



Caracterización del comportamiento al flujo de pulpa simple y concentrada de manzana (*Phyrus malus L.*) variedad San Antonio

*Characterization of flow behavior of simple and concentrate apple pulp (*Phyrus malus L.*) variety San Antonio*

Damián Manayay Sánchez, Williams Castillo Martinez, Soledad Quezada Berru, Lenin Palacios Ambrocio, Santos López Rivera

Departamento de Agroindustria, Universidad Nacional del Santa, Ciudad Universitaria, Urbanización Bellamar S/N, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

Recibido 7 febrero 2013; aceptado 6 junio 2013.

RESUMEN

En este trabajo se ha determinado el comportamiento reológico de pulpa de manzana mediante un reómetro de cilindros concéntricos, en muestras de pulpa con un contenido en sólidos solubles de 11 y 17°Brix, en el intervalo de temperaturas de 10 a 80°C. La ley de la potencia ha descrito adecuadamente el comportamiento reológico de la pulpa de manzana ($R^2 > 0.99$), en tanto que los bajos valores del índice de comportamiento al flujo confirmaron su comportamiento pseudoplástico. El efecto de la temperatura sobre el comportamiento al flujo ha sido descrito por una ecuación de tipo Arrhenius, mientras que el efecto de la concentración sobre el índice de consistencia se ha ajustado óptimamente a un modelo exponencial del tipo:

$$\eta = \eta_2 \exp(bC)$$

Palabras claves: Reología, Procesado de alimentos, Arrhenius

ABSTRACT

This work has identified the rheological behavior of apple pulp using a concentric cylinder rheometer, samples of pulp with a soluble solids content of 11 to 17 ° Brix in the temperature range 10 to 80 ° C. The power law adequately described the rheological behavior of apple pulp ($R^2 > 0.99$), while low values of flow behavior index confirmed pseudo plastic behavior. The effect of temperature on the flow behavior has been described by an equation of Arrhenius type, while the effect of concentration on the rate of consistency is optimally adjusted to an exponential model of the type:

$$\eta = \eta_2 \exp(bC)$$

Keywords: Rheology, food processing, Arrhenius

1. Introducción

La manzana es uno de los frutos más populares y disponible durante todo el año, es tradicionalmente conocida como la fruta de la salud, que además de su consumo directo se suele utilizar en pulpa para fabricar productos como compotas, zumos, jaleas, vinos, vinagres entre otros, que en su momento como fluidos de proceso requieren de un manejo adecuado. La reología de los productos alimentarios tiene

una clara y permanente tendencia a desarrollarse, considerando que el conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos permitirá hacer manejo adecuado del procesamiento de diversas materias primas, sobre todo cuando se trata del diseño de equipos y maquinarias para el transporte. Sin embargo, esta ciencia, aún es muy joven, por ahora es muy experimental y estudiada por muy pocos científicos, sin embargo a pesar de esta tenue atención, el impacto de los métodos reológicos

*Autor para correspondencia.

Email: dmanayay@uns.edu.pe (D. Manayay)

tiene una alta aplicación en la industria agroalimentaria, exigiendo cada vez, con mayor presión, contar con datos reológicos de materias primas diversas.

