

## Modelos reológicos asociados al néctar mix papaya - piña

Angel Sobrado Gómez

[asobrado@unheval.edu.pe](mailto:asobrado@unheval.edu.pe)

Orcid: 0000-0001-7296-9345

Docente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan de Huánuco

### RESUMEN

**Objetivo:** se tuvo como objetivo Determinar los modelos reológicos asociados al néctar mix de papaya – piña. **Método:** el método de investigación se realizó haciendo uso del reómetro rotacional Rheolab QC, donde se midieron las variables de la ecuación reológico que vienen a ser el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación. Las corridas se hicieron a las temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C a fin de evaluar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad y encontrar una energía de activación promedio. La muestra de néctar utilizada es de 50% de zumo de papaya y 50% de zumo de piña. **Resultados** el logro del trabajo fueron las características de un fluido plástico real, con un umbral de esfuerzo = 0.5667 Pa, índice de consistencia = 0.2185 Pa.s<sup>n</sup> e índice de flujo = 0.6401 a la temperatura de 20°C, así como una viscosidad aparente = 0.0473 Pa.s y energía de activación = 3473.9 J/mol para el rango de temperatura de 20 a 70 °C a una velocidad de corte de 5 s<sup>-1</sup>. **Conclusiones:** el Néctar mix papaya – piña presenta comportamiento reológico de un fluido plástico real, siendo el modelo de Herschel Bulkley, dado por la ecuación:  $\tau = \tau_0 + (\mu\dot{\gamma})^{1/m}$ , con un umbral de esfuerzo = 0.5667 Pa, índice de consistencia = 0.2185 Pa.s<sup>n</sup> e índice de flujo = 0.6401 a la temperatura de 20°C, así como una viscosidad aparente = 0.0473 Pa.s y energía de activación = 3.7439 KJ/mol para el rango de temperatura de 20 a 70 °C a una velocidad de corte de 5 s<sup>-1</sup>, y con los valores estadísticos: coeficiente de correlación R<sup>2</sup> = 0.999238 y varianza S<sup>2</sup> = 0.00157717 para un nivel de confianza del 95%, el modelo de representación óptima para este tipo de fluido en referencia a los demás modelos estudiados en esta tesis.

**Palabras clave:** modelos reológicos; néctar mix papaya – piña; ecuación

## Rheological models associated with papaya-pineapple nectar mix

### ABSTRACT

**Objective:** The nectar aimed at Determining rheological correlated models itself mix of papaya – pineapple. **Method:** The method of investigation came true making use of the rotational rheometer Rheolab QC, where they measured the variables of the rheological equation that serve to be court's effort and the velocity of deformation. Races plucked up to the temperatures 20 C, 30 C, 40 C, 50 C, 60 C, 70 the viscosity and finding an energy of average activation is more than enough C in order to evaluate the effect of temperature. The sign of nectar utilized comes from 50 % of papaya juice and 50 % of pineapple juice. **Results** the achievement of work 0,5667 Pa, index of consistency were the characteristics of a fluid real plastic with a doorstep of effort, 0,2185 Pa.sn and index of flow 0,6401 to the temperature of 20 C, as well as an apparent viscosity 0,0473 Pa.s and energy of activation 3473,9 J mole for the range of temperature of 20 to 70 C to court's velocity of 5 s<sup>-1</sup>. **Findings:** The Nectar mix papaya – the pineapple presents rheological behavior of a fluid real plastic, being Herschel Bulkley's model, die for the equation: , with a doorstep of effort 0,5667 Pa, index of consistency 0,2185 Pa.sn and index of flow 0,6401 to the temperature of 20 C, as well as an apparent viscosity 0,0473 Pa.s and energy of activation 3,7439 KJ mole for the range of temperature of 20 to 70 C to court's velocity of 5 s<sup>-1</sup>, and with the statistical moral values: Correlation coefficient R2 0,999238 and variance S2 0,00157717 for the 95 %'s confidence level, the model of optimal performance for this type of fluid in regard to the rest of the models gone into in this thesis.

**Keywords:** rheology; nectar mix papaya - pineapple; equation

Artículo recibido: 10. Junio. 2021  
Aceptado para publicación: 16. Julio. 2021  
Correspondencia: [asobrado@unheval.edu.pe](mailto:asobrado@unheval.edu.pe)  
Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

## **INTRODUCCION**

En la actualidad existen herramientas informáticas sofisticadas que nos permiten desarrollar expresiones matemáticas complejas en las que intervienen iteraciones extensivas, múltiples variables y manejo de gráficos multidimensionales. Gracias a este avance, los problemas que surgen entorno al cálculo se ven reducidos, dando lugar a la imaginación del investigador para explorar nuevos niveles de tratamientos en un determinado fenómeno. Basándonos en la teoría de fenómenos de transporte, planteamos la búsqueda del modelo que explique la reología del zumo mix papaya - piña. Existe una variedad finita de estos modelos, entre los cuales se encuentra el modelo de Herschel Bulkley, Robertson Stiff, Ellis de Haven, entre otros modelos de investigadores contemporáneos. De esta manera haciendo uso de un reómetro mediremos las variables de la ecuación reológica que vienen a ser el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación del flujo en diferentes niveles de tratamiento al zumo de mango. Este aporte permitirá la predicción del flujo del zumo (índice de consistencia, índice de comportamiento al flujo) bajo diferentes condiciones de concentración y temperatura, lo cual resulta de utilidad en el cálculo de potencias en el diseño de un sistema de bombeo, sistema de agitación, reactores con agitación, en el diseño de tuberías y en el control de calidad de productos.

## **METODOLOGÍA.**

### **Lugar de ejecución**

Extracción de zumos de papaya y piña, muestras obtenidas en laboratorio de procesos agroindustriales de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Los ensayos reológicos fueron desarrollados en el laboratorio de investigación de la facultad de ingeniería química de la universidad nacional del callao.

### **Tipo de investigación**

Los tipos de investigación que se realizan en acuerdo al proyecto de esta tesis son:

Por su finalidad es de tipo exploratorio, puesto que busca identificar nuevos rumbos para investigación en campos de conocimiento no estudiadas o poco estudiados.

