

Comportamiento reológico de concentrados de tomate: efecto de la temperatura y la concentración

José A. Barreiro M.¹, Aleida J. Sandoval B.², Anelena Guédez³, Yanina Luciani³

Depto. de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Universidad Simón Bolívar.

RESUMEN. Se estudió el comportamiento reológico de varias marcas comerciales de pasta de tomate doble concentrada fabricadas en Venezuela, a diferentes temperaturas 30, 40, 50, y 60 °C y a cuatro niveles de concentración: 15, 20, 25 y 30 % de sólidos totales. Para ello se utilizó un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos Haake Rotovisco Modelo RV-2. El comportamiento reológico se ajustó a un modelo pseudoplástico, definido por la ecuación de la potencia, igualmente, se determinaron los parámetros reológicos (índice de consistencia y comportamiento) para cada una de las pastas y condiciones estudiadas. En general, de acuerdo a los análisis estadísticos realizados, el índice de consistencia (K) mostró una disminución con el aumento de la temperatura, incrementándose con aumentos en la concentración. El efecto combinado de la temperatura y de la concentración fue determinado mediante una ecuación que relaciona el índice de consistencia con estos parámetros. En forma análoga, se determinó que si bien la temperatura no tiene un efecto apreciable en el índice de comportamiento en el rango de 30 a 50 °C, si lo tiene para algunas pastas a 60 °C. De la misma forma, se constató que no existía un efecto significativo de la concentración en el índice de comportamiento para valores iguales o superiores a 20 % de sólidos totales, sin embargo, si se apreció este efecto para niveles de 15%. Palabras claves: reología, comportamiento reológico, pasta de tomate, concentrado de tomate

SUMMARY. Rheological behavior of tomato concentrates: Effect of temperature and concentration. The rheological properties of various brands of double concentrated tomato paste manufactured in Venezuela were studied. The effect of temperature (30, 40, 50, 60 °C) and concentration (15, 20, 25 and 30 % total solids) was determined. A concentric cylinders viscometer Haake Rotovisco RV-2 was used for this purpose. A pseudoplastic behaviour that followed the power law was found. The rheological parameters (consistency and behavior indexes) that characterize each paste were determined for the conditions of the study. According to the statistical analyses done the consistency index (K) diminished with an increase in temperature and increased as the concentration increased. An equation to determine the consistency index as a function of temperature and concentration was obtained. Likewise, it was found that temperature did not have a significant effect on the behavior index (n) in the range from 30 to 50 °C, however this effect was significant for some of the pastes at 60 °C. On the other hand, concentration levels above 20 % total solids did not have a significant effect on the behavior index, but a significant effect was determined for 15 % total solids.

Keywords: Rheology, rheological behavior, tomato paste, tomato concentrate

INTRODUCCION

Las propiedades reológicas de un alimento están íntimamente relacionadas con su calidad y aceptación por parte del consumidor, siendo también esenciales para el diseño de procesos de esterilización continua, la estimación de coeficientes de transferencia de calor, tasas de evaporación, requerimientos de bombeo y mezcla de fluidos. La determinación del efecto de la temperatura sobre las propiedades reológicas (caso no isoviscoso) es indispensable para efectuar los cálculos relativos al flujo de fluidos no Newtonianos con transferencia de calor simultánea que tiene lugar en el procesamiento de alimentos fluidos (1, 2) y en particular en los procesos de concentración y esterilización de la pasta de tomate.

La mayoría de los trabajos de reología de jugo, suero y pasta de tomate encontrados en la literatura (3,4,5,6,7,8,9) son indicativos de un comportamiento pseudoplástico, representado por la ecuación de la potencia:

$$\tau = K (-du/dr)^n \quad (\text{Ec. 1})$$

Algunos autores han determinado la existencia de un esfuerzo mínimo de deformación inicial τ_0 , con lo cual el comportamiento reológico puede asimilarse a los modelos de Herschel-Bulkley; Mizhari-Berk, o a un modelo modificado de Casson (4,8,10). En la mayoría de los casos este parámetro resulta tener valores pequeños de difícil medición, siendo más simple a los efectos de cálculos ingenieriles asimilar el comportamiento al de un fluido pseudoplástico, a pesar de que exista de hecho un τ_0 finito (4).