Para justificar la importancia de la presente investigación se han revisado antecedentes de trabajos similares, encontrando entre otros, a Vitali y Rao (1982; 1984), al evaluar el comportamiento reológico del puré de guayaba y el comportamiento reológico del zumo concentrado de naranja respectivamente, determinaron que el modelo de la ley de la potencia los describe adecuadamente, en tanto que Ibarz *et al.* (1992), al investigar diversos parámetros reológicos en muestras de pulpas concentradas de ciruela y melocotón, logró observar en ambas muestras una ligera tixotropía, caracterizada por una cinética de primer orden, en tanto que el comportamiento al flujo fue bien representado por el modelo de la potencia, resultando las muestras de melocotón con un mayor índice de consistencia, asociado al mayor contenido de sólidos solubles, fibras y pectinas. Asimismo, refiere que el índice de comportamiento al flujo fue similar para ambos productos, mientras que el efecto de la temperatura fue representado por una ecuación del tipo Arrhenius, siendo el valor de la energía de activación E_a de 4.4 y 10.5 kJ/mol para la ciruela y melocotón respectivamente; del mismo modo Lozano *et al.* (1994), al investigar el comportamiento tixotrópico de pulpas concentradas de frutas, determinó que el tiempo de evolución del esfuerzo de corte a una velocidad angular de deformación (dv/dy) de 1.0 s^{-1} fue aceptablemente representado por una cinética de primer orden, en tanto que el equilibrio final del esfuerzo de corte está relacionado linealmente con el incremento de los sólidos solubles, asimismo refiere que pudo encontrar diferencias considerables entre los parámetros tixotrópicos al comparar muestras de pulpas de melocotón y ciruela a las mismas concentraciones de sólidos solubles, pectina y niveles de fibra. Finalmente indican que la diferencia encontrada entre los comportamientos tixotrópicos de estas dos pulpas es atribuida a la estructura microscópica de las mismas. En su momento Ramos e Ibarz (1998), al investigar la tixotropía de puré concentrado de naranja y membrillo, refiere que el jugo de naranja con contenido de pulpa y pectina es tixotrópico a concentraciones de sólidos soluble de 55 y 60°Brix, en el rango de temperaturas de 0 a 20°C y a una proporción de deformación de 7.2 hasta 57.6 s^{-1} , mientras que el puré de membrillo es tixotrópico a concentraciones de sólidos solubles de 12.3 a 28 °Brix, en el intervalo de temperaturas entre 0 a 20°C y proporción de deformación de 7.2 a 57.6 s^{-1} . Refiere además que el comportamiento tixotrópico del jugo de naranja y el puré de membrillo, crece con el

incremento de la concentración de sólidos y la disminución de la temperatura, del mismo modo indica que la estructura tixotrópica del jugo de naranja, cuando se aplica una proporción de deformación de 57.6 s^{-1} se destruye en 5 minutos, mientras que para el puré de membrillo se requieren 10 minutos, resalta también que el puré de membrillo muestra mayores características tixotrópicas que el jugo de naranja.

Pelegrine *et al.* (2002) al estudiar el comportamiento reológico de pulpa entera y centrifugada de mango y piña, en un viscosímetro rotacional Haake Rotovisco RV-20 y a 30°C, determinó que las pulpas muestran comportamiento pseudoplástico y el contenido de sólidos solubles tiene gran influencia en el índice de consistencia, asimismo indica que el ajuste óptimo fue logrado haciendo uso del modelo Mizrahi-Berk (M-B), en el mismo sentido Hamniniuk *et al.* (2005), al investigar el comportamiento reológico de una pulpa integra de araza, en un reómetro de cilindros concéntricos Brookfield, reporta que la pulpa integra es descrita apropiadamente por el modelo de la ley de la potencia; indica además que la viscosidad decrece con el incremento de la temperatura, en tanto que el modelo de Arrhenius describe óptimamente el efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente de la pulpa, siendo la energía de activación (E_a) de 11.03 kJ/mol para una velocidad angular de deformación de 50 s^{-1} .

Maceiras *et al.* (2006), al estudiar el comportamiento reológico de purés de frambuesa, fresa, durazno y ciruela, mediante un viscosímetro rotacional, acondicionado para conducir experimentos a diferentes temperaturas, usando un intervalo de temperaturas de 20 a 40°C, velocidad angular de deformación en el intervalo de 17.8 a 445 s^{-1} y analizando los resultados experimentales empleando los modelos reológicos de Ostwald Waele y Herschel-Bulkley, determinó que se ajustan razonablemente con un valor de $R^2 = 0.998$, finalmente, propone modelos lineales para correlacionar los parámetros reológicos con la temperatura y que las medidas experimentales encontradas para los purés estudiados muestran un comportamiento no Newtoniano, mientras que la viscosidad aparente es influenciada por el cocimiento.