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

Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados es del tipo cuantitativo por que los variables de la investigación son cuantitativas

## Método de investigación

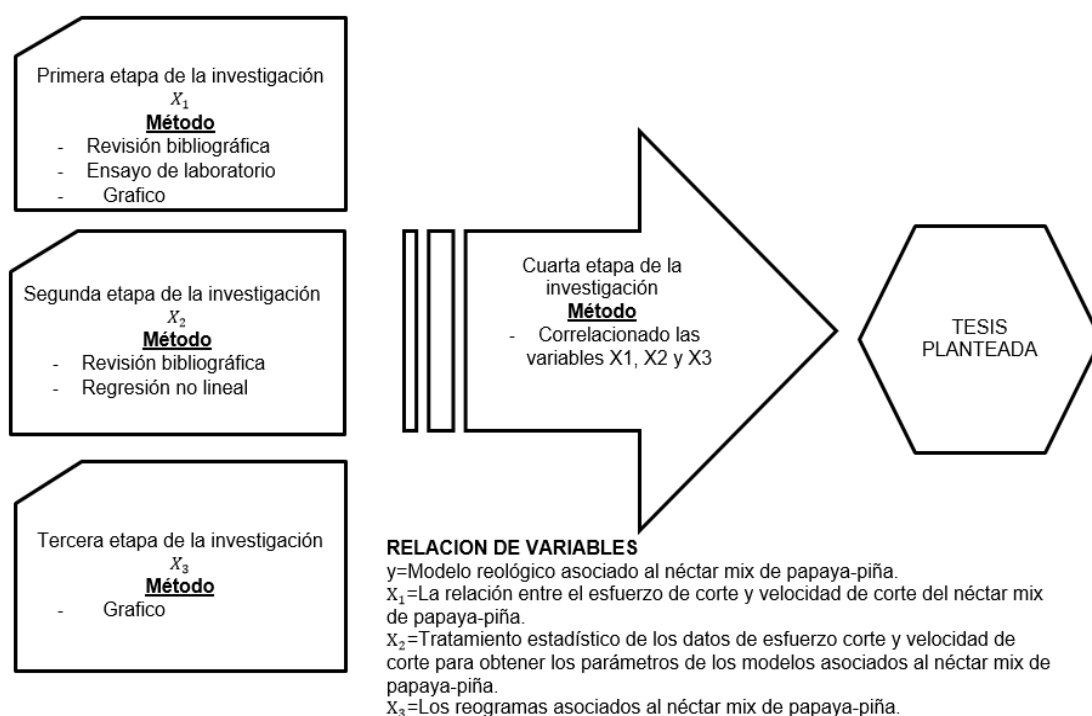
**Correlacional:** Debido a que la utilidad de este tipo de investigación es saber cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otra u otras variables relacionadas.

**Transversal:** Debido a que se determinará los parámetros y modelos matemáticos en un tiempo determinado interesando estudiar el problema en ese momento.

**Experimental:** Ya que se realizará un conjunto de actividades metódicas y técnicas para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver

## Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación consiste de tres momentos



## Población

Lote de néctar mix papaya-piña producido en la sala de procesos agroindustriales de la UNHEVAL.

## Muestra

Diez botellas de 300mL de néctar mix papaya – piña con 14° brix, volumen necesario para las mediciones en el reómetro.

### **Periodo de investigacion**

La investigacion se desarrolló durante el periodo abril del 2016 hasta diciembre 2018

### **Técnicas e Instrumentos para la recolección de la informacion**

#### ***Técnicas***

Mediante la experimentación con el reómetro rotacional para la obtención de los datos de corte y velocidad de corte del zumo mix papaya piña, la cual se detalla.

Extracción de zumos de papaya y piña, muestras obtenidas en un laboratorio de sala de procesos agroindustriales de la UNHEVAL

Se seleccionó 70 ml de muestra de Zumo de papaya y piña de 14° brix para las corridas experimentales.

Cada muestra a analizar se puso en un vaso precipitado de 100 ml, se preparó el equipo (reómetro) las diferentes corridas a realizar

Se colocó la muestra de zumo mix papaya-piña en el contenedor (Cup) del reómetro, se controló la temperatura con un chaleco térmico acoplado al cup y se fijó la velocidad de rotación a la cual fue analizada la muestra.

Se realizó la corrida experimental a las temperaturas de 20, 30 40, 50, 60 y 70 °C y cada una por duplicado para obtener puntos exactos.

El reómetro dio como resultados los valores del esfuerzo de corte y la velocidad de corte de la muestra a la temperatura de experimentación.

Con los datos obtenidos del reómetro se realizó la regresión de los modelos reológicos y el análisis estadístico para encontrar el modelo de fluido no newtoniano que se asocia al comportamiento del néctar mix de papaya y piña, y se obtuvo la vez los diferentes reogramas asociados al néctar mix de papaya y piña.

Así mismo, la técnica de regresión de mínimos cuadrados para modelar el comportamiento reológico de dicho fluido

#### ***Instrumentos***

El principal instrumento de la investigación fue el reómetro rotacional Rheolab QC, ubicado en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, así como el software Minitab para los análisis estadísticos.

## RESULTADOS

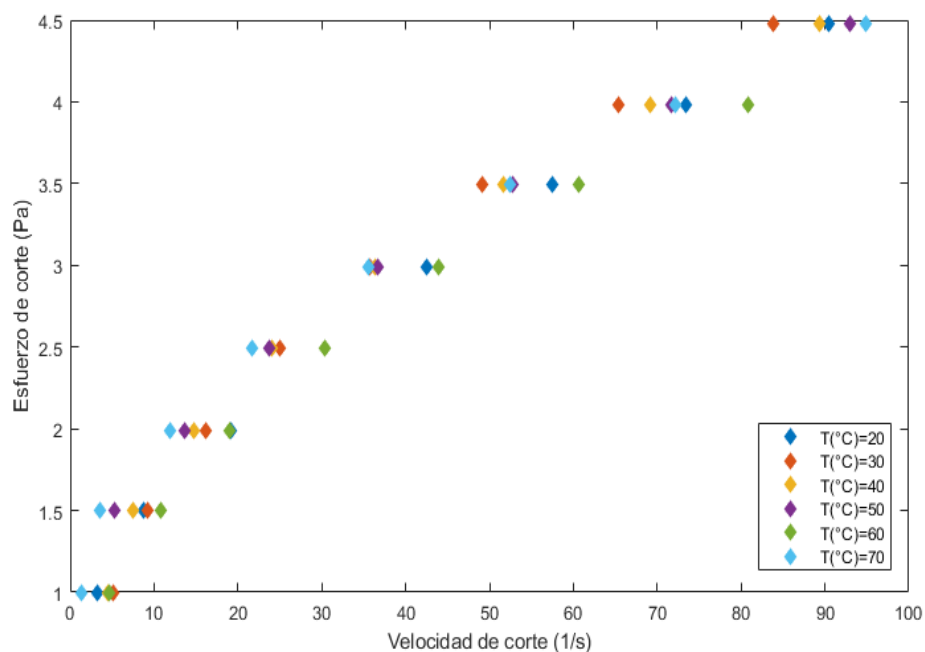
### Resultados descriptivos

Se evaluó el comportamiento reológico del néctar mix papaya-piña de 14 grados brix a las temperaturas 20, 30, 40, 50, 60 y 70°C.