La ecuación de Arrhenius (Ec. 2) ha sido ampliamente utilizada para estudiar el efecto de la temperatura en la viscosidad aparente de diversos productos a una tasa de corte dada, empleándose este parámetro en lugar de K (5,8,11,12,13,14). Rao et al. (14), sugirieron su utilización para relacionar el efecto de la temperatura en el índice de consistencia K para fluidos que obedecen la ley de la potencia:

$$K = K_0 \exp (E_a/R/T) \quad (\text{Ec. 2})$$

La ecuación:

$$n = n_1 C^a \quad (\text{Ec. 3})$$

fue satisfactoriamente utilizada por varios autores para determinar el efecto de la concentración en la viscosidad aparente, a una tasa de corte determinada, en jugos y concentrados de frutas y vegetales (3,4,14,15). De igual forma, se podría substituir la viscosidad aparente por el índice de consistencia.

- 1 Profesor Titular. Grupo de Ingeniería y Procesamiento de Alimentos
- 2 Profesor Asistente. Grupo de Ingeniería y Procesamiento de Alimentos
- 3 Estudiantes del programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos

El efecto combinado de la temperatura y la concentración puede ser determinado mediante la ecuación:

$$\ln K = \ln K_1 + (Ea/R) (1/T) + a \ln C \quad (\text{Ec. 4})$$

la cual considera tanto el modelo de Arrhenius para la temperatura (Ec. 2) como la ecuación (Ec. 3) para el efecto de la concentración. Esta ecuación también ha sido utilizada por otros autores (16,17,18,19,20,21).

Rao et al. (4) estudiaron las propiedades de flujo de concentrados de tomate, encontrando que la viscosidad aparente y el índice de consistencia de las pastas obtenidas de cuatro variedades de tomate se incrementaban con la concentración de sólidos totales. El índice de comportamiento era dependiente de la variedad y de la temperatura de ruptura, pero independiente de la concentración de sólidos totales (6 a 36 %). De igual manera, Shi-Ying Xu et al. (7) analizaron el efecto de la temperatura de rompimiento (85 a 107 °C) de cuatro variedades de tomate determinando que la viscosidad aparente a 25 °C de las pastas a una tasa de corte fija dependía tanto de la variedad como de la temperatura de ruptura. Fito et al. (5) determinaron que las muestras de concentrado de tomate producidas por el proceso de ruptura en caliente mostraban una viscosidad aparente y valores del índice de consistencia mayores y de índice de comportamiento menores que las producidas por el proceso de ruptura en frío. El efecto de otros parámetros de procesamiento como el diámetro de orificios del tamiz final de la máquina terminadora fue estudiado por Tanglerpaibul y Rao (8), encontrando que en general la viscosidad aparente, a una tasa de corte fija (100 s⁻¹), aumentaba con el diámetro de los orificios.

Rao et al. (4) y Rao y Cooley (10), estudiaron el efecto de la concentración en el índice de consistencia, aplicando los modelos reológicos de Herschel-Bulkley (22), Casson (23) y Mizrahi y Berk (11), y observaron un incremento del índice de consistencia con el contenido de sólidos totales.

En la actualidad se dispone de una información muy limitada de estudios que relacionan simultáneamente los efectos de temperatura y concentración en productos de tomate que permitan la predicción de estos parámetros en ulteriores cálculos de esterilización y flujo de fluidos. En particular no se encontraron en la literatura datos referentes a la caracterización reológica de pastas de tomate comerciales producidas en Venezuela. Los objetivos del presente trabajo fueron: a) Determinar y caracterizar el comportamiento reológico de varias marcas de pastas de tomate producidas en Venezuela; b) Determinar el efecto de la concentración (sólidos totales) de la pasta y de la temperatura en los índices de flujo; c) Determinar ecuaciones generales que permitan la predicción del índice de consistencia de las pastas estudiadas.

MATERIALES Y METODOS

Preparación de las muestras: El estudio se realizó con muestras de seis marcas comerciales de pasta de tomate doble concentrada manufacturadas en Venezuela en el año 1994, identificadas con las siglas RTCH, RSGC, WCHM, YCIN, AZMI, BHRL, las cuales fueron adquiridas simultáneamente en el comercio local.