De la evaluación de los antecedentes de diversas investigaciones relacionadas, adicionada a la importancia científica y tecnológica de la presente investigación, se consideró pertinente resolver el problema de caracterizar el comportamiento al flujo de pulpa simple y concentrada de manzana, planteando como objetivo el evaluar el comportamiento reológico de pulpa de manzana mediante un reómetro de cilindros concéntricos.

2. Materiales y métodos

Se utilizaron frutas maduras de manzana San Antonio, con contenidos en sólidos solubles de 11°Brix, sin presencia de deterioro, proveniente de la localidad de Pariacoto, distrito de Yautan, provincia de Casma, no se consideró importante el tamaño de la fruta. El material experimental fue lavado en agua clorada y sometido a un escaldado en agua caliente a 80°C por 5 minutos, seguidamente se enfrió hasta temperatura ambiente para posteriormente ser pulpeado, homogenizado, tamizado y concentrado hasta 17°Brix en un rota vapor vertical con presión de vacío de 85 mbar y 500 rpm. Las lecturas reométricas se realizaron en un reómetro de cilindros concéntricos Brookfield R/S-CC+ haciendo uso del spin CC-40 para pulpa simple y CC-25 para pulpa concentrada, realizándose lecturas a 10, 20, 30, 40, 50, 70 y 80°C de temperatura y con velocidades angulares de deformación en el rango de 1 a 100 s⁻¹. Finalmente, mediante el software Statgraphics 5.0, los resultados experimentales se ajustaron por el método de los mínimos cuadrados, a los modelos de la ley de la potencia y de Herschel-Bulkley, determinando los parámetros reológicos de índice de consistencia (K) y de comportamiento al flujo (n).

3. Resultados y Discusión

El modelo de la ley de la potencia describe adecuadamente el comportamiento al flujo de la pulpa de manzana ($R^2 > 0.99$), tanto en pulpa simple como concentrada, siendo corroborada por Vitali y Rao (1982) con su estudio de comportamiento reológico del puré de guayaba; Vitali y Rao (1984) al estudiar el comportamiento reológico en zumo concentrado de naranja y luego Ibarz y Lozano (1992), al estudiar el comportamiento reológico del puré de ciruela y melocotón, y, Hamminiuk *et al.* (2005), al investigar el comportamiento reológico de una pulpa integra de araza, en un reómetro de cilindros concéntricos Brookfield, reporta que la pulpa integra es descrita apropiadamente por el modelo de la ley de la potencia.

Asimismo, se ha determinado que para una misma concentración, el incremento de temperatura da lugar en todas las muestras a una disminución del índice de consistencia, habiendo sido observado también por Saravacos (1968) así como por Ibarz *et al.* (1992), en tanto que los valores del índice de comportamiento al flujo obtenidos en esta investigación mostraron el carácter claramente de pseudoplasticidad, tanto para pulpa simple (11°Brix) como para concentrada (17°Brix).

Las tablas 1 y 2 condensan los valores que definen las constantes de la ley de la potencia tanto de pulpa simple como de concentrada, mientras que las figuras 1 y 2 muestran la tendencia característica de los reogramas.