**Tabla 1 datos reologicos del néctar mix papaya piña**

T(°C)=20		T(°C)=30		T(°C)=40		T(°C)=50		T(°C)=60		T(°C)=70	
□(1/s)	□(Pa)	□(1/s)	□(Pa)	□(1/s)	□(Pa)	□(1/s)	□(Pa)	□(1/s)	□(Pa)	□(1/s)	□(Pa)
3.21	1	5.11	1	4.57	1	1.36	1	4.6	1	1.29	1
8.72	1.5	9.15	1.5	7.51	1.5	5.24	1.5	10.8	1.5	3.59	1.5
19.2	1.99	16.1	1.99	14.8	1.99	13.7	1.99	19	1.99	11.9	1.99
30.4	2.49	25	2.49	24.1	2.49	23.8	2.49	30.3	2.49	21.7	2.49
42.5	2.99	35.8	2.99	36.3	2.99	36.6	2.99	43.9	2.99	35.5	2.99
57.5	3.49	49.1	3.49	51.7	3.49	52.7	3.49	60.7	3.49	52.5	3.49
73.4	3.98	65.4	3.98	69.2	3.98	71.7	3.98	80.9	3.98	72.2	3.98
90.5	4.48	83.8	4.48	89.4	4.48	93	4.48	-	-	94.8	4.48

**Figura 1. Reograma experimental de esfuerzo de corte**



**Resultados inferenciales:** regresión mínimos cuadrados aplicados a los modelos reológicos.

## Modelo Ostwald de Waele aplicado al Néctar mix papaya – piña

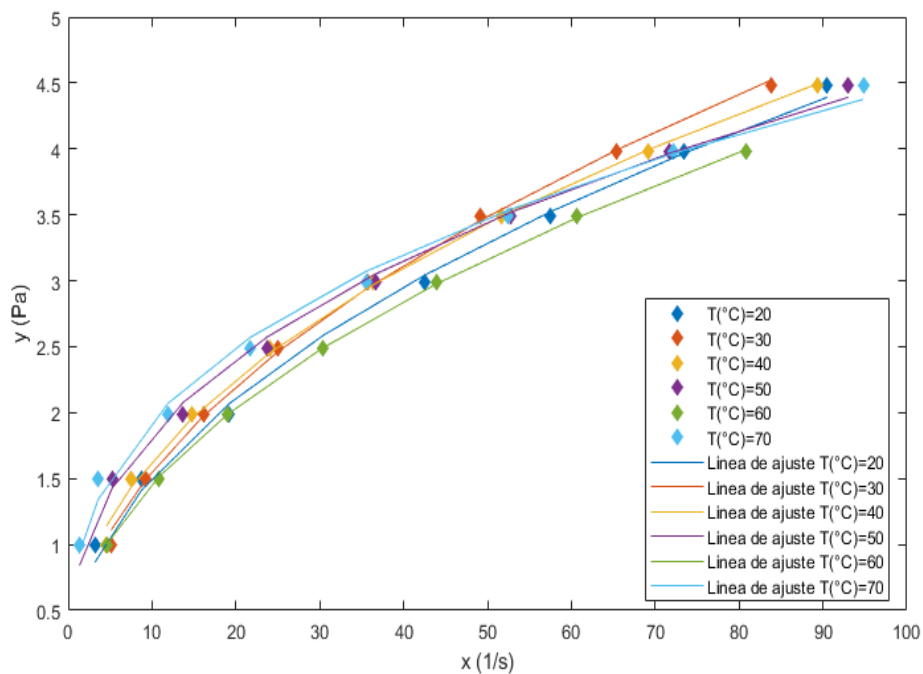
Tabla 2. Modelo Ostwald waele

Modelo reológico	Ecuación de regresión	Parámetros
$\tau = k\dot{\gamma}^n$	$y = kx^n$	$k, n$

Tabla 3. Parametros del modelo Ostwald de Waele

T(°C)	K	n	R2	Varianza
20	0.4924231	0.4856606	0.9949203	0.0087882
30	0.4882903	0.5026152	0.9982909	0.0029568
40	0.5664577	0.4610237	0.9973894	0.0045164
50	0.7467011	0.3908642	0.9944159	0.0096609
60	0.4802908	0.4822769	0.9998887	0.000154
70	0.8470324	0.3607884	0.9940178	0.0103496

Figura 2. Ajuste del modelo Ostwald de waele



### Modelo Robertson-Stiff aplicado al Nectar mix papaya-piña

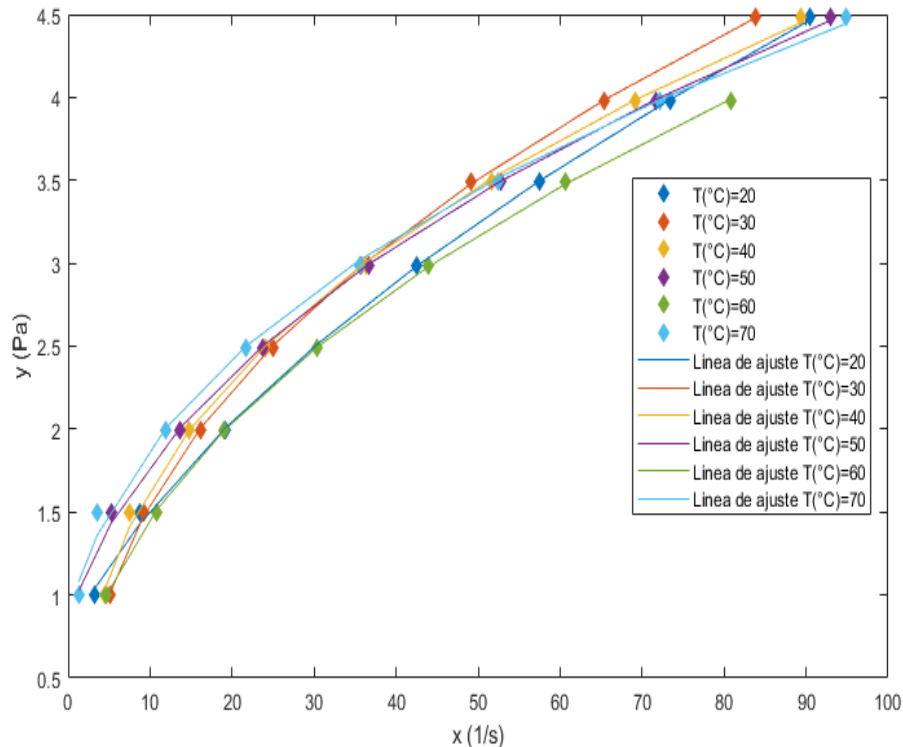
**Tabla 4.** Modelo Robertson Stiff

Modelo reológico	Ecuación de regresión	Parámetros
$\tau = k(\gamma_0 + \gamma)^n$	$y = k(\gamma_0 + x)^n$	$k, \gamma_0, n$

