



UNIVERSIDAD LE CORDON BLEU

Carrera Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

Estudio del comportamiento reológico de la pulpa simple y concentrada de mango (*Mangífera indica* L) variedad Haden, en el procesamiento térmico de pasteurización a diferentes temperaturas

Damián Manayay Sánchez

Albert Ibarz Ribas

Williams Castillo Martínez

Lenin Palacios Ambrocio

Miraflores, Enero 2015

RESUMEN

Se ha evaluado, tixotropía, esfuerzo umbral y caracterización al flujo, así como el efecto de la temperatura y la concentración de sólidos sobre el índice de consistencia y de comportamiento al flujo, en muestras de pulpa simple y concentrada (28°Brix) de mango variedad Haden, obtenidas de frutas maduras; previa clasificación, pre cocción, pulpeado mecánico y pasteurizadas por 5 minutos, para pulpa simple a temperaturas de 80, 85, 90, 95 y 98°C, y para concentrada a 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65 y 75°C.

La pulpa simple, no muestra comportamiento tixotrópico, en tanto que la concentrada (28°Brix) si, asimismo, la pulpa simple tiene comportamiento relativo al de un fluido pseudoplástico del tipo Herschel-Bulkley, mientras que la pulpa concentrada tiene un ajuste adecuado al de un fluido pseudoplástico del tipo Herschel-Bulkley. Los índices de consistencia y de comportamiento al flujo de la pulpa simple se ubicaron en los límites siguientes: $2.07 \pm 0.76 \leq k \leq 3.92 \pm 0.46$ (Pa-sⁿ); $0.27 \leq n \leq 0.35$ respectivamente; en tanto que la concentrada arrojó los rangos de esfuerzo umbral, índice de consistencia y de comportamiento al flujo siguientes: $0.71 \pm 1.64 \leq \sigma_0 \leq 60.11 \pm 5.23$ (Pa); $14.7 \pm 1.25 \leq k \leq 94.22 \pm 4.84$ (Pa-sⁿ); $0.201 \pm 0.007 \leq n \leq 0.352 \pm 0.014$. El esfuerzo umbral e índice de consistencia decrecen con la concentración de sólidos, mientras que la temperatura ejerce mayor efecto sobre el índice de consistencia a medida que la concentración de sólidos se incrementa.

ABSTRACT

Has been evaluated, thixotropy, yield stress and characterization flow and the effect of temperature and the solids concentration on the rate of consistency and flow behavior, samples of single and concentrated pulp (28 ° Brix) mango Haden variety obtained from ripe fruit; presorting, pre cooking, mechanical pulping and pasteurized for 5 minutes, to temperatures of 80 single pulp, 85, 90, 95 and 98 ° C, and concentrated to 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65 and 75 ° C.

Simple pulp, shows thixotropic behavior, while the concentrated (28 ° Brix) if also simple pulp has on the behavior of pseudoplastic Herschel-Bulkley fluid type, whereas the concentrated pulp has an adequate fit to a pseudoplastic fluid of Herschel-Bulkley type. The indices of consistency and flow behavior of simple pulp were located within the following limits: $2.07 \pm 0.76 \pm 3.92 \leq k \leq 0.46$ (Pa-sⁿ); $0.27 \leq n \leq 0.35$ respectively; while yielded concentrated effort threshold ranges, consistency index and flow behavior following: 0.71 ± 1.64 $60.11 \pm \leq \tau_0 \leq 5.23$ (Pa); $14.7 \pm 1.25 \leq k \leq 94.22 \pm 4.84$ (Pa-sⁿ); $0.201 \pm 0.007 \leq n \leq 0.352 \pm 0.014$. The threshold stress and consistency index decrease with the concentration of solids, while temperature has greater effect on the consistency index as the solids concentration increases.

I. INTRODUCCIÓN

Según la FAO, al año 2012, y que en algunos casos corresponden a estimaciones de la referida organización, indica que la India, es de lejos, el primer productor de mango del planeta, seguida a considerable distancia por China, Kenya, Tailandia e Indonesia; en tanto que en América Latina, México es el séptimo productor mundial, Brasil (octavo), Cuba (decimoquinto) y el Perú (decimoséptimo).

La misma fuente, refiere que el Perú, produjo 355.431 toneladas de mango al año 2012, 2.5 veces mayor a la de inicio de este siglo (144,914 toneladas) y cinco veces superior a la de inicios de los años 90 (67,909 toneladas). Esto le está permitiendo ingresar ininterrumpidamente al ranking de los veinte principales productores de mango, hecho que antes sólo ocurría esporádicamente. Es decir, tras un vigoroso crecimiento, el Perú se ha consolidado como un importante productor, y sus perspectivas de seguir en esa tendencia son excelentes, teniendo en cuenta el potencial de ventas de los gigantescos mercados con los cuales tiene suscritos y vigentes tratados de libre comercio (Estados Unidos, China, la Unión Europea y Japón).