Tabla 1. Constantes de la ley de la potencia para pulpa simple (11°Brix) de manzana

| Temperatura | Índice de consistencia | Índice de comportamiento | R ² | Desviación Estándar |
|-------------|------------------------|--------------------------|----------------|---------------------|
| °C | K (Pa.s ⁿ) | n | | |
| 10 | 112.2320 | 0.1685 | 0.9995 | 4.9972 |
| 20 | 102.9561 | 0.1810 | 0.9992 | 6.0459 |
| 30 | 93.6343 | 0.1978 | 0.9987 | 7.5264 |
| 40 | 78.3881 | 0.2222 | 0.9986 | 7.1457 |
| 50 | 72.3122 | 0.2347 | 0.9985 | 7.1731 |
| 60 | 61.2660 | 0.2481 | 0.9985 | 6.4084 |
| 70 | 54.0339 | 0.2588 | 0.9984 | 6.0426 |
| 80 | 45.0229 | 0.2840 | 0.9985 | 5.3195 |

Tabla 2. Constantes de la ley de la potencia para pulpa concentrada (17°Brix) de manzana

| Temperatura | Índice de consistencia | Índice de comportamiento | R ² | Desviación Estándar |
|-------------|------------------------|--------------------------|----------------|---------------------|
| °C | K (Pa.s ⁿ) | n | | |
| 10 | 171.2071 | 0.1110 | 0.9997 | 4.8090 |
| 20 | 164.3029 | 0.1123 | 0.9996 | 5.0608 |
| 30 | 153.9932 | 0.1257 | 0.9989 | 8.6252 |
| 40 | 136.4493 | 0.1458 | 0.9982 | 1.0440 |
| 50 | 128.4819 | 0.1667 | 0.9973 | 1.3055 |
| 60 | 114.0751 | 0.1866 | 0.9971 | 1.2941 |
| 70 | 100.5135 | 0.1877 | 0.9980 | 9.4364 |
| 80 | 75.0188 | 0.2304 | 0.9974 | 9.6129 |

Es importante destacar que una pulpa de fruta está constituida fundamentalmente por una dispersión de partículas sólidas en una solución acuosa de azúcares, ácidos orgánicos, sales y pectinas; por lo que es evidente que el comportamiento reológico estará regido por las características de la fase sólida (forma, tamaño y concentración de las partículas), y, por las de la fase líquida (naturaleza, forma tamaño y concentración de las especies moleculares que la componen). Esta cualidad permite visualizar que conforme aumenta el grado de concentración, las partículas sólidas, en un principio individuales, irán quedando cada vez más próximas unas de otras, lo que facilita la formación de grumos, que a su vez se unen para formar agregados, estos también se asocian para formar una red o malla que atrapa la fase dispersante, provocando de este modo, un fuerte incremento en los parámetros reológicos al alcanzar una determinada concentración crítica, no habiendo sido observado en el caso estudiado.