**Tabla 5.** Parametros del modelo Robertson-Stiff

T(°C)	k	$\dot{\gamma}_0$	n	R <sup>2</sup>	Varianza
20	0.3335971	4.085127	0.5702853	0.9992632	0.0015296
30	0.5933372	-1.920606	0.4588628	0.9998503	0.0003107
40	0.6776517	-1.770907	0.4207865	0.9988979	0.0022881
50	0.5866367	2.180218	0.4455058	0.9993841	0.0012786
60	0.4907059	-0.2175217	0.4774614	0.9999082	0.0001589
70	0.697068	1.652458	0.4053892	0.9973091	0.0055865

**Figura 3.** ajuste del modelo Robertson





**Modelo casson aplicado al Néctar mix papaya –piña**

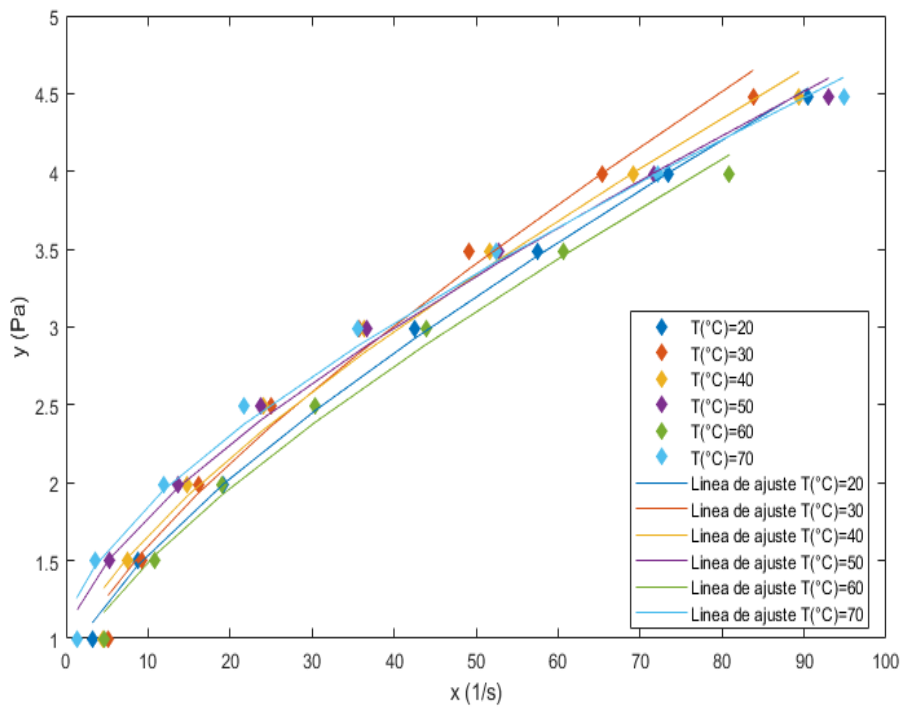
**Tabla 6. Modelo Casson**

<i>Modelo reológico</i>	<i>Ecuación de regresión</i>	<i>Parámetros</i>
$\tau = k(\gamma_0 + \gamma)^n$	$y = k(\gamma_0 + x)^n$	$k, \gamma_0, n$

**Tabla 7. Parametros del modelo Casson**

<b>20</b>	<b>0.6374285</b>	<b>0.1399431</b>	<b>0.9980712</b>	<b>0.003337</b>
30	0.6279971	0.1489798	0.984238	0.0272693
40	0.7333712	0.1372489	0.9816607	0.0317283
50	0.8890413	0.1246006	0.9928565	0.0123587
60	0.6148184	0.1381618	0.9895875	0.0144115
70	0.974615	0.1189823	0.9888409	0.019306