Se precisa, sin embargo, que los datos del Ministerio de Agricultura señalan que la producción nacional de mango retrocedió bruscamente, pasando de 351,937 toneladas en el año 2011 a sólo 185,182 en el 2012; afortunadamente, ha tenido una rápida recuperación, habiendo llegado a 456,586 toneladas en el 2013. Las exportaciones ascendieron a 107 mil toneladas en el año 2012 y 138 mil en el 2013 (con niveles de US\$ 118 millones y US\$ 131 millones respectivamente). Las exportaciones de mango fresco han mantenido una trayectoria creciente en los últimos cinco años, con lo cual, durante el 2013, prácticamente duplicaron el valor obtenido en el año 2012. El mango peruano ofrece un alto potencial debido a que se produce en un trópico seco, donde no hay lluvias, y el cultivo se maneja con mayor facilidad respecto a otros países.

Las principales variedades que se cultivan en el Perú son el “criollo” de Chulucanas y el “chato” y “rosado” de Ica, que se destinan tanto para el mercado interno como para la producción de pulpa y jugos concentrados

para exportación. Dentro de las variedades que se exportan en estado fresco destacan el “Kent”, “Haden”, “Tommy Atkins” y “Edward”.

En este marco de relaciones comerciales del Perú con el mundo, es que se ubica el problema del excedente no exportable de mango fresco, que es destinado aproximadamente en un 60% al consumo directo nacional y un 40% a la exportación en pulpa, simple o concentrada y congelada, problema central de la presente investigación, que por su naturaleza de exigencia de inocuidad para superar los niveles de calidad de pulpa exportable, obliga a las instituciones como las universidades desarrollar investigación aplicada, con la finalidad de establecer parámetros de tratamientos térmicos de preservación adecuados y acordes a las exigencias de integridad nutricional y sanitaria del mercado mundial.

En el proceso térmico de estos materiales, es que tiene importancia el comportamiento reológico, vista como parámetro de direccionamiento al diseño de los sistemas de transporte y homogenización en las operaciones de difusión del calor, razones que delinear la necesidad de realizar los estudios, entre otros, de identificación del tipo de fluido, la variación del índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo, así como los efectos de la temperatura y concentración de sólidos sobre éstos índices.

II. MARCO TEORICO

Son muchas las investigaciones aplicadas que se refieren a la reología o ciencia de la deformación de los fluidos, todas concluyen que tienen comportamientos reológicos específicos, y que éstos comportamientos muestran correspondencia a los niveles de cohesión intermolecular, tamaño de partículas y a la alta o baja concentración de sólidos en el medio, resultados que no se alejan de lo sostenido por (Muller, et al., 1977), sino que más bien corroboran la teoría fundamental del autor. En este marco de las investigaciones, se encuentran estudios en líquidos claros como los zumos o jugos de frutas y en fluidos con altos y bajos contenidos de sólidos en suspensión como las pulpas simples o concentradas, determinando que los primeros, por ejemplo, difícilmente muestran comportamiento tixotrópico, frente al esfuerzo de corte no tienen mayor resistencia para fluir y tienen un índice de comportamiento al flujo (n) muy cercanos a la unidad; es decir, estos fluidos al no mostrar tixotropía, tener esfuerzos

umbrales inferiores a 1 Pa y valores del índice de comportamiento al flujo cercanos a la unidad, difícilmente serán caracterizados como fluidos que se alejen sustancialmente del comportamiento Newtoniano, (**Ibarz et al., 1989; Saravacos 1970**); en tanto que los segundos al mostrar comportamiento tixotrópico, dificultad para fluir frente a la aplicación del esfuerzo de corte y tener índices de comportamiento al flujo muy inferiores a la unidad, confirman que son fluidos no Newtonianos, pudiendo ser dependientes o independientes del tiempo, (**Ibarz et al., 1992; Lozano e Ibarz, 1994; Ibarz et al., 1994; Ibarz et al., 1995; Ibarz et al., 1996**). Los fluidos no Newtonianos dependientes del tiempo son aquellos en donde su viscosidad aparente, además del esfuerzo cortante depende del tiempo, como en el caso de los tixotrópicos; mientras que en los independientes del tiempo, el esfuerzo cortante sólo depende de la velocidad de deformación de su estructura interna.

Los fluidos Newtonianos son aquellos que exhiben un flujo uniforme, en donde la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación es constante, en tanto que en el no Newtoniano esta relación no es constante (**Muller, et al., 1977**), las investigaciones relacionadas a la temática, parten de esta concepción central y como resultados muestran aplicaciones, mediante la determinación de los parámetros que permitan operar las ecuaciones teóricas como el de Figoni-Shoemaker ($\sigma = \sigma_e + (\sigma_o - \sigma_e) e^{-kt}$, Herschel - Bulkley ($\sigma = \sigma_0 + \eta(\dot{\gamma})^n$) y ley de la potencia ($\sigma = \eta(\dot{\gamma})^n$), que correspondientemente expresan la velocidad con que se modifica la estructura interna del fluido al recibir esfuerzo de corte y la resistencia a fluir, aplicaciones que permiten tener idea de cuáles serían los dimensionamientos de los sistemas de transporte como las bombas, tuberías y accesorios (**Giner et al., 1996; Villarán et al., 1997; Ramos et al., 1998; Pelegrine et al., 2002**).