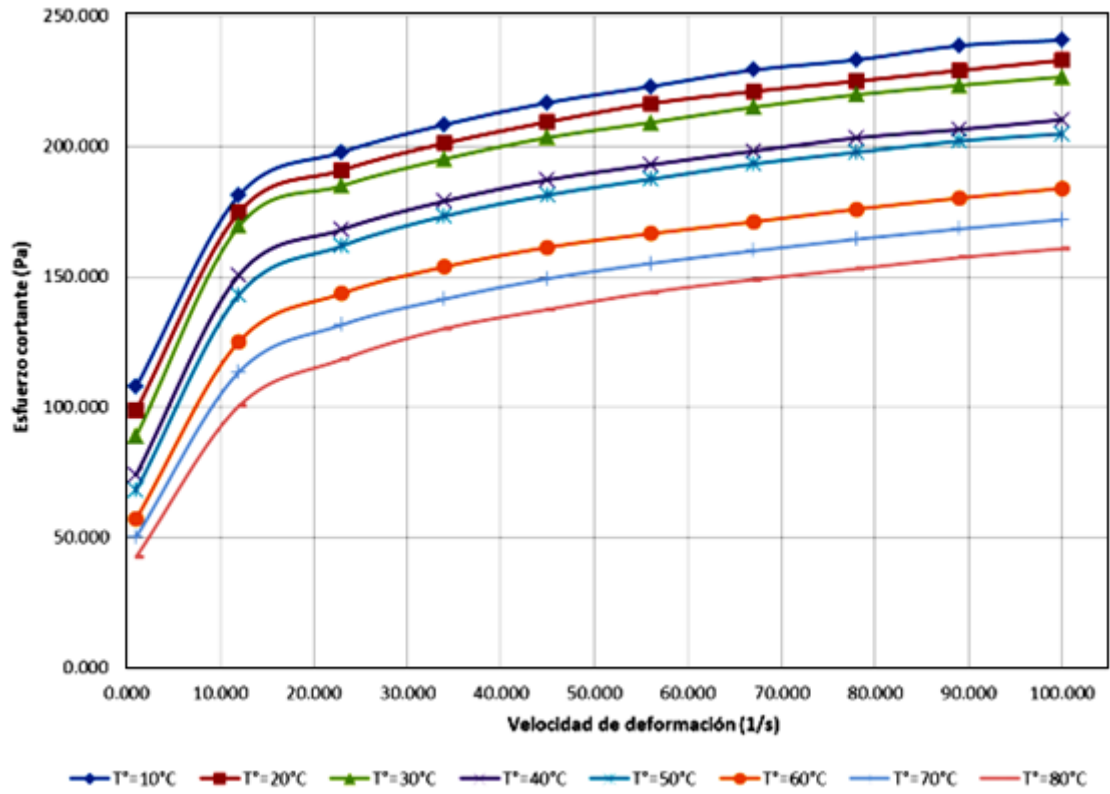


Figura 1. Reograma de pulpa simple de manzana (11°Brix).

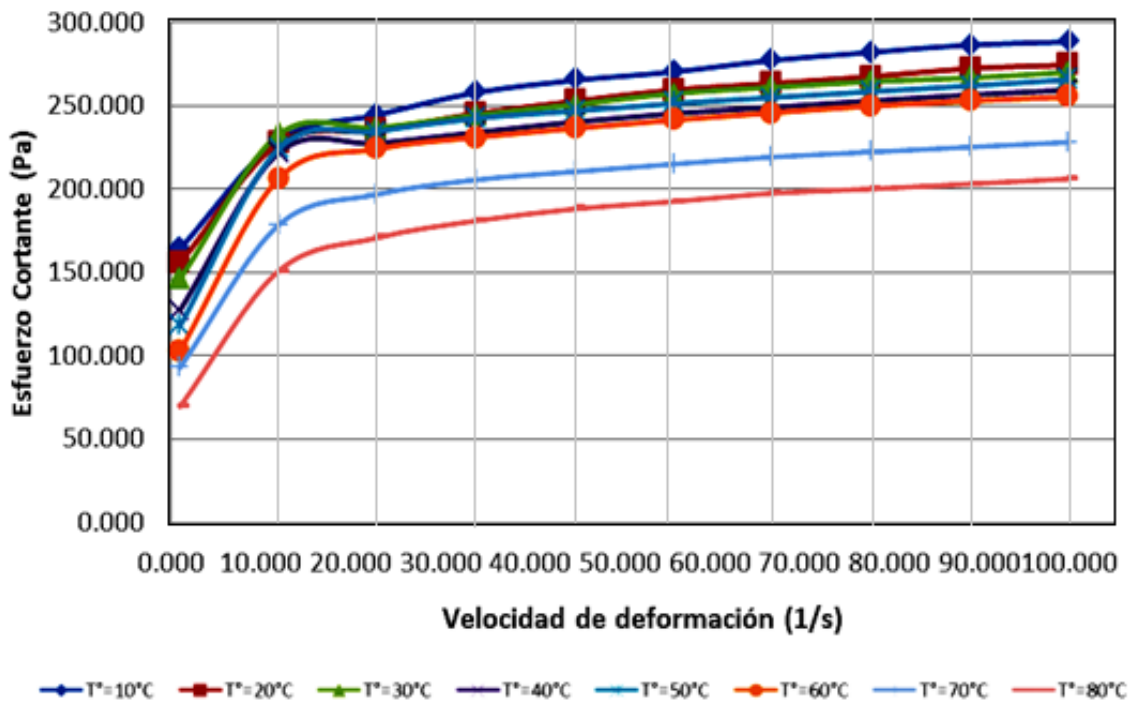


Figura 2: Reograma de pulpa concentrada de manzana (17°Brix).