Con la finalidad de llevar a cabo el estudio reológico de cada pasta, se realizaron diluciones, a partir del producto original (con alrededor de 30% de sólidos totales) para obtener las concentraciones de 15,0; 20,0 y 25,0 % de sólidos. Para ello, se determinó el

contenido de humedad en las muestras comerciales, mediante el método de la estufa a vacío, de acuerdo al procedimiento 14.003 de la A.O.A.C., (24), efectuándose las diluciones correspondientes con agua destilada.

Estudio reológico: Las determinaciones reológicas se realizaron empleando un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos Haake Rotovisco modelo RV-2, equipado con el sistema sensor NV y el cabezal MK 500, para rangos de viscosidades menores de 2×10^4 mPa, y los sistemas sensores MVI, MVII y SVI, para rangos de viscosidades mayores que 104 mPa. Estos sistemas cubren un amplio rango de tasas de corte en los experimentos (hasta 3500 s⁻¹ aproximadamente). El equipo estaba provisto de un baño termostático de circulación de aceite (Modelo FK 2), lo cual permitió el control de la temperatura (± 0.1 °C) de las muestras durante los experimentos. Las muestras se dejaron estabilizar durante 10 minutos en el viscosímetro hasta alcanzar la temperatura preestablecida para llevar a cabo el estudio. Se programó un aumento de velocidad del rotor desde 0 hasta 650 revoluciones por minuto.

El comportamiento reológico de las seis pastas de tomate estudiadas se determinó a temperaturas de 30,0; 40,0; 50,0 y 60,0 °C y a concentraciones de 15,0; 20,0; 25,0 y aproximadamente 30 % (dependiendo de cada pasta) de sólidos totales, para cada una de las temperaturas ensayadas. Todas las pruebas se realizaron por triplicado para cada combinación de temperatura y concentración.

Análisis estadístico: A las determinaciones reológicas se les realizó un análisis de regresión lineal y lineal múltiple para la determinación de los parámetros necesarios de acuerdo a la ecuación utilizada, empleando el paquete computacional STATGRAPHICS (Statistical Graphics System), versión 6.0.

De igual manera, con el fin de estudiar el efecto de la concentración y temperatura en los parámetros reológicos que caracterizan la pasta (índices de comportamiento y consistencia), se practicaron análisis de varianza de dos vías y se efectuaron pruebas de Duncan para la comparación de las medias. En todos los casos se utilizó un valor $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento reológico de las pastas de tomate: Los datos de las curvas de reología obtenidas fueron ajustados a varias ecuaciones de comportamiento reológico, encontrándose para todas las muestras que, el comportamiento reológico podía ser asimilado a un modelo pseudoplástico definido por la ecuación de la potencia (Ec. 1) en el rango de tasas de corte estudiadas. Esta ecuación fue linealizada al representarse $\ln \tau$ en función de $\ln (-du/dr)$, obteniéndose de la pendiente el índice de comportamiento n y del valor de $(\ln \tau)$ con $(-du/dr) = 1$, el índice de consistencia $(\ln K)$, a cada temperatura y concentración estudiadas. En todos los casos el ajuste a la ecuación de la potencia arrojó índices de correlación lineal elevados y significativos desde el punto de vista estadístico ($p \leq 0,05$). Los resultados obtenidos para las seis pastas estudiadas se presentan en las Tablas 1 a 6. Este comportamiento reológico es similar al encontrado por otros autores para productos concentrados del tomate (3,4,5,6,7,8).

TABLA 1
Parámetros reológicos en función de la temperatura y del contenido de sólidos totales para la pasta de tomate RTCH

Sólidos Totales (g/100g)	Temperatura (°C)	Índice de Consistencia (K) (N s ⁿ /m ²)	Índice de Comportamiento (n) (adimensional)	Coefficiente de Correlación (r) (adimensional)
15,0	30,0	3,75	0,40	0,995
	40,0	3,36	0,41	0,998
	50,0	3,34	0,40	0,972
	60,0	3,14	0,38	0,991
20,0	30,0	25,84	0,27	0,990
	40,0	23,55	0,28	0,999
	50,0	22,25	0,27	0,942
	60,0	15,46	0,31	0,987
25,0	30,0	37,37	0,31	0,998
	40,0	33,58	0,30	0,997
	50,0	33,13	0,29	0,989
	60,0	32,01	0,27	0,992
30,5	30,0	49,48	0,39	0,999
	40,0	47,32	0,35	0,987
	50,0	43,97	0,31	0,993
	60,0	43,06	0,25	0,958