Es importante destacar que en el análisis del comportamiento reológico de los fluidos, no es de extrañar que la temperatura disminuya la viscosidad de éstos, en tanto que el índice de comportamiento al flujo (n), en algunos casos específicos no tiene mayor variación (**Fito et al., 1982; Harper y El-Sahrigi, 1965**) citados por (**Ibarz et al., 1988**). Asimismo, es necesario

resaltar que el índice de consistencia (k) delinea el cuerpo del fluido, mientras que (n) la desviación del comportamiento al flujo respecto del Newtoniano, (Carbonell et al., 1990).

III. MATERIALES Y MÉTODO

A. Materiales

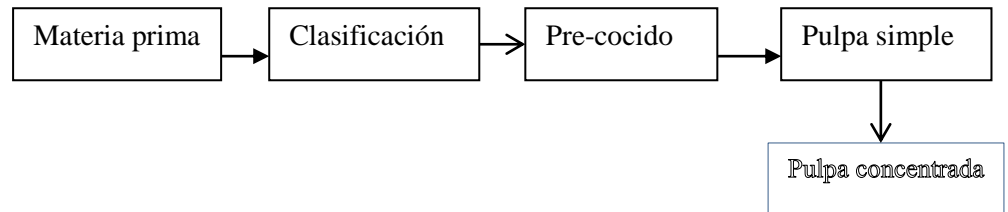
- Muestra: Frutos maduros de mango variedad Haden
- Materiales de proceso: Marmitas a vapor de agua, pulpeadora mecánica con malla de graduación 0.5 mm.
- Material de laboratorio: Viscosímetro de cilindros concéntricos Brookfield, modelo Rheometer RS/PLUS.

B. Método

El método empleado en esta investigación es **cuantitativo-experimental**, con fundamento en el método **hipotético-deductivo**.

Procedimiento

a. Obtención de muestra



b. Determinaciones reométricas

Muestra	Temperatura (°C)	Lecturas reométricas		
		δ_1 vs γ_1	δ_2 vs γ_2	δ_3 vs γ_3
Pulpa simple	80	.....	.....	.....
	85	.....	.....	.....
	90	.....	.....	.....
	95	.....	.....	.....
	98	.....	.....	.....
Pulpa concentrada	5	.....	.....	.....
	15	.....	.....	.....
	25	.....	.....	.....
	35	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....
	55	.....	.....	.....
	65	.....	.....	.....
	75	.....	.....	.....

δ_1 = Esfuerzo de corte (Pa)

γ_1 = Velocidad de deformación (1/s)

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluaciones reológicas en pulpa simple de mango variedad Haden

Los resultados de las evaluaciones de tixotropía y esfuerzo umbral en pulpa simple de mango Haden, se indican en las Tablas 1 y 2, y las Figuras 1 y 2, en tanto que el resultado del ajuste al modelo reológico Herschel - Bulkley, se muestran en la Tabla 3. La Figura 3 representa el reograma para la temperatura de 80°C de proceso térmico, análogos comportamientos se han observado para demás temperaturas.

TABLA 1: Variación del esfuerzo de corte con el tiempo en pulpa simple de Mango Haden.

Tiempo (s)	80°C	85°C	90°C	95°C	98°C
0	11.63	11.33	10.21	9.62	8.88
10	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
20	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
30	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
40	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
50	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
60	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
70	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
80	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86
90	11.53	11.26	10.15	9.58	8.86

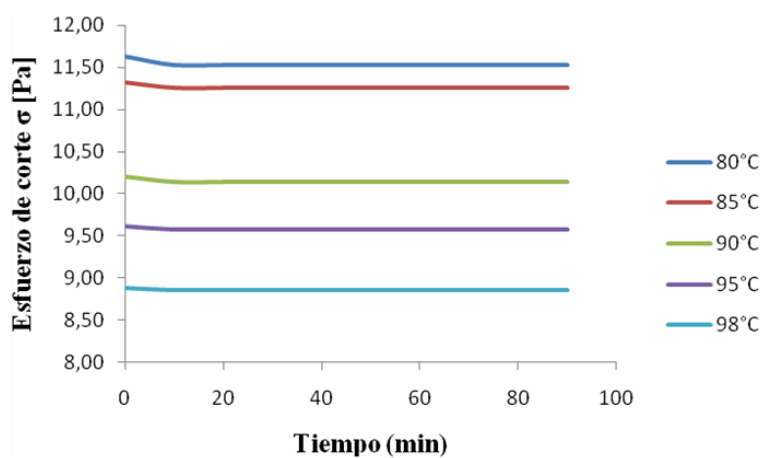


Figura 1: Comportamiento del esfuerzo de corte con el tiempo en pulpa simple de mango variedad Haden

