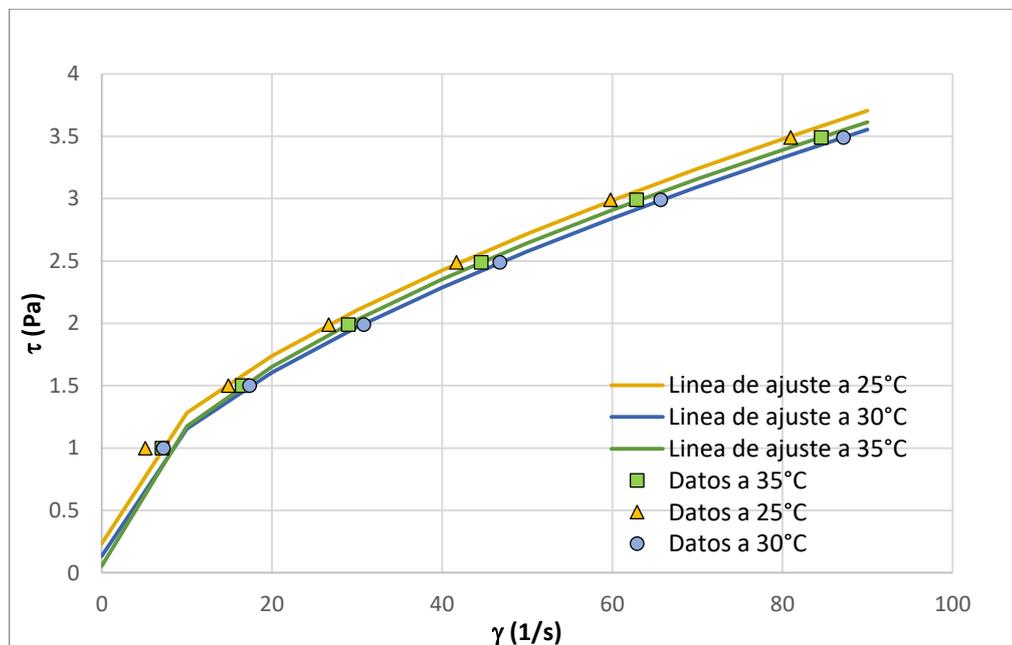
n_M : Índice de flujo

TABLA N° 6. 1: RESULTADOS DEL GRADO DE AJUSTE DEL MODELO MIZRAHI BERK

	T°C	T ₀	K	n	R ²	Varianza
Tuna Naranja	25	0.5386518	0.2261824	0.3934519	0.9999794	2.98E-05
	30	0.089838	0.556871	0.2650803	0.9999646	5.11E-05
	35	0.6596009	0.1818643	0.4244387	0.9999917	1.20E-05
Tuna Verde	25	0.4838636	0.281453	0.3629516	0.9997589	0.0003485
	30	0.3644777	0.3191931	0.3469772	0.9999821	2.59E-05
	35	0.2298995	0.4226833	0.3054026	0.9999836	2.37E-05
Tuna Roja	25	0.5137158	0.3018799	0.3433512	0.999909	0.0001315
	30	0.3202654	0.3660002	0.323658	0.9999956	6.34E-06
	35	0.4753748	0.261389	0.3720035	0.9999952	6.97E-06