TABLA 3
Parámetros reológicos en función de la temperatura y del contenido de sólidos totales para la pasta de tomate WCHM

Sólidos Totales (g/100g)	Temperatura (°C)	Índice de Consistencia (K) (N s ⁿ /m ²)	Índice de Comportamiento (n) (adimensional)	Coefficiente de Correlación (r) (adimensional)
15,0	30,0	6,92	0,23	0,901
	40,0	2,52	0,32	0,926
	50,0	3,07	0,30	0,968
	60,0	1,17	0,39	0,940
20,0	30,0	7,89	0,26	0,959
	40,0	7,54	0,34	0,999
	50,0	6,96	0,35	0,998
	60,0	2,29	0,44	0,997
25,0	30,0	16,67	0,27	0,962
	40,0	15,72	0,30	0,963
	50,0	14,23	0,31	0,981
	60,0	8,07	0,39	0,997
32,8	30,0	52,18	0,26	0,972
	40,0	38,65	0,29	0,954
	50,0	30,95	0,32	0,958
	60,0	24,10	0,35	0,972

TABLA 2
Parámetros reológicos en función de la temperatura y del contenido de sólidos totales para la pasta de tomate RSGC

Sólidos Totales (g/100g)	Temperatura (°C)	Índice de Consistencia (K) (N s ⁿ /m ²)	Índice de Comportamiento (n) (adimensional)	Coefficiente de Correlación (r) (adimensional)
15,0	30,0	4,48	0,41	0,993
	40,0	4,36	0,40	0,987
	50,0	3,94	0,41	0,991
	60,0	2,41	0,44	0,990
20,0	30,0	33,16	0,29	0,978
	40,0	31,57	0,26	0,947
	50,0	22,59	0,27	0,990
	60,0	12,49	0,33	0,991
25,0	30,0	66,44	0,26	0,995
	40,0	65,75	0,23	0,985
	50,0	60,98	0,22	0,934
	60,0	26,11	0,35	0,985
29,3	30,0	114,51	0,25	0,988
	40,0	86,54	0,23	0,957
	50,0	69,89	0,23	0,977
	60,0	53,82	0,26	0,974

TABLA 4
Parámetros reológicos en función de la temperatura y del contenido de sólidos totales para la pasta de tomate YCIN

Sólidos Totales (g/100g)	Temperatura (°C)	Índice de Consistencia (K) (N s ⁿ /m ²)	Índice de Comportamiento (n) (adimensional)	Coefficiente de Correlación (r) (adimensional)
15,0	30,0	6,88	0,31	0,963
	40,0	5,48	0,32	0,974
	50,0	3,42	0,36	0,997
	60,0	1,49	0,44	0,996
20,0	30,0	42,28	0,20	0,883
	40,0	26,83	0,26	0,963
	50,0	24,82	0,27	0,859
	60,0	17,50	0,33	0,916
25,0	30,0	76,39	0,16	0,966
	40,0	57,14	0,22	0,825
	50,0	48,02	0,22	0,891
	60,0	39,08	0,20	0,905
27,6	30,0	95,08	0,22	0,819
	40,0	73,88	0,23	0,857
	50,0	53,32	0,27	0,937
	60,0	51,59	0,25	0,909

TABLA 5
Parámetros reológicos en función de la temperatura y del contenido de sólidos totales para la pasta de tomate AZMI

Sólidos Totales (g/100g)	Temperatura (°C)	Índice de Consistencia (K) (N s ⁿ /m ²)	Índice de Comportamiento (n) (adimensional)	Coefficiente de Correlación (r) (adimensional)
15,0	30,0	3,22	0,40	0,996
	40,0	2,51	0,42	0,988
	50,0	2,42	0,40	0,992
	50,0	2,30	0,37	0,997
20,0	30,0	14,27	0,34	0,986
	40,0	13,08	0,32	0,987
	50,0	8,06	0,36	0,995
	60,0	6,46	0,33	0,995
25,0	30,0	36,24	0,30	0,975
	40,0	29,74	0,29	0,968
	50,0	27,70	0,28	0,984
	60,0	28,20	0,27	0,977
28,1	30,0	51,25	0,26	0,964
	40,0	49,45	0,25	0,928
	50,0	30,12	0,32	0,934
	60,0	27,37	0,33	0,946