El ajuste no lineal a la ecuación de Arrhenius, de las lecturas del índice de consistencia mostrados en la tabla 2, permitió determinar la energía de activación al flujo y de la constante K_0 tal como se muestra en la tabla 3, en donde al observar 10.782 KJ/mol de energía de activación para pulpa simple se concluyó que la temperatura tiene un relativo mayor efecto en la variación del índice de consistencia en pulpa simple (11°Brix), siendo su efecto en menor grado sobre pulpa concentrada (17°Brix).

Tabla 3. Efecto de la temperatura sobre el índice de consistencia de pulpa simple y concentrada de manzana.

| Concentración (°Brix) | E_a (kJ/mol) | K_0 (Pa.s ⁿ) | R^2 |
|---------------------------|----------------|----------------------------|-------|
| Sin concentrar (11 °Brix) | 10.782 | 1.229 | 0.977 |
| Concentrada (17 °Brix) | 8.943 | 4.217 | 0.900 |

Adicionalmente corresponde indicar que los valores de E_a obtenidos son relativamente bajos en ambos casos, lo que induce afirmar que en el intervalo de temperaturas consideradas en el estudio (10° a 80°C), el efecto no es significativo, debiéndose a la presencia de pulpa y de pectinas que hacen disminuir la influencia de la temperatura, hecho que es corroborado por Saravacos (1970), en tanto que la constante K_0 tiene valores relativamente elevados y presenta una ligera tendencia a incrementarse con la concentración de las muestras.

4. Conclusiones

La pulpa de manzana en el rango de temperaturas y concentraciones estudiadas muestra un comportamiento pseudoplástico, que es descrito adecuadamente por el modelo de la ley de la potencia:

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n$$

El efecto de la temperatura sobre la variación del índice de consistencia se describe adecuadamente mediante la ecuación de tipo Arrhenius:

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

5. Referencias Bibliográficas

- Haminiuk, C.; Sierakowski, M.; Vidal, J.; Masson, M. 2005. Influence of temperatura on the rheological behaviour of whole araca pulp (*Psidium cattleianum* Sabine). *LWT - Food Science and Technology* 39(4): 426-430.
- Ibarz, A.; Lozano, J. 1992. Rheology of concentrated peach and plum pulps. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 32(1): 85-94.
- Lozano, J.; Ibarz, A. 1994. Tixotropic behavior of concentrated fruit pulps. *Lebensm-Wiss u. Technology* 27(1): 16-18.
- Maceiras, R.; Alvarez, E.; Cancela, M. 2006. Rheological properties of fruit purees. Effect of cooking. *Int J Food Sci Tech.* 44(3): 503-509.
- Pelegrine, D.; Silva, F.; Gasparetto, C. 2002. Rheological behaviour of pineapple and mango pulps. *LWT - Food Science and Technology* 35(8): 645-648.
- Ramos, A.; Ibarz, A. 1998. Thixotropy of orange concentrate and quince puree. *Journal of texture Studies* 29: 313-324.
- Saravacos, G.D. 1968. Tube viscometry of fruit juices. *Food Technology* 22: 585.
- Saravacos, G.D. 1970. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *Journal Food Science* 35: 122.
- Vitali, A.; Rao, M. 1982. Flow behavior of guava puree as a function of temperature and concentration. *Journal Texture studies* 13: 275-289.
- Vitali, A.; Rao, M. 1984. Flow properties of Low-Pulp concentrated orange juice. Effect of temperature and concentration. *Journal Food Science* 49: 882-888.