TABLA 2: Variación del esfuerzo de corte con la velocidad de deformación en pulpa simple de mango variedad Haden

(1/s)	80°C	85°C	90°C	95°C	98°C
1.01	2.804	2.730	2.488	2.455	2.241
12.007	7.040	6.999	6.299	6.345	5.750
23.005	8.339	8.168	7.762	6.995	6.375
34.003	9.566	8.977	8.702	7.956	6.881
45.001	10.225	9.812	9.499	8.781	7.789
55.998	11.173	10.667	9.827	9.610	8.716
66.996	11.813	11.364	10.608	10.212	9.411
77.994	12.376	11.881	10.419	10.703	9.721
88.994	12.911	12.441	11.882	11.201	10.185
99.989	13.439	12.872	12.350	11.522	10.568

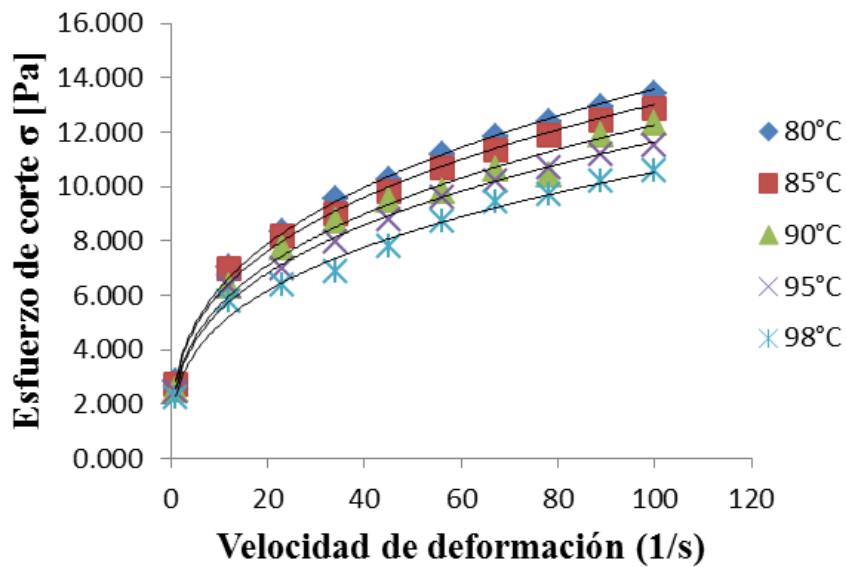


Figura 2: Comportamiento de la variación del esfuerzo de corte con la velocidad de deformación en pulpa simple de mango variedad Haden

TABLA 3: Parámetros del modelo de Herschel y Bulkley $\sigma = \sigma_0 + \eta(\dot{\gamma})^n$ para pulpa simple de mango Haden

Variedad	T (°C)	Esfuerzo Umbral σ_0 (Pa)	Índice de consistencia Herschel-Bulkley k (Pa·s ⁿ)	Índice de comportamiento al flujo (n)	r
Haden	80	1.00(±0.55)	3.92(±0.46)	0.29(±0.018)	0.999
	85	1.066(±0.93)	3.87(±0.79)	0.28(±0.031)	0.997
	90	1.40(±1.15)	3.84(±1.52)	0.27(±0.058)	0.989
	95	0.39(±0.96)	2.92(±0.79)	0.31(±0.043)	0.994
	98	0.28(±0.99)	2.07(±0.76)	0.35(±0.061)	0.989

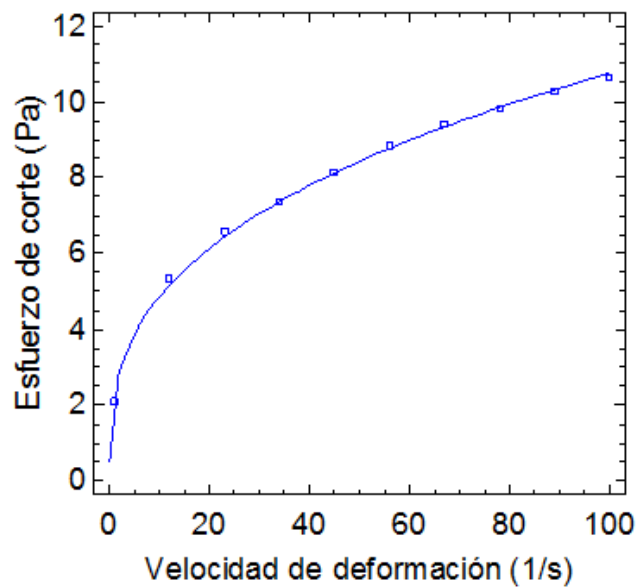


Figura 3: Reo grama de pulpa simple de mango Haden a 80°C, con ajuste al modelo Herschel-Bulkley