TABLA 6
Parámetros reológicos en función de la temperatura y del contenido de sólidos totales para la pasta de tomate BHRL

Sólidos Totales (g/100g)	Temperatura (°C)	Índice de Consistencia (K) (N s ⁿ /m ²)	Índice de Comportamiento (n) (adimensional)	Coefficiente de Correlación (r) (adimensional)
15,0	30,0	2,95	0,45	0,997
	40,0	2,49	0,45	0,996
	50,0	1,87	0,47	0,996
	50,0	1,75	0,46	0,999
20,0	30,0	28,98	0,28	0,996
	40,0	25,50	0,28	0,997
	50,0	22,16	0,30	0,994
	60,0	20,57	0,29	0,995
25,0	30,0	47,21	0,31	0,988
	40,0	42,39	0,30	0,995
	50,0	36,51	0,30	0,996
	60,0	34,53	0,31	0,999
31,1	30,0	50,07	0,44	0,977
	40,0	43,59	0,36	0,984
	50,0	40,84	0,34	0,985
	60,0	38,47	0,23	0,952

Índice de Consistencia (K): El análisis de varianza de dos vías practicado con los datos correspondientes al índice de consistencia K presentados en las Tablas 1 a 6, fue indicativo de que tanto la temperatura como la concentración tienen un efecto significativo sobre este parámetro ($\alpha \leq 0,05$). En términos generales, el índice de consistencia K disminuyó a medida que aumentó la temperatura, y aumentó con incrementos en la concentración. Resultados similares

para el efecto de la concentración en el índice de consistencia fueron encontrados por otros autores para concentrados de tomate (4,7).

Se pudo comprobar que el índice de consistencia K presentó una variación con la temperatura, a concentración constante, que se ajustaba en todos los casos a la ecuación de Arrhenius (Ec. 2). De igual forma fue posible determinar el efecto de la concentración en este parámetro utilizando la ecuación (Ec. 3). Los resultados obtenidos no se muestran en este trabajo por razones de simplificación, sin embargo se presenta de seguido el efecto combinado de ambos.

Con la finalidad de determinar la variación del índice de consistencia con la temperatura y la concentración simultáneamente, se usó la ecuación (Ec. 4), la cual combina el modelo de Arrhenius y el efecto de la concentración:

$$\ln K = \ln K_1 + (Ea/R) (1/T) + a \ln C$$

Los valores $\ln K_1$, (Ea/R) y a son constantes obtenidas a partir de la regresión lineal múltiple de $\ln K$ en función de $(1/T)$ y $\ln C$. En la Tabla 7 se presentan los valores de las constantes determinados con la ecuación (Ec. 4) para cada pasta de tomate estudiada. En todos los casos se obtuvo una relación lineal altamente significativa ($p < 0,001$) entre las variables involucradas, con coeficientes de correlación entre 0,811 y 0,950. Los valores de Ea/R oscilaron entre $0,78 \times 10^{-3}$ y $3,45 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}$; los de a entre 3,60 y 4,42; y los de $\ln K_1$ entre -19,3 y -11,0 $\text{N s}^n/\text{m}^2$, para las diversas pastas.

TABLA 7
Constantes de la ecuación (Ec.4) para predecir el índice de consistencia (K) en función de la temperatura y la concentración para las pastas de tomates estudiadas.

Muestra	$\ln K_1$ (N sn/m ²)	$Ea/R \times 10^{-3}$ (°K)	a (adimensional)	r^2 (b) (adimensional)
RTCH	-10,99	0,78	3,71	0,884
RSGC	-18,74	2,64	4,42	0,932
WCHM	-19,71	3,45	3,60	0,905
YCIN	-19,29	3,04	4,19	0,887
AZMI	-15,55	1,79	4,05	0,950
BHRL	-14,27	1,26	4,28	0,811

b) altamente significativo ($p < 0,001$)

El índice de consistencia de cada pasta en el rango de temperatura y concentración estudiados puede estimarse a partir de la ecuación (Ec. 4) con las constantes respectivas indicadas en la Tabla 7.