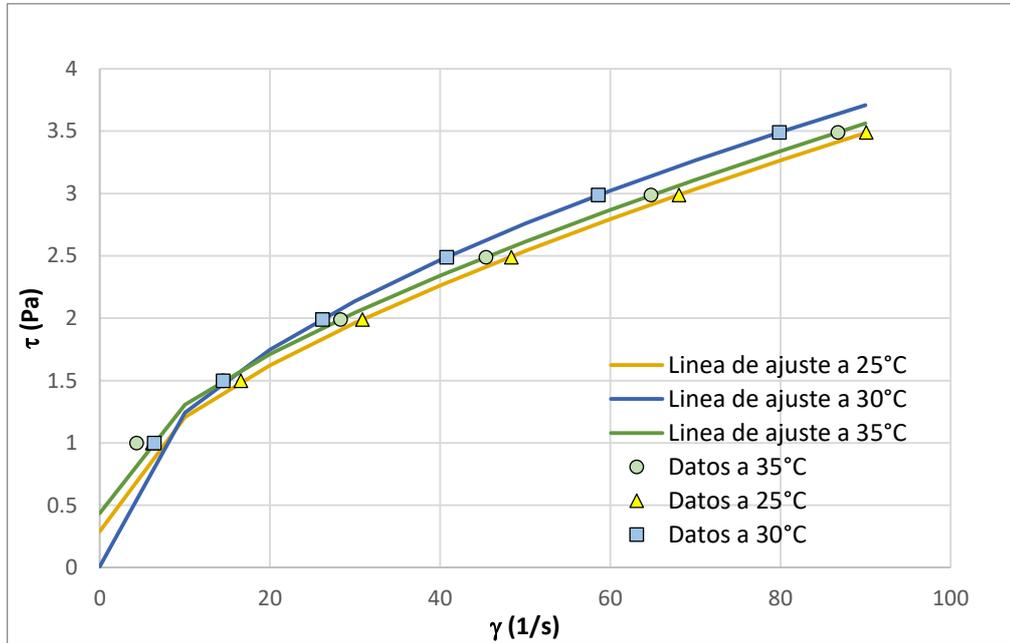
Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRÁFICO N° 6. 1: REOGRAMA AJUSTADO PARA EL ZUMO DE TUNA VERDE



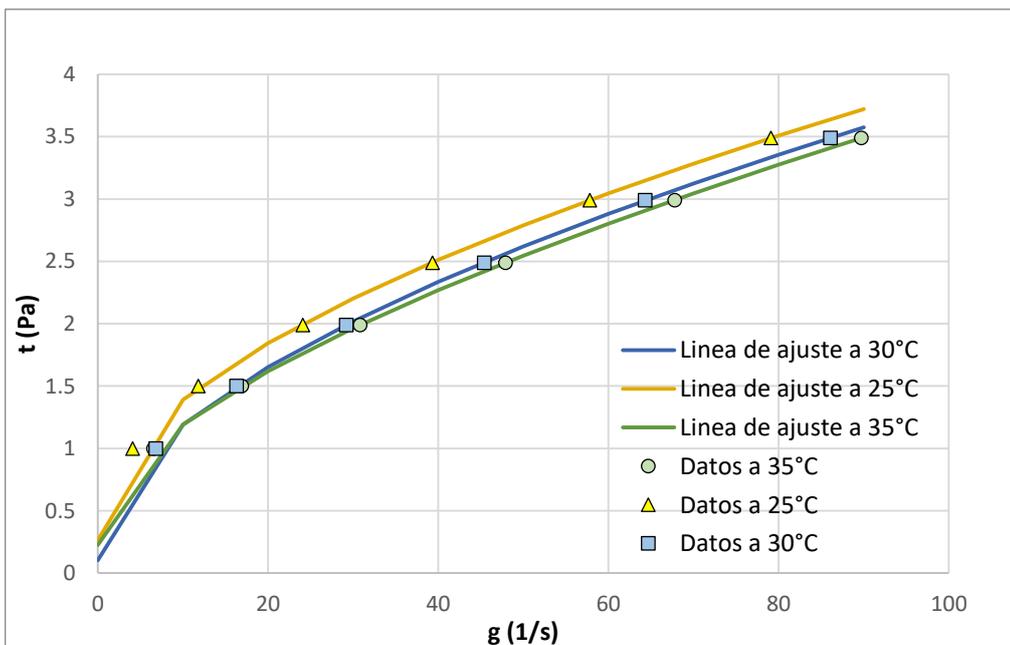
Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRÁFICO N° 6. 2: REOGRAMA AJUSTADO PARA EL ZUMO DE TUNA NARANJA