4.2. Evaluaciones reológicas en pulpa concentrada (28°Brix) de mango variedad Haden

Los resultados de evaluaciones del esfuerzo de corte con el tiempo en pulpa concentrada (28°Brix) de mango variedad Haden, se presenta en la Tabla 4 y la Figura 4; mientras los parámetros del ajuste realizado al modelo reológico de Figoni-Shoemaker, se muestra en la Tabla 5 y la Figura 5 muestra el comportamiento del ajuste al modelo de Figoni-Shoemaker a 15°C, habiéndose observado comportamientos análogos para demás temperaturas de proceso térmico.

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de la variación del esfuerzo de corte con la velocidad de deformación, mientras que la Tabla 7 recoge los resultados de los parámetros ajustados al modelo reológico Herschel – Bulkley, en tanto que la Figura 6 muestra el reograma correspondiente.

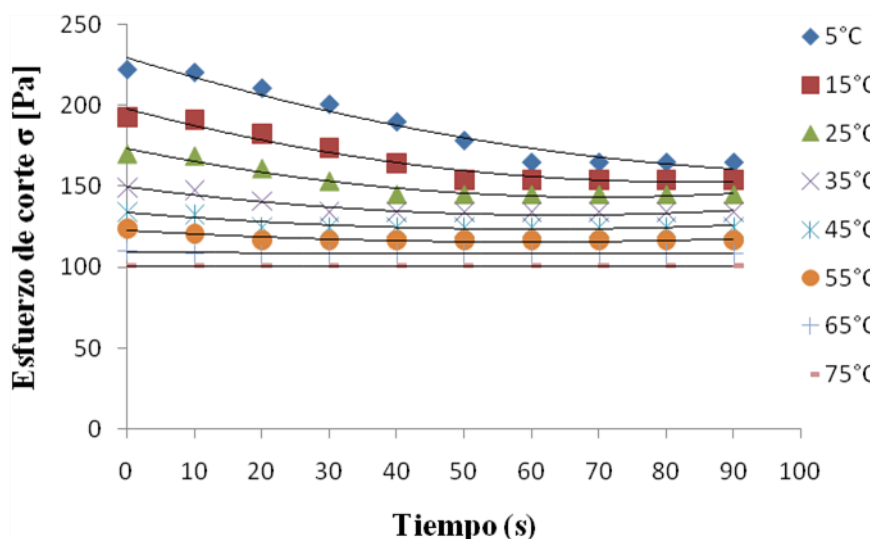


Figura 4: Comportamiento del esfuerzo de corte con el tiempo en pulpa concentrada (28°Brix) de mango variedad Haden

TABLA 4: Variación del esfuerzo de corte con el tiempo en pulpa concentrada (28°Brix) de Mango Haden.

Tiempo (s)	5°C	15°C	25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C
0	222.26	192.92	170.19	149.12	134.14	123.77	110.12	101.02
10	220.56	191.45	168.89	147.55	132.45	120.55	108.64	100.77
20	210.9	182.69	161.11	140.68	124.8	116.78	108.64	100.77
30	200.92	174.13	153.2	133.75	124.8	116.78	108.64	100.77
40	190.1	164.62	144.77	133.75	124.8	116.78	108.64	100.77
50	178.57	154.09	144.77	133.75	124.8	116.78	108.64	100.77
60	165.14	154.09	144.77	133.75	124.8	116.78	108.64	100.77
70	165.14	154.09	144.77	133.75	124.8	116.78	108.64	100.77
80	165.14	154.09	144.77	133.75	124.8	116.78	108.64	100.77
90	165.14	154.09	144.77	133.75	124.8	116.78	108.64	100.77

TABLA 5: Parámetros del modelo de Figoni-Shoemaker $\sigma = \sigma_e + (\sigma_o - \sigma_e) e^{-kt}$, para pulpa concentrada (28°Brix) de mango variedad Haden

T(°C)	σ_e [Pa]	σ_o [Pa]	k [s ⁻¹]	R ²
5	121.65(±38.95)	228.27(±36.52)	0.012(±0.0069)	0.952
15	142.07(±10.03)	197.51(±9.01)	0.021(±0.0086)	0.937
25	140.94(±3.65)	173.37(±3.91)	0.032(±0.011)	0.921
35	132.60(±1.43)	150.80(±2.20)	0.048(±0.015)	0.907
45	124.43(±0.71)	134.89(±1.51)	0.070(±0.024)	0.874
55	116.63(±0.25)	123.97(±0.60)	0.091(±0.017)	0.956
65	---	---	---	---
75	---	---	---	---