La variabilidad observada entre los índices de consistencia de las diferentes pastas de tomate estudiadas, se puede deber al uso de distintas variedades y grado de madurez del tomate, así como a diferentes condiciones en el procesamiento de la pasta, tales como temperatura de rompimiento, diámetro de las aperturas del tamiz y velocidad angular (r.p.m.) de la máquina terminadora, grado de refinamiento de la pulpa (fase sólida) y de los procesamientos térmicos envueltos en la esterilización comercial del producto que pueden afectar la hidrólisis de las pectinas naturales en el producto. No fue posible determinar estas condiciones en las pastas comerciales estudiadas. Cabe señalar que el índice de consistencia depende también de la forma como se obtiene la muestra, si es por concentración a partir de jugo o por dilución de la pasta concentrada, tal como se hizo en este trabajo.

Índice de comportamiento (n): El efecto de la concentración (sólidos totales) y la temperatura en el índice de comportamiento de las pastas fue estudiado mediante un análisis de varianza de dos vías, seguido de una prueba de Duncan para determinar diferencias significativas ($\alpha=0,05$) entre las medias. Los datos analizados fueron presentados en las Tablas 1 a 6.

Los valores obtenidos para el índice de comportamiento son comparables a los obtenidos por otros autores, aunque bajo distintas condiciones experimentales. Rao et al. (4) encontraron que el índice de comportamiento de 70 concentrados de tomate (5,6 a 36 % de sólidos totales a 25 °C) osciló en un rango entre 0,175 y 0,259 para diversas variedades, mientras que Shi-Ying Xu et al. (7) determinaron valores entre 0,302 y 0,423 para concentrado de tomate con 25 % de sólidos a 25 °C.

Con relación al efecto de la temperatura el análisis mostró que no existía un efecto significativo de este parámetro en el índice de comportamiento a todos los niveles estudiados (30,40,50 y 60 °C) para las pastas AZMI, BHRL y RTCH. Sin embargo, para las pastas WCHM, RSGC y YCIM se encontró que si había un efecto para el nivel de temperatura de 60 °C, cuyo índice de comportamiento resultó ser significativamente mayor que el obtenido para las temperaturas de 30, 40 y 50 °C, en las pastas WCHM y RSGC, y para las temperaturas de 30 y 40 °C en el caso de la pasta YCIM.

De acuerdo a este análisis, el efecto de la temperatura en el índice de comportamiento no resultó ser significativo para ninguna de las pastas en el rango de sólidos totales estudiado, para temperaturas entre 30 y 50 °C, teniendo un efecto significativo a 60 °C solamente en el caso de las pastas WCHM, RSGC y YCIM.

En cuanto al efecto de la concentración de las pastas en el índice de comportamiento, el análisis fue indicativo de que existía un efecto significativo para el nivel de 15%, resultando este índice mayor que para las otras concentraciones estudiadas. Como excepción, en la pasta WCHM no se encontró un efecto significativo de la concentración en este parámetro.

Los resultados correspondientes al efecto de la concentración y la temperatura en el índice de comportamiento de las pastas estudiadas, fueron obtenidos promediando los valores estadísticamente similares y se muestran en la Tabla 8.

TABLA 8

Resultados obtenidos para el índice de comportamiento (n) en función de la temperatura y la concentración para las pastas de tomate estudiadas

Muestra	Concentración (g/100g)	Temperatura (°C)	Índice de Comportamiento (n) (adimensional)
RTCH	15,0	30,0 - 60,0	0,40
	20,0 - 30,5	30,0 - 60,0	0,30
RSGC	15,0	30,0 - 50,0	0,41
	15,0	60,0	0,44
	20,0 - 29,3	30,0 - 50,0	0,25
WCHM	20,0 - 29,3	60,0	0,31
	15,0 - 32,8	30,0 - 50,0	0,30
	15,0 - 32,8	60,0	0,39
YCIIN	15,0	30,0 - 50,0	0,33
	15,0	60,0	0,44
	20,0 - 27,6	30,0 - 50,0	0,23
AZMI	20,0 - 27,6	60,0	0,26
	15,0	30,0 - 60,0	0,40
	20,0 - 30,5	30,0 - 60,0	0,30
BHRL	15,0	30,0 - 60,0	0,31
	20,0 - 30,5	30,0 - 60,0	0,31