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

GRÁFICO N° 6. 3: REOGRAMA AJUSTADO PARA EL ZUMO DE TUNA ROJA



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

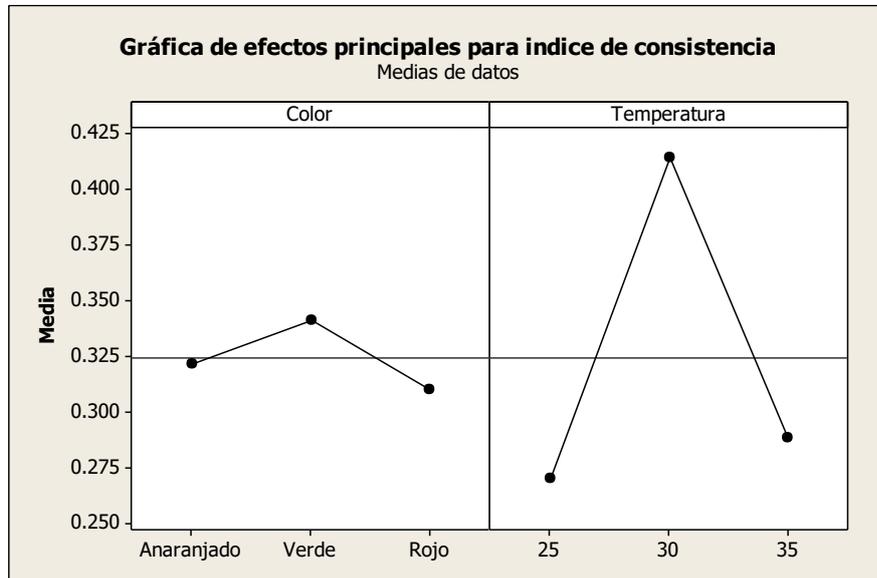
Los datos reológicos del zumo de tunas (*Opuntia ficus-indica*) se obtuvieron en un reómetro Rheolab QC para las temperaturas de 25, 30 y 35 °C y con las variedades de tuna roja, anaranjada y verde definidas en el diseño experimental.

Se demostró que existe relación no lineal entre el esfuerzo y la velocidad de corte. Esto se evidencia en la curvatura de los reogramas, los cuales quedan representados por modelos no lineales con índices de comportamiento de flujo menores a 1 ($n < 0.4$), característica propia de los fluidos pseudoplásticos; siendo estos modelos principalmente los propuestos por Robertson Stiff, Mizrahi-Berk y Herschel-Bulkley. De lo expuesto se da validez a las hipótesis planteadas inicialmente.

De las gráficas del análisis factorial se observa que el índice de consistencia (viscosidad aparente) presenta un mayor valor para la tuna verde, lo que quiere decir que este zumo es más “viscoso” que las otras variedades. Y a la temperatura de 30°C se requiere mayor esfuerzo para mantener a dicho fluido en movimiento.

$$K_M(\text{verde}) > K_M(\text{anaranjada}) > K_M(\text{roja}) / K_M(30^\circ\text{C}) > K_M(35^\circ\text{C}) > K_M(25^\circ\text{C})$$

GRÁFICO N° 6. 4: ÍNDICE DE CONSISTENCIA K_M



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Dicho de la manera opuesta, para fines de ahorro de energía es más conveniente trabajar el zumo de tuna Rojo a 25 °C, puesto que, de la experiencia, en estas condiciones los valores del índice de consistencia (viscosidad aparente) son bajos.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

En contraste con los estudios que anteceden nuestra investigación, los resultados de esta tesis complementan los estudios realizados por los autores Juan Mercado Flores, Melva López Orozco, Gerardo Martínez Soto, y Mayra Arias Medina del instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, dándole un enfoque orientado a los modelos matemáticos los cuales son la base para los cálculos de ingeniería,

diseño de sistemas de bombeo, mezclado y control de calidad para la optimización de los procesos y el eficiente uso de la energía.

Según (CARMONA, 2008) el viscosímetro Brookfield es un viscosímetro rotacional: produce la rotación de un elemento sensor en un fluido y mide el torque necesario para vencer la resistencia viscosa al movimiento inducido. El elemento inmerso (huso) es accionado por un motor sincronizado a través de un resorte de cobre - berilio. El grado al cual es girado el resorte, indicado por el dial o por la pantalla digital, es proporcional a la viscosidad del fluido. Se puede medir una variedad de rangos de viscosidad utilizando una velocidad de transmisión múltiple (4 u 8) y husos intercambiables.