Probabilidad de error = 5%

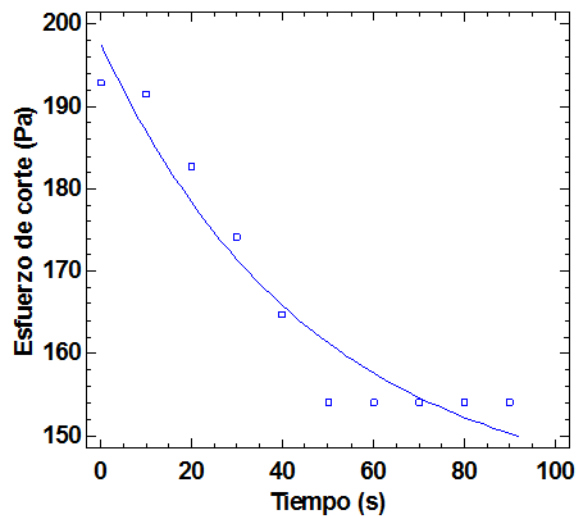


Figura 5: Ajuste del modelo de Figoni-Shoemaker $\sigma = \sigma_e + (\sigma_o - \sigma_e) e^{-kt}$, para pulpa concentrada (28°Brix) a 15°C.

TABLA 6: Variación del esfuerzo de corte con la velocidad de deformación en pulpa concentrada (28°Brix) de mango variedad Haden

(1/s)	5°C	15°C	25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C
0.92	45.12	43.04	38.24	33.13	30.82	31.79	26.48	25.83
12.06	115.58	102.52	89.13	76.89	69.43	66.65	56.66	53.23
23.02	141.61	124.20	108.35	93.77	83.87	80.58	68.29	64.56
34.02	160.01	139.76	122.26	105.45	94.12	89.04	76.11	71.49
45.02	174.68	152.21	133.25	114.95	102.43	96.42	83.21	78.01
56.01	186.95	162.55	142.33	123.19	109.76	104.07	89.16	84.30
67.01	197.53	171.56	150.58	130.47	116.39	109.31	95.53	88.59
78.01	206.55	179.42	157.97	136.82	122.55	114.67	100.18	93.17
89.00	214.83	186.72	164.35	143.13	128.06	119.57	104.75	97.09
100.00	222.26	192.92	170.19	148.46	133.08	123.77	109.13	101.02

TABLA 7: Parámetros del modelo de Herschel y Bulkley $\sigma = \sigma_0 + \eta(\dot{\gamma})^n$ para pulpa concentrada (28°Brix) de mango Haden

T (°C)	Esfuerzo Umbral σ_0 (Pa)	Índice de consistencia Herschel-Bulkley k (Pa·s ⁿ)	Índice de comportamiento al flujo (n)	R ²
5	60.11(±5.23)	94.22(±4.84)	0.201(±0.007)	0.999
15	35.66(±1.64)	75.53(±1.45)	0.252(±0.003)	0.999
25	23.77(±1.07)	53.66(±0.92)	0.273(±0.003)	0.999
35	16.70(±0.33)	41.89(±0.28)	0.281(±0.001)	0.999
45	11.60(±0.48)	34.05(±0.40)	0.302(±0.002)	0.999
55	8.32(±1.04)	28.44(±0.85)	0.303(±0.005)	0.999
65	5.45(±1.74)	22.81(±1.44)	0.304(±0.009)	0.999
75	0.71(±1.64)	14.77(±1.25)	0.352(±0.014)	0.999

Probabilidad de error = 5%

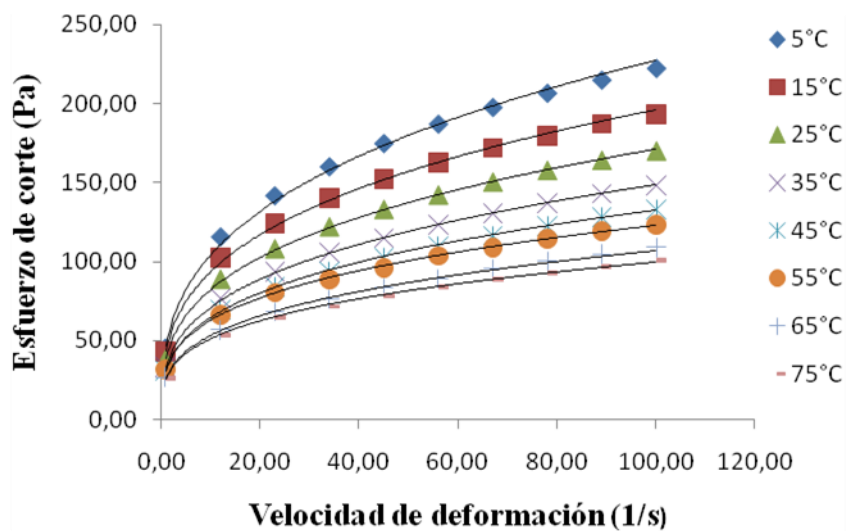


Figura 6: Reo grama de pulpa concentrada (28°Brix) de mango, con ajuste a un modelo Herschel-Bulkley