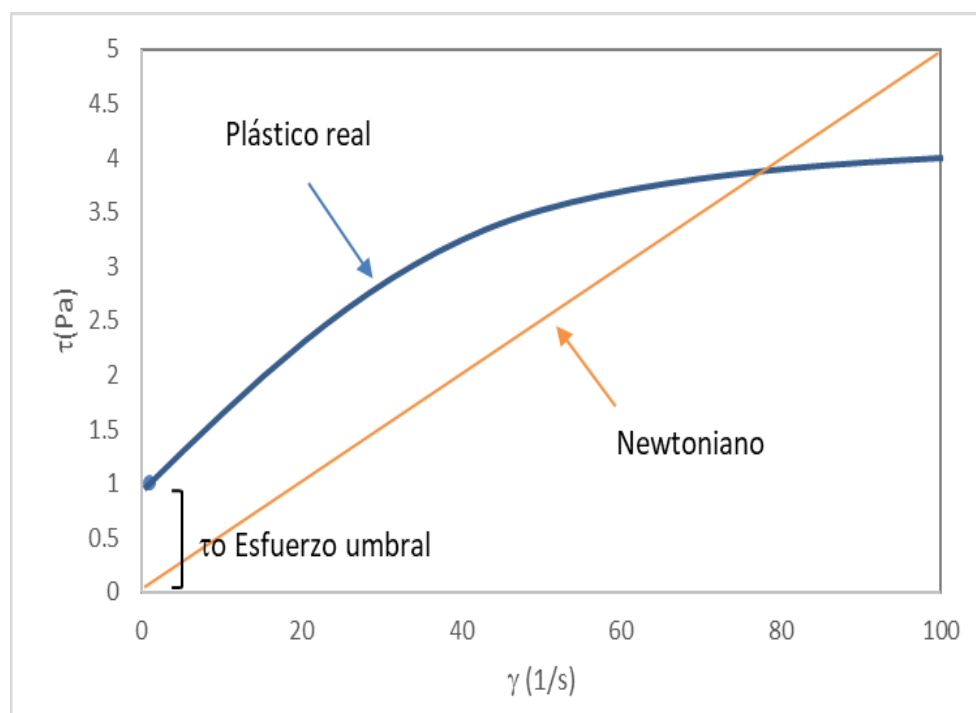
**Figura 4. Ajustes del modelo Casson**



## DISCUSIONES

A partir de los datos obtenidos, aceptamos la hipótesis general que establece que el néctar mix papaya piña presenta un comportamiento reológico del tipo plástico real, el cual queda representado adecuadamente por los modelos: Robertson Stiff, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk y Sisko. De los cuales el modelo de Herschel-Bulkley para un intervalo de confianza de 95% obtiene un valor óptimo de  $R^2 = 0.999238$  y un valor mínimo de Varianza  $S^2 = 0.00157717$ . En las figuras 51 y 522 se observa los valores de  $R^2$  y varianza de los modelos representativos para el néctar mix.

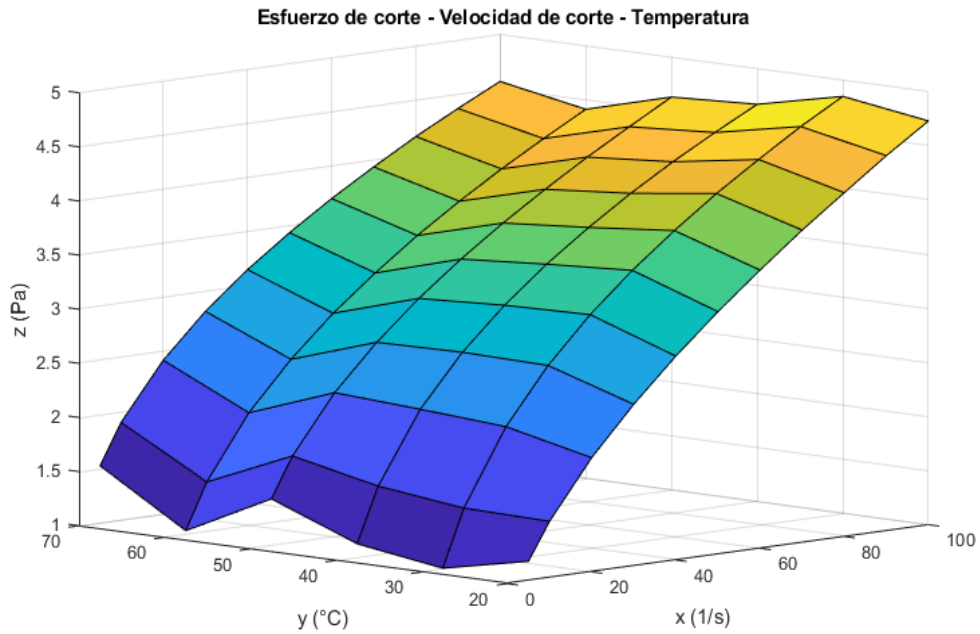
**Figura 5.** *Fluido plástico real*



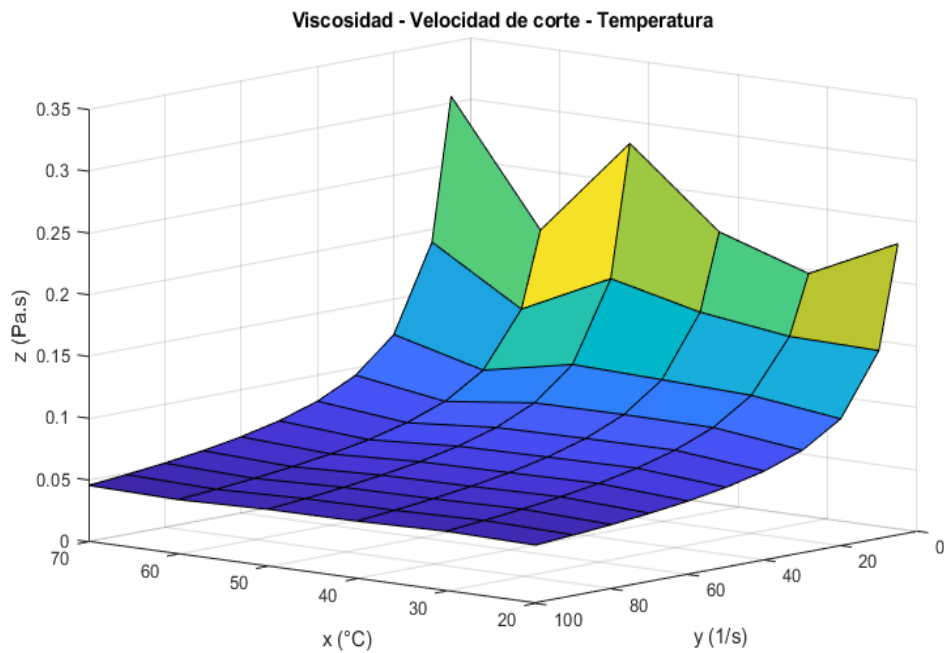
**Tabla 8.** *Comportamiento No Ideal*

<i>Modelo</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Índice de comportamiento promedio</i>
Herschel Bulkley	$\tau = \tau_0 + (\mu\gamma)^{1/m}$	$1/m = 0.48113414$
Mizrahi Berk	$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + k\gamma^n$	$n = 0.29993063$
Sisko	$\tau = A\gamma + B\gamma^n$	$n = 0.4172866$
Robertson Stiff	$\tau = k(\gamma_0 + \gamma)^n$	$n = 0.4630485$