Con este viscosímetro se pueden hacer medidas de viscosidad empleando el mismo huso a diferentes velocidades para detectar y evaluar las características reológicas del material examinado. La resistencia al flujo se incrementa conforme se incrementa el tamaño del huso y/o la velocidad rotacional.

Asimismo se recomienda tener las siguientes consideraciones:

- Registro de datos.
- El huso.
- Selección de la velocidad del huso.
- Tamaño del contenedor de la muestra.
- Condiciones de la muestra.

- Inmersión del huso.
- Sensibilidad y exactitud.
- Obtención de las lecturas de viscosidad

Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro, según (LABUZA, 2000) menciona la importancia de la temperatura en las velocidades de reacción y que estos es reconocido por mucho tiempo.

Generalmente la velocidad de reacción se incrementa conforme la temperatura aumenta. El más prevaeciente y ampliamente usado es la relación de Arrhenius.

La ecuación de Arrhenius, desarrollada teóricamente para las reacciones químicas moleculares reversibles, ha demostrado experimentalmente sostener empíricamente varios y complejos fenómenos físico-químicos (ejemplo: viscosidad, difusión, porción). También se ha mostrado la reacción de pérdida de calidad de alimentos descritas por modelos cinéticos mencionados para seguir un comportamiento de Arrhenius con la temperatura.

VII. CONCLUSIONES

- Se realizó el análisis reológico para el zumo de tunas (*Opuntia ficus-indica*) de las variedades roja, anaranjada y verde a las temperaturas dadas de 25°C, 30°C y 35°C, donde se obtuvo los datos experimentales de velocidad y esfuerzo de corte, los cuales demuestran que existe una relación no lineal entre dichas magnitudes.
- Luego del contraste estadístico entre los modelos que más representativos, se concluye que, el modelo de Mizrahi Berk $\tau^{0.5} = \tau_{0M} + K_M \dot{\gamma}_M^{n_M}$, con sus parámetros τ_{0M}, K_M, n_M , es el modelo de representación óptima para el zumo de tuna de las variedades roja, anaranjada y verde a las temperaturas de 25°C, 30°C y 35°C.
- Se elaboraron los reogramas característicos para cada variedad de zumo de tunas evidenciando el comportamiento reológico de un fluido no newtoniano de características pseudoplasticas.
- Finalmente, se ensayaron siete modelos matemáticos para predecir el comportamiento reológico del zumo de tunas (*Opuntia ficus-indica*), siendo estos Ostwald de Waele (Ley de Potencia), Casson, Robertson Stiff, Ellis, Herschel Bulkley, Sisko y Mizrahi Berk, de los cuales los más representativos fueron los modelos Robertson stiff, Mizrahi Berk y Herschel Bulkley, con un índice de correlación alto y la varianza cercana a cero.

VIII. RECOMENDACIONES

- Extender el estudio reológico del zumo de tunas a nivel planta piloto, para evaluar la eficiencia de los diseños que pueden ser realizados en base a los modelos.
- Extender el estudio orientado a los cambios en la estructura interna del zumo, por encima de los 35 °C y por debajo de los 15 °C para abarcar un rango amplio de control del fluido.
- Investigar condiciones óptimas de procesamiento del zumo de tuna en escala planta piloto.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. (1994). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemistry. Washington. U.S.A: Association of Official Analytical Chemists.
- A.O.A.C. (1995). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural. Whashington U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists.
- A.O.A.C. (1997). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemistry. Washington U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists.
- ABRAJAN VILLASEÑOR, M. (2008). Efecto del metodo de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal y estudio de su aplización como recubrimiento comestible. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Adaptado de Carreau. (1997). Reograma de viscosidad versus velocidad de corte.
- Analytical, R. R. (12 de 04 de 2016). The DDM 2909 Automatic Density Meter. Obtenido de <http://pdf.directindustry.es/pdf-en/rudolph-research-analytical/ddm-2909-automatic-density-meter/58224-598103.html#open>
- ANDINA. (08 de 04 de 2016). Cinco empresas peruanas participarán en Fruit Logistica con apoyo de Sierra Exportadora. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-cinco-empresasperuanas-participaran-fruit-logistica-apoyo-sierraexportadora-398860.aspx>
- BERROSPI DIAZ, D., & VILLACORTA GRANDEZ, D. (2017). Modelos Reologicos asociados a soluciones azucaradas. Lima: Universidad Nacional del Callao.
- CAILLAHUA, A. (Consultada el: 26 de Marzo de 2016). Importancia y usos de la Tuna. Obtenido de <http://latuna-anali.blogspot.com/>
- CAISAHUANA SANABRIA, M. C. (2012). EVALUACIÓN DE VITAMINA C, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN DOS ESTADOS DE MADUREZ DEL CAMU CAMU (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh) DE MAZAMARI. Satipo: Universidad Nacional del Centro Perú.