V. DISCUSIÓN

El análisis de la evolución del esfuerzo de corte (δ) en función del tiempo a una velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) constante de $1(\text{s}^{-1})$, permitió determinar que a las temperaturas de proceso térmico consideradas en el presente estudio, la pulpa simple de mango variedad Haden, no se ajusta a las características de un fluido tixotrópico modelados por Figoni-Shoemaker, tal como puede verse en la figura 1, en tanto que para la pulpa concentrada a 28°Brix, se ha observado que la cantidad de estructura que se degrada durante el cizallamiento es mayor, en relación a la pulpa simple, indicando que la pulpa concentrada tiene comportamiento tixotrópico, resultado que concuerda con **(Ibarz y Lozano, 1992)** quienes al investigar la caracterización reológica de pulpa concentrada de ciruela y melocotón concluyeron que la pulpa de melocotón por presentar mayor cantidad de estructura degradada durante el cizallamiento, tiene mayor comportamiento tixotrópico.

La Figura 4 muestra las tendencias para cada temperatura, observándose que las muestras pierden intensidad del esfuerzo cortante a medida que se incrementa la temperatura y tiempo, hasta finalmente lograr el equilibrio, resultado que hace presumir que estos fluidos tienen comportamiento tixotrópico más pronunciado a temperaturas menores a la del ambiente, dado que a temperaturas superiores a 25°C, la resistencia para lograr el equilibrio es cada vez menos, tal como puede verificarse en la Tabla 5.

La Tabla 3, muestra el ajuste de los resultados experimentales al modelo de Herschel - Bulkley; $\sigma = \sigma_0 + k(\dot{\gamma})^n$; en la que σ es el esfuerzo cortante, $\dot{\gamma}$

la velocidad de deformación, k índice de consistencia y σ_0 el esfuerzo umbral. En dicha tabla se observa que la pulpa simple, entre 80 y 90°C de proceso térmico tiene comportamiento del tipo Herschel-Bulkley al mostrar valores de esfuerzo umbral superiores a 1 Pa, mientras que a mayores temperaturas al presentar valores de esfuerzo umbral inferiores a 1 Pa, puede comportarse claramente como fluido de la potencia; resultado que es concordante con lo sostenido por (Saravacos, 1970), quien refiere que si los valores del esfuerzo umbral son menores de 1 Pa, se puede considerar que no existe esfuerzo umbral, y los fluidos se comportan como fluidos de la potencia, tal como puede mostrarse en la tendencia de la figura 3.

La pulpa concentrada a 28°Brix, ha mostrado mayores valores de esfuerzo umbral que la pulpa simple, resultado que era de esperar al considerar que las pulpas son materiales que contienen partículas en suspensión y pectinas, y cuanto más se reduce el contenido de agua mayor es la agregación de las partículas suspendidas en el medio, por lo tanto el comportamiento reológico corresponde al modelo de Herschel-Bulkley:

$$\sigma = \sigma_0 + k(\dot{\gamma})^n$$

Donde δ es el esfuerzo cortante, $\dot{\gamma}$ la velocidad de deformación, k es el índice de consistencia y σ_0 el esfuerzo umbral. La Tabla 7, muestra la tendencia de los parámetros del modelo Herschel-Bulkley, observándose que tanto el esfuerzo cortante (δ) como el índice de consistencia (k) disminuyen con la temperatura de proceso térmico, concordante con lo indicado por (Castell y Durán, 1982) citado por (Ibarz et al., 1988), quienes mencionan que la viscosidad de las pulpas pueden ser una función de las fuerzas intermoleculares restringidas por el movimiento molecular,

estas fuerzas dependen de los espacios intermoleculares, que son los que determinan el volumen libre, el cual es causado por el hecho que se producen cambios de temperatura en el seno del producto.

Asimismo, se ha determinado que el esfuerzo umbral es función directa de la concentración de sólidos, resultado que es concordante con **(Ibarz y Ortiz, 1993)**, quienes encontraron resultado similar al estudiar el comportamiento reológico de zumos de melocotón con concentraciones desde 40°Brix hasta 69°brix y utilizando un intervalo de temperaturas de 5° a 60°C.

El índice de comportamiento al flujo (n), en el caso de las pulpas concentradas y diluidas de mango, indicó valores que no superaron el intervalo de 0.20 a 0.35, resultado que ha permitido concluir que la pulpa concentrada a 28°Brix, corresponde a un fluido del tipo pseudoplástico que se ajusta adecuadamente al modelo de Herschel-Bulkley, mientras que la simple corresponde también a un fluido del tipo pseudoplástico pero siguen la ley de la potencia.