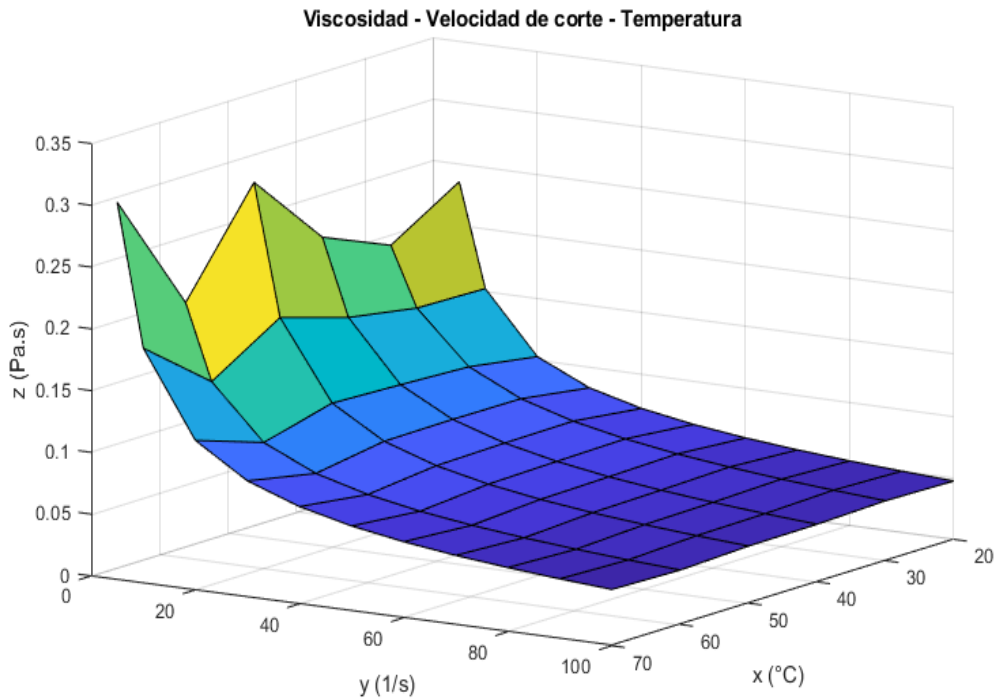
**Figura 6.** Reograma esfuerzo velocidad y temperatura



**Figura 7.** Reograma viscosidad, velocidad y esfuerzo

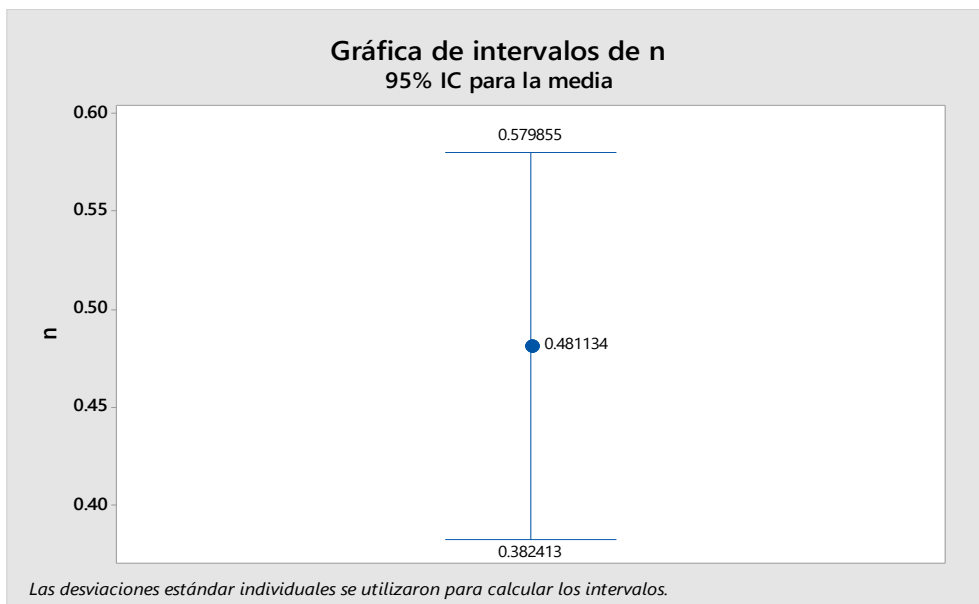


**Figura 8.** Viscosidad, velocidad y temperatura



Del modelo de Herschel Bulkley, los resultados del índice de consistencia e índice de flujo promedio,  $k = 0.554867 Pa.s^n$  y  $n = 0.481134$  respectivamente, son valores característicos de un fluido con comportamiento plástico real.

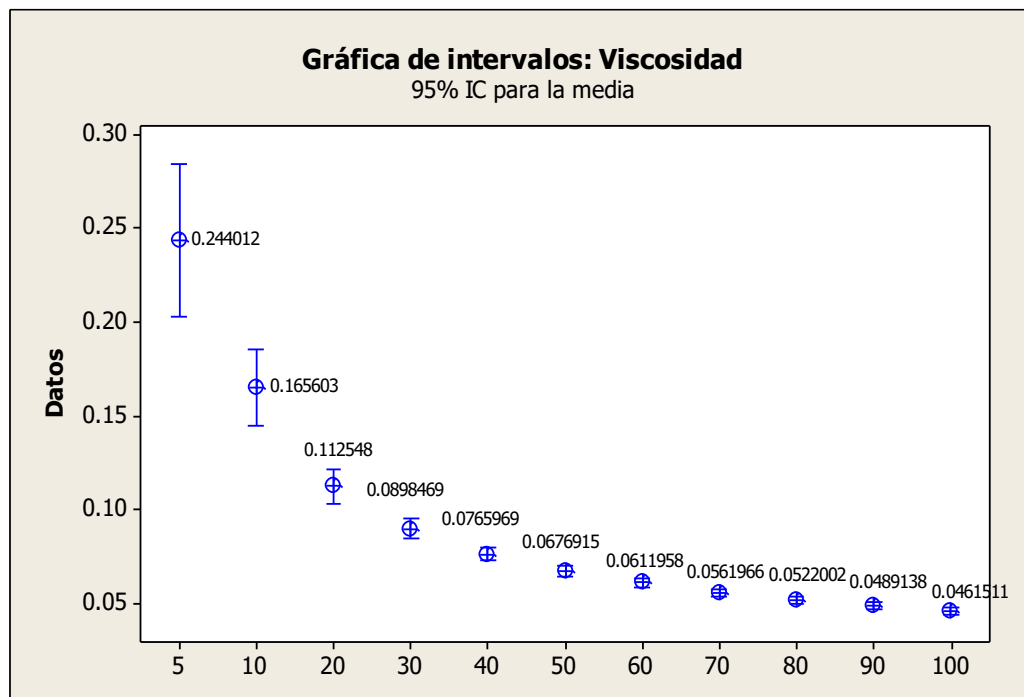
**Figura 9.** Intervalos de  $n$  del modelo Herschel Bulkley