- CARRASCO VENEGAS, L. (2011). Fenómenos de Transporte. Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
- CARRASCO VENEGAS, L., & CANDIOTTI VELÁSQUEZ, S. (2017). Determinación de parámetros de modelo y flujo de fluidos no newtonianos. Lima: Universidad Nacional de Callao.
- CARRASCO VENEGAS, L., CASTAÑEDA PEREZ, L., & ALTAMIRANO ONCOY, K. (2014). Modelos de Viscosidad de Fluidos No Newtonianos. Lima: Universidad Nacional del Callao.
- CASTAGNINO ACOSTA, F. M. (16 de 07 de 2016). monografias.com. Obtenido de La tuna y su exportacion en el Perú: <https://www.monografias.com/trabajos52/tuna-exportacion/tuna-exportacion2.shtml>
- DAZA, J., & RUTH, N. (2014). Elaboración y Evaluación Reológica de mermelada de piña (ananás comosus). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- DÍAZ SÚÑIGA, M., & LÓPEZ SÁNCHEZ, N. (2018). Análisis situacional de las exportaciones de pulpa de tuna congelada éruana al mercado de Estados Unidos. Lima: Universidad Nacional de Ciencias Aplicadas.
- Elaboración Propia. (2018). Determinación de los modelos reológicos asociados al zumo de tunas. Lima-Perú: Universidad Nacional del Callao.
- LABUZA. (2000). Accelerated shelf life testing of foods. Food Technology. Washington.
- LABUZA, T., & SCHMIDL, M. (1985). Accelerated Shelf-Life testing of Food J. Food Technology. Whashington DC.
- MAESTRO GARRIGA, A. (2002). Reología de Espesantes celulósicos para pinturas al agua. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- MENA POZO, G., & QUIROZ ROSERO, S. (2011). Obtención de pulpa de tuna a partir de dos variedades (amarilla y blanca) con incorporación de su cáscara y posterior aprovechamiento de sus residuos" . Ibarra-Ecuador: Universidad Tecnica del Norte.
- MERCADO FLORES, J., LÓPEZ OROZCO, M., MARTÍNEZ SOTO, G., FLORES SOTO, J. S., & ARÉVALO LUCIANO, S. (2007). Estudio de las Propiedades Fisicoquímicas de las variedades de tuna Roja pelona, Morada Reina y Xoconostle bajo almacenamiento

- refrigerado. Guanajuato: Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato.
- Museo de Historia Natural. (01 de 07 de 2016). Constancia N° 149-UNM-2016. Clasificación taxonómica de la Tuna. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional de San Marcos.
- NUÑEZ CARBALLAR, N. (2016). Desarrollo de formulaciones de grasas lubricantes biodegradables basadas en aceites vegetales y derivados celulósicos. Huelva-España: Universidad de Huelva.
- POBLETE G., J., & VARGAS G., N. (2014). Frutas y derivados. La Serena: Universidad de la Serena.
- QUINTÁNS RIVEIRO, L. (2008). Reología de productos alimentarios. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- R.A, C. (2008). Reología de Alimentos. Tingo María: UNAS.
- RAMÍREZ NAVAS, J. S. (2006). Fundamentos de Reología de Alimentos. Calí: Universidad de Colombia.
- REGALADO MÉNDEZ, A., & NORIEGA RAMOS, O. A. (2009). Comportamiento Reológico de un fluido. Mexico: Universidad del Mar.
- ROJAS QUISPE, R. M., & MOLINA RODRIGUEZ, E. (2017). Modelos Reológicos asociados a la sangre. Lima: Universidad Nacional del Callao.
- ROSAS CHAVEZ, & RODRIGUEZ ESPADA. (2016). Modelos Reológicos asociados al camu camu. Lima: Universidad Nacional del Callao.
- SANCHEZ CASAS, C., & FRANCO MATOS. (2018). Determinación de los modelos Reológicos asociados al zumo de piña. Lima: Universidad Nacional del Callao.
- SIICEX. (12 de 04 de 2016). Partidas arancelarias del producto, exportadas en los últimos años. Obtenido de http://www.siicex.gob.pe/siicex/porta15ES.asp?_page_=172.17100&_portletid_=sfichaproductoinit&scriptdo=cc_fp_init&pproducto=201&pnomproducto=Tuna
- STEFFE. (1996). Modelos Reológicos.
- SUNAT. (15 de 01 de 2019). SIICEX. Obtenido de Exportación del Producto Tuna según sus principales mercados en US\$ 2014 - 2019:

<http://www.siicex.gob.pe/siicex/apb/ReporteProducto.aspx?psector=1025&preporte=prodmerc&pvalor=1951>

SWEET CANELA. (12 de 09 de 2017). Directo al Paladar. Obtenido de ¿Conoces todas las variedades de tunas?: <https://www.directoalpaladar.com.mx/ingredientes-y-alimentos/conoces-todas-las-variedades-de-tunas-mexicanas>

VISTONY, S. (s.f.). Procedimiento Interno.

ANEXOS

a. Matriz de consistencia

TÍTULO: “DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS REOLÓGICOS ASOCIADOS AL ZUMO DE TUNAS (OPUNTIA FICUS-INDICA)”

Presentado por: FLORES RIVADENEYRA Fiorella Katherine y CORDOVA RIVERA Rostain.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Qué modelos reológicos se relacionan al zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>)?	Determinar los modelos reológicos que relacionan al zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	El zumo de tunas (<i>opuntia ficus indica</i>) tiene un comportamiento reológico parecido al de los fluidos pseudoplásticos (Robertson Stiff, Casson, Sisko y otros).	Y = Modelos reológicos relacionados zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>)	Representación de los datos obtenidos de manera experimental usando los modelos reológicos relacionados al comportamiento del zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	El coeficiente de correlación múltiple y revisión de su varianza.	Relacionando la relación de las variables X1, X2 y X3.
SUB – PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a. ¿Qué relación tendrán el esfuerzo y la velocidad de corte en la determinación experimental para el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>)?	a. Determinar experimentalmente la relación que existe entre la velocidad y el esfuerzo de corte en el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	El esfuerzo y la velocidad de corte guardan una relación no lineal para el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	X ₁ = Relación existente entre la velocidad y el esfuerzo de corte para el zumo de tunas (<i>opuntia ficus indica</i>).	Revisión de la concordancia entre la velocidad y el esfuerzo de corte.	Variaciones en la relación lineal.	Gráfico
b. ¿Cuál será la relación de los datos obtenidos experimentalmente para encontrar los parámetros reológicos asociados al zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	b. Determinar los parámetros de los modelos reológicos relacionados con el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>) mediante tratamientos estadísticos.	Realizando el análisis estadístico de los datos obtenidos para la velocidad y esfuerzo de corte, obtendremos los parámetros de los modelos relacionados con el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	X ₂ = Parámetros de los modelos reológicos relacionados con el zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>) mediante tratamientos estadísticos.	Relación cuantitativa entre los resultados de esfuerzo y velocidad de corte del zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	Índice de correlación y análisis de la varianza.	Regresión no lineal.
c. ¿Qué tipos de reogramas relacionan al zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>) a las diferentes temperaturas?	c. Elaborar reogramas relacionados al zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>) con los datos obtenidos a las temperaturas indicadas.	Los reogramas del zumo de tunas (<i>opuntia ficus indica</i>) se comportan similar a un fluido newtoniano, particularmente a los fluidos pseudoplásticos.	X ₃ = Reogramas relacionados al zumo de tunas (<i>opuntia ficus indica</i>).	Diagrama de los reogramas que caracterizan el comportamiento del zumo de tunas (<i>opuntia ficus-indica</i>).	Desviación estándar respecto a la media del comportamiento de las propiedades del fluido newtoniano.	Gráfico.