Los estudios anteriores presentados en la literatura encontraron que este índice no presentaba variaciones apreciables con la temperatura para una variedad de productos (12,16). Rao y Cooley (10) señalaron que el índice de comportamiento de concentrados de tomate no variaba significativamente con la temperatura en un rango de 15 a 55 °C, para pastas entre 6 y 36 % de sólidos totales, lo cual concuerda aceptablemente con lo encontrado en este trabajo, en donde se encontró un efecto significativo en algunas de las pastas sólo a niveles de 60 °C. Otros autores no encontraron tendencias definidas del efecto de la temperatura, concentración y método de concentración en el índice de comportamiento de concentrados de tomate (3,4,8).

Aunque los estudios previos realizados en concentrados de tomate no son indicativos de un efecto apreciable de la temperatura y la concentración en el índice de comportamiento de alimentos fluidos, sin embargo, en este trabajo se pudo constatar que si bien la temperatura no tiene un efecto apreciable en el rango de 30 a 50 °C, si lo tiene para algunas pastas a 60 °C y eventualmente también lo presentaría a temperaturas superiores a este nivel, las cuales son encontradas normalmente durante los procesos de calentamiento y esterilización de este producto. Ninguno de los estudios encontrados en la literatura trasciende este nivel, probablemente debido a las dificultades experimentales de los estudios reológicos, en los cuales las pastas tienden a concentrarse por la evaporación que resulta del calentamiento durante el experimento a temperaturas mayores, tal como se pudo constatar en este trabajo.

De igual forma se determinó, que si bien no existe un efecto apreciable de la concentración en el índice de comportamiento para valores iguales o superiores a 20 % de sólidos totales, sin embargo, si lo hay en la mayoría de los casos para niveles de 15 % y eventualmente para concentraciones menores. Este hecho resulta lógico, si se considera que el índice de comportamiento debería incrementarse a medida que la muestra se diluye, tendiendo a un fluido Newtoniano ($n=1$) cuando la concentración de sólidos tienda a cero.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió el comportamiento reológico de varias marcas comerciales de pastas de tomate doble concentrada, encontrándose en todos los casos un comportamiento pseudoplástico, regido por la ley de la potencia, lo que concuerda con lo encontrado en la mayoría de los trabajos revisados en la literatura sobre concentrados de tomate.

Se determinó el efecto de la temperatura (30 a 60 °C) y de la concentración (15, 20, 25 y 30 % de sólidos totales) en los índices de consistencia (K) y comportamiento (n) de las seis pastas estudiadas.

Tanto la temperatura como la concentración presentaron efectos estadísticamente significativos en el índice de consistencia. En general, el índice de consistencia disminuyó al aumentar la temperatura y se incrementó con aumentos en la concentración. El efecto combinado de la temperatura y de la concentración fue determinado para cada pasta mediante la ecuación (Ec. 4), la cual permite realizar estimaciones de este parámetro en función de dichas variables.

En este trabajo se pudo determinar que si bien la temperatura no tiene un efecto apreciable en el rango de 30 a 50 °C, si lo tiene para algunas pastas a 60 °C. En forma an-logs, se constató que no existía un efecto significativo de la concentración en el índice de comportamiento para valores iguales o superiores a 20 % de sólidos totales, sin

embargo, si se apreció este efecto para niveles de 15 %.

LISTA DE SIMBOLOS

Letras latinas:

- a Constante de las ecuaciones (Ec. 3) y (Ec. 4) (adimensional)
 C Concentración (sólidos totales) (g/100 g o %)
 du/dr Tasa de corte (s⁻¹)
 Ea Energía de activación (kcal/gmol)
 K Índice de Consistencia (N sn/m²)
 K₀ Constante de la ecuación (Ec. 2) (N sn/m²)
 K₁ Constante de la ecuación (Ec. 4) (N sn/m²)
 n Índice de comportamiento (adimensional)
 R Constante universal de los gases (kcal/gmol/ °K)
 T Temperatura absoluta (°K)