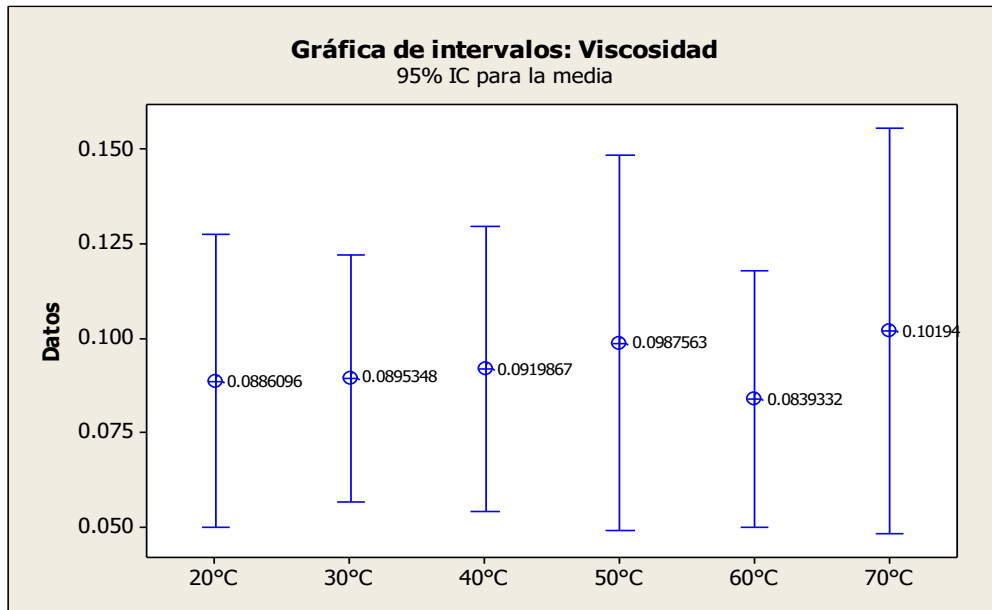
### Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Kawazoe y Cunha (2007) determinaron que el modelo de Herschel Bulkley fue el que mejor ajustó el comportamiento reológico de la fruta de jaborcoba. En el presente estudio, dicho modelo representa óptimamente, con un índice  $R^2 = 0.999238$ , el comportamiento reológico del Mix papaya-piña. Dak y colaboradores (2006) evaluaron los parámetros reológicos para el jugo de mango con un reómetro rotacional el intervalo de temperaturas de 20 a 70°C, determinando que el mejor ajuste se obtuvo con la ley de potencia. En el presente estudio, el modelo Ostwald de Waele (Ley de potencia) con un  $R^2 = 0.99665$  ajusta adecuadamente los datos reológicos del néctar mix papaya piña, siendo éste un modelo de mayor alcance para predecir el comportamiento reológico de jugos de fruta. Mossel y colaboradores (2000), determinaron la viscosidad de varias mieles australianas a tasas de deformación correspondientes a 1, 25 y 50 rpm para un rango de temperatura entre 10 – 40 °C. En el presente estudio, con el modelo de Herschel Bulkley se determinó la viscosidad del néctar mix papaya-piña para las velocidades de deformación desde 5 a 100  $s^{-1}$  y el rango de temperaturas de 20 a 70°C demostrando que al aumentar la velocidad de deformación disminuye y al aumentar la temperatura aumenta hasta los 50°C (0.09875 Pa.s), decrece a los 60°C (0.08393 Pa.s) y vuelve a aumentar a los 70°C (0.10194Pa.s).

**Figura 10.** Comportamiento de la viscosidad – velocidad de corte

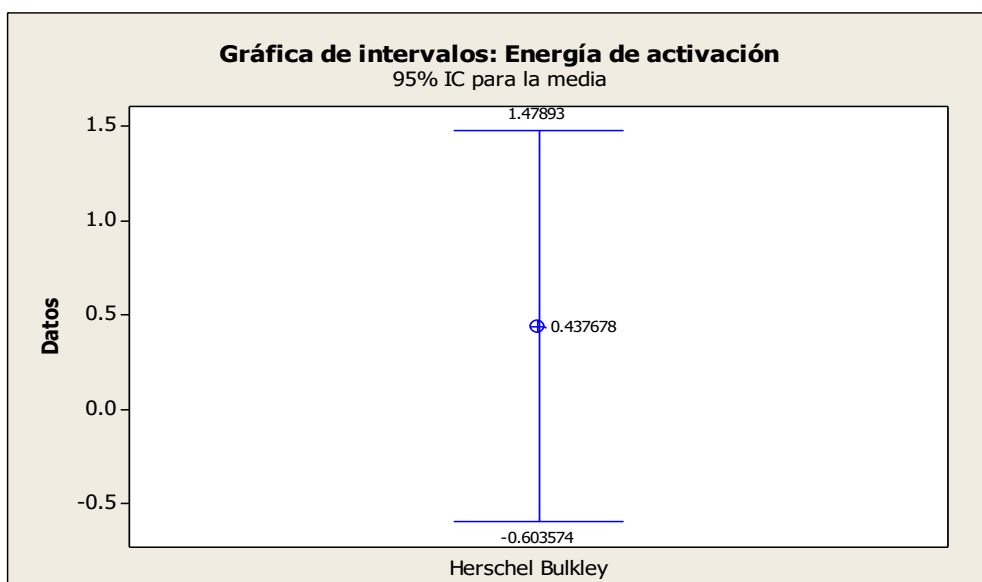


**Figura 11. Comportamiento de la Viscosidad –Temperatura**



Alvarado (1992) determinó la viscosidad de jugos filtrados de frutas para un intervalo de temperatura de 10 a 80 °C y calculó la energía de activación para el jugo de babaco (papaya o lechosa) comprendida en 23.7 kJ/mol . En el presente estudio, mediante el modelo de Herschel Bulkley se calculó la energía de activación para el Néctar mix papaya-piña, en el intervalo de 20 a 70°C, resultando 0.4376 KJ/mol en promedio

**Figura 12. Energía de activación de Herschel Bulkley**



### **Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Yo investigador me responsabilizo de los resultados obtenidos y la información obtenida de otros autores mencionados en la literatura afín