Relación de variables $Y=f(X_1, X_2, X_3)$

Y= Modelos reológicos relacionados al zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).

X₁=Relación existente entre la velocidad y el esfuerzo de corte para el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).

X₂= Parámetros de los modelos reológicos relacionados con el zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*) mediante tratamientos estadísticos.

X₃=Reogramas relacionados al zumo de tunas (*opuntia ficus-indica*).

CARACTERIZACIÓN DE LA TUNA



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

CONSTANCIA N° 149-USM-2016

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

La muestra vegetal (fruto), recibida de **Rostain CORDOVA RIVERA**; estudiante de la Universidad Nacional del Callao ha sido estudiada y clasificada como: ***Opuntia ficus-indica*** (Linnaeus) Miller; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1981):

DIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: MAGNOLIOPSIDA

SUB CLASE: CARYOPHYLLIDAE

ORDEN: CARYOPHYLLALES

FAMILIA: CACTACEAE

GENERO: *Opuntia*

ESPECIE: *Opuntia ficus-indica* (Linnaeus) Miller

Nombre vulgar: "Tuna".

Determinado por: Mg. María I. La Torre A.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para fines de estudios.

Fecha, 01 de julio de 2016




Dra. HAYDEE MONTOYA TERREROS
JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

a) Determinación de la densidad

Procedimiento:

- Se determinó la densidad del zumo de tuna con el equipo densímetro digital Rudolph.

Lectura: El valor de densidad se obtiene directamente de la lectura que registra en el densímetro.

b) Determinación del % de acidez total

Procedimiento:

- Llenar una bureta con una solución de hidróxido de sodio 0,1N valorada.
- Tomar la lectura de la cantidad de solución en la bureta.
- La muestra en forma de solución se introduce en un matraz Erlenmeyer.
- Adicionar 5 gotas de fenolftaleína al 1% como indicador.
- Titulación: Adicionar gota por gota la solución de hidróxido de sodio, al mismo tiempo que se gira lentamente el matraz Erlenmeyer con muestra. Cuando aparece el color rosa se cierra la llave de la bureta y se sigue girando el frasco durante 15 a 30 segundos para ver si el color permanece. En caso contrario, se adiciona cada vez una gota extra de hidróxido de sodio.
- Si el color permanece, se da por terminada la titulación.
- Tomar la lectura en la bureta y se calcula la cantidad de hidróxido de sodio usada para neutralizar la acidez de la muestra.

Cálculos:

La acidez total se expresa como el porcentaje del ácido predominante en la muestra, ya sea como porcentaje de ácido cítrico, málico, láctico, etc.

$$\% \text{ Acidez total} = \frac{Vg \times N \times meq}{g \text{ o mL de muestra}} \times 100$$

Dónde:

V = volumen de NaOH consumido

N = normalidad del NaOH

Meq. = peso miliequivalente del ácido predominante en la muestra.

c) Determinación de grados Brix.

Procedimiento:

- Levantar la cubierta del refractómetro.
- Colocar dos o tres gotas de la muestra sobre el prisma de la superficie.
- Realizar la lectura la concentración de sólidos solubles o grados Brix.
- Lavar con agua destilada y secar suavemente con papel Tissue.

Lectura:

La concentración de sólidos solubles se obtiene directamente mediante el valor de la lectura expresada en °Brix.

d) Determinación de pH

Procedimiento:

- Calibrar el peachímetro con las soluciones buffer, dependiendo del rango de pH que se medirá en las muestras y de acuerdo con las instrucciones del equipo.
- Enjuagar el electrodo con agua destilada.
- Secar el electrodo con un pañuelo desechable.
- Introducir el electrodo en la muestra.
- Tomar la lectura de pH.
- Después de cada medición del pH es necesario enjuagar el electrodo con agua destilada y secar con un pañuelo desechable.

Lectura:

El valor de pH se obtiene directamente de la lectura que registra el peachímetro.