Letras griegas:

- η Viscosidad aparente (N s/m²)
 η₁ Constante de la ecuación (Ec. 3) (N s/m²)
 τ Esfuerzo cortante (N/m²)

REFERENCIAS

- Simpson, S.G. and Williams, M.C. 1974. An analysis of high-temperature/short time sterilization during laminar flow. *J. Food Sci.* 39:1047.
- Guariguata, G.; Barreiro, J.A. and Guariguata, G. 1979. Analysis of continuous sterilization processes for Bingham plastic fluids in laminar flow. *J. Food Sci.* 44:905.
- Harper, J.C. and El-Sahrigi, A.F. 1965. Viscometric behavior of tomato concentrates. *J. Food Sci.* 30:470.
- Rao, M.A.; Bourne, M.C. and Cooley, H.J. 1981. Flow properties of tomato concentrates. *J. Texture Studies.* 12:521.
- Fito, P.J.; Clemente, G. and Sanz, F.J. 1983. Rheological behaviour of tomato concentrate (hot break and cold break). *J. Food Eng.* 2(1):51-62.
- Dervisoglu, M. and Kokini, J. 1986. Steady shear rheology and fluid mechanics of four semi-solid foods. *J. Food Sci.* 51(3):541.
- Shi-Ying Xu, Shoemaker, C.F. and Luh, B.S. 1986. Effect of break temperature on rheological properties and microstructure of tomato juicess and pastes. *J. Food Sci.* 51(2):399.
- Tanglertpaibul, T. and Rao, M.A. 1987. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. *J. Food Sci.* 52(1):141.
- Tanglertpaibul, T. and Rao, M.A. 1987. Flow properties of tomato concentrates: Effect of serum viscosity and pulp content. *J. Food Sci.* 52(2):318.
- Rao, M.A. and Cooley, H.J. 1983. Applicability of flow models with yield for tomato concentrates. *J. Food Proc. Eng.* 6:159.
- Mizrahi, S. and Berk, Z. 1972. Flow behavior of concentrated orange juice: Mathematical treatment. *J. Text. Studies* 3:69.
- Saravacos, G.D. 1970. Effect of temperature on viscosity of fruits juices and purees. *J. Food Sci.* 35:122-125.
- Rao, M.A. and Anantheswaran, R.C. 1982. Rheology of fluids in food processing. *Food Technol.* 36(2):116.
- Rao, M.A.; Cooley, H.J. and Vitali, A.A. 1984. Flow properties of concentrated juices at low temperatures. *Food Technol.* 38(3):113.
- Vitali, A.A. and Rao, M.A. 1982. Flow behaviour of guava puree as a function of temperature and concentration. *J. Texture Studies.* 13:275.
- Vitali, A.A. and Rao, M.A. 1984. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. *J. Food Sci.* 49:882.
- Ibarz, A. and Sintés, J. 1989. Rheology of egg yolk. *J. Texture Studies.* 20:161-167.
- Ibarz, A.; Pagán, J.; Gutiérrez, J. and Vicente, M. 1989. Rheological properties of clarified pear juice concentrates. *Journal Food Engineering.* 10:57-63.
- Castaldo, D.; Palmieri, L.; Lo Voi, A. and Costabile, P. 1990. Flow properties of babaco (Carica pentagona) purees and concentrates. *J. Texture Studies.* 21:253-264.
- Ibarz, A.; González, C. Esplugas, S. and Vicente, M. 1992. Rheology of clarified fruit juices. I: peach juices. *Journal Food Engineering.* 15:49-61.
- Ibarz, A.; Pagán, J. and Miguelsanz, R. 1992. Rheology of clarified fruit juices. I: blackcurrant juices. *Journal Food Engineering.* 15:63-73.
- Herschel, W.H. and Bulkley, R. 1926. Measurement of consistency as applied to rubber-benzene solutions. *Proc. Am. Soc. Test. Mater.* 26 (II):621.
- Casson, N. 1959. A flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink type. In: «Rheology of Disperse System». C.C. mill (Ed.), p.82. Pergamon Press, New York.
- «Official Methods of Analysis». 15th ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington. Va. U.S.A.

Recibido: 13-07-1995

Aceptado: 12-03-1996