### **CONCLUSIONES**

Se concluye que el Néctar mix papaya – piña presenta comportamiento reológico de un fluido plástico real, siendo el modelo de Herschel Bulkley, dado por la ecuación:  $\tau = \tau_0 + (\mu\dot{\gamma})^{1/m}$ , con un umbral de esfuerzo = 0.5667 Pa, índice de consistencia = 0.2185 Pa.s<sup>n</sup> e índice de flujo = 0.6401 a la temperatura de 20°C, así como una viscosidad aparente = 0.0473 Pa.s y energía de activación = 3.7439 KJ/mol para el rango de temperatura de 20 a 70 °C a una velocidad de corte de 5 s<sup>-1</sup>, y con los valores estadísticos: coeficiente de correlación R<sup>2</sup> = 0.999238 y varianza S<sup>2</sup> = 0.00157717 para un nivel de confianza del 95%, el modelo de representación óptima para este tipo de fluido en referencia a los demás modelos estudiados en esta tesis. Los datos reológicos se obtuvieron para las temperaturas de 10, 20, 30 40, 50 y 60°C, analizados en el sistema de cilindros concéntricos del reómetro Rheolab QC, hallándose una tendencia creciente y cóncava hacia abajo en los reogramas de esfuerzo y velocidad de corte, los cuales representan las características reológicas inherentes de Néctar Mix Papaya-Piña. Se determinó que para los rangos de temperatura trabajados, el índice de comportamiento de flujo presenta valores menores a 1 (n < 0.5), y un índice de consistencia promedio de Herschel Bulkley 0.554867 Pa.s<sup>n</sup>, características de un fluido no newtoniano con comportamiento plástico real, lo cual queda complementado con la verificación de la disminución de la viscosidad aparente [0.244012 - 0.0461511] Pa.s a medida que se incrementa la velocidad de corte [ 5 – 100] s<sup>-1</sup>. Para el intervalo de temperatura [20 - 50] °C la viscosidad aparente muestra un incremento en la viscosidad, esto debido a posibles formaciones de cristalinas en la estructura del fluido y para el intervalo de [50 - 70] °C el zumo presenta un comportamiento diferente, con disminución de la viscosidad aparente a los 60°C, ocasionado por posibles cambios en la estructura cristalina y a un aumento significativo en la energía cinética de las partículas del fluido.

## RECOMENDACIONES

- Extender el estudio reológico de néctares con frutos de la zona para darle mayor valor agregado a sus subproductos.
- Extender el estudio reológico a nuevas formulaciones de néctares variando las concentraciones de sus componentes.
- Extender el estudio orientado a los cambios en la estructura interna que afecten a las mediciones del esfuerzo y velocidad de corte, principalmente alrededor de los 50°C en donde el fluido comienza a presentar posibles cambios en su estructura interna.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barnes, H. A. (2000). Non-Newtonian Flow in the Process Industries. RP Chhabra and JF Richardson, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, pp. xiii+ 436, &35. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 92(1), 106-106.
- Canovas, G. B., & Peleg, M. (1983). Flow parameters of selected commercial semi-liquid food products. Journal of Texture Studies, 14(3), 213-234.
- Cárdenas, J. C., López, O. J., & Pinto, K. T. (2011). Estudio reológico de los fluidos viscoelásticos surfactantes utilizados en operaciones de fracturamiento hidráulico. Revista Fuentes, 9(1).
- Carrasco Venegas, Luis (2011). Fenómenos de Transporte (2° ed.) Editorial Macro, Perú: Lima.
- Carrasco Venegas, Luis; Castañeda Pérez, Luz; Altamirano Oncoy, Karina (2014). Modelos de Viscosidad de Fluidos No Newtonianos; Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, Perú: Callao.
- Carrasco Venegas, L., Castañeda Pérez, L., & Altamirano Oncoy, K. (2015). *Determinación de los parámetros reológicos de un champú con el modelo de Carreau-Yasuda.*
- Chhabra, R. P., & Richardson, J. F. (1999). Non-Newtonian flow in the process industries: fundamentals and engineering applications. Butterworth-Heinemann.
- Franco Matos, C. E., & Sanchez Casas, C. C. (2018). Determinación de los modelos reológicos asociados al zumo de piña.
- Ibarrola, E. L. (2009). Introducción a los fluidos no newtonianos. Cátedra de Mecánica de fluidos. UnCor.



- Javier Daza, N. R. (2014). Elaboración y evaluación reológica de mermelada de piña (Ananas comosus).
- J.R. Hermida Bun (2000). Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios.
- López, L. T., & Miranda, L. S. (2018). Efecto de la viscosidad de una suspensión en la clasificación de hidrociclones.
- Lozada Carbajal, M. A. (2007). Extracción y caracterización reológica de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna (*Opuntia* spp.).
- Magerramov, M. A., Abdulagatov, A. I., Abdulagatov, I. M., & Azizov, N. D. (2007). Viscosity of tangerine and lemon juices as a function of temperature and concentration. *International journal of food science & technology*, 42(7), 804-818.
- Méndez, A. R., & Ramos, O. A. N. (2008). Comportamiento reológico de un fluido. Universidad del Mar. Oaxaca, México.
- Molina Rodríguez, E. D., & Rojas Quispe, R. M. (2018). Modelos reológicos asociados a la sangre.
- Monsalve, A. (2010). Reología, la ciencia que estudia el movimiento de fluidos. *Revista Remetallica*, (18).
- Montalván Torres, G. (2018). Reogramas de modelos de fluidos no Newtonianos.
- Mott, Robert L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (6° ed). Ed. Pearson Educación. México.
- Pérez Alferes, p. J. (2015). Comportamiento reológico de la pulpa tamizada de copoazú (*Theobroma grandiflorum*).
- Pérez-Trejo, L., Sánchez, A. F. M., & Mercado, A. P. (2010). Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 36.
- Quintero, C., Duque, C., & Giraldo, G. (2012). Evaluation of the viscosity and the color of common mango pulp (*Mangifera indica* L.) enzymatically treated. *Revista Temas Agrarios*, 17(2), 66-76.
- Ramírez Navas, Juan, (2006). *Fundamentos de Reología de los Alimentos*; Ed. JSR e-books, Colombia: Cali.
- Rao, M. A., Rizvi, S. S., Datta, A. K., & Ahmed, J. (2014). *Engineering properties of foods*. CRC press.

- Rauendaal C. (1988). *Mixing in Polymer Processing*, Munich, Hanser.
- Rojas, O. (1999). *Introducción a la Reología*. Cuaderno FIRP, 520.
- Saravacos, G. D. (1970). Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *Journal of Food Science*, 35(2), 122-125.
- Sharma, S. K., & Mulvaney, S. J. (2003). *Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio* (No. 664 S32). Saravacos, G. D., & Maroulis, Z. B. (2001). *Transport properties of foods*. CRC Press.
- Soler Manuel, M. A. (1976). *Hidrodinámica de los fluidos no-newtonianos: aplicación al derrame en un medio poroso*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press.