VI. CONCLUSIONES

1. Las pulpa simple de mango variedad Haden, obtenidas directamente del pulpeado de los frutos no presentan tixotropía.
2. La pulpa simple de mango variedad Haden tiene comportamiento de fluido tipo Herschel - Bulkley entre 80 a 90°C de temperatura de proceso térmico, a temperaturas mayores a la indicada la pulpa simple tiene comportamiento del tipo fluido de la potencia, por mostrar mínimos valores de esfuerzo umbral.
3. Los índices de consistencia (k) y de comportamiento al flujo (n), variaron en los rangos que se indican:

Índice de consistencia (k): $2.07 \pm 0.76 \leq k \leq 3.92 \pm 0.46$ (Pa-s n)

Índice de comportamiento al flujo (n): $0.27 \leq n \leq 0.35$

4. La pulpa de mango variedad Haden concentrada a 28°Brix, tiene comportamiento tixotrópico a temperaturas inferiores a 5°.
5. La pulpa de mango variedad Haden concentrada a 28°Brix, corresponde a un fluido del tipo pseudoplástico que se ajusta adecuadamente al modelo de Herschel y Bulkley, mientras que a concentraciones inferiores, también es pseudoplástico pero sigue la ley de la potencia. Los rangos de variación del esfuerzo umbral, índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo, son los que se indican:
 Esfuerzo umbral: $0.71 \pm 1.64 \leq \sigma_0 \leq 60.11 \pm 5.23$ (Pa)
 Índice de consistencia: $14.77 \pm 1.25 \leq k \leq 94.22 \pm 4.84$ (Pa·sn)
 Índice de comportamiento al flujo: $0.201 \pm 0.007 \leq n \leq 0.352 \pm 0.014$

VII. RECOMENDACIÓN

Se recomienda evaluar el comportamiento de los parámetros determinados en la presente investigación en el dimensionamiento de los sistemas de transporte de fluidos no Newtonianos, como pulpas simples, concentradas y jugos concentrados.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Carbonell, E.; Costell, E.; y Duran, L. 1990. Comportamiento reológico de los productos derivados de fruta. Flujo, dependencia del tiempo y plasticidad. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 2: 189-209.
2. FAO. 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT database results.
3. Giner, J.; Ibarz, A.; Garza, S.; Xhian-Quan, S. (1996). Rheology of clarified cherry juices. Journal of Food Engineering 30: 147-154.
4. Harper, J.C.; El-Sahrigi, A.F. 1965. Viscometric behavior of tomato concentrates. Journal Food Science 30: 470-476.
5. Ibarz, A.; Garvin, A.; Costa, J. (1996). Rheological behaviour of sloe (Prunus spinosa) fruit juices. Journal of Food Engineering 27: 423-430.

6. Ibarz, A.; Giner, J.; Pagán, J.; Gimeno, V.; Garza, S. (1995). Rheological behaviour of kiwi fruit juice concentrates. *Journal of Texture Studies* 26: 137-145.
7. Ibarz, A.; Giner, J.; Pagan, J.; Gimeno, V.; Garza, S. 1994. Rheological behavior of kiwi fruit juice concentrates. *Journal of Texture Studies* 26: 137-145.
8. Ibarz, A.; González, C.; Esplugas, S. (1993). Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices. *Journal of Food Engineering* 21:485-494.
9. Ibarz, A.; Lozano, J.E. (1992). Rheology of concentrated peach and plum pulps. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1: 85-94.
10. Ibarz, A.; Lozano, J.E. 1992. Rheology of concentrated peach and plum pulps. *LWT* 1: 85-94.
11. Ibarz, A.; Ortiz, M.J. 1993. Reología de zumos de melocotón. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 8: 81-86.
12. Ibarz, A.; Pagán, J.; Gutierrez, J.; Vicente, M. (1989). Rheological properties of clarified pear juice concentrates. *Journal of Food Engineering* 10: 57-63.
13. Ibarz, A.; Ciutat, O.; Graell, J. 1988. Comportamiento reológico de productos derivados del tomate. *Alimentaria* 196: 53-62
14. Lozano, J.E.; Ibarz, A. (1994). Tixotropic behaviour of concentrated fruit pulps. *Lebensm-Wiss u. Technology* 1:16-18.
15. Muller, H.G. 1973. *An introduction to food rheology*. Crane, Russak and company. Inc., New York.

16. Pelegriane, D.H.; Silva, F.C.; Gasparetto, C.A. (2002). Rheological behaviour of pineapple and mango pulps. *LWT-Food Science and Technology* 8: 645-648.
17. Ramos, A.M.; Ibarz, A. (1998). Thixotropy of orange concentrate and quince puree. *Journal of Texture Studies* 29: 313-324.
18. Saravacos, G.D. 1970. Effect of temperatura on viscosity of fruit juices and purees. *Journal Fod Science* 35: 122-125.