

Propiedades Reológicas de la Pulpa de Papaya (*Carica papaya*)

Somaris E. Quintana, Clemente Granados y Luis A. García-Zapateiro*
Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Departamento de Operaciones Unitarias, Grupo de Investigación Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos (IFCRA), Cartagena de Indias, Colombia (e-mail: lgarciaz@unicartagena.edu.co)

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Recibido Ago. 4, 2016; Aceptado Oct. 4, 2016; Versión final Dic. 17, 2016, Publicado Ago. 2017

Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de papaya (*Carica papaya*). Se realizaron curvas de flujo viscoso en estado estacionario a 5, 15, 25, 40, 60 y 80°C evaluando la influencia de la temperatura en los parámetros reológicos. Los ensayos mostraron que las pulpas presentaron comportamiento de fluidos no Newtoniano tipo reofluidificante (*shear thinning*) y los datos se ajustaron al modelo de Carreau-Yasuda. La influencia de la temperatura sobre la viscosidad de la pulpa se modeló a partir de una ecuación tipo Arrhenius, evidenciando una disminución de la viscosidad con el incremento de la temperatura. Los resultados obtenidos aportan información sobre el comportamiento reológico de la pulpa de papaya para su aplicación en el diseño de procesos para la elaboración de productos a partir de esta materia prima.

Palabras clave: papaya (Carica papaya); reología; reofluidificante; modelo de Carreau-Yasuda; ecuación de Arrhenius.

Rheological Properties of Papaya Pulp (*Carica papaya*)

Abstract

The objective of this work was the analysis of the temperature effect on the rheological behavior of papaya pulp (*Carica papaya*). Viscous flow curves at steady state were experimentally determined at 5, 15, 25, 40, 60 and 80°C evaluating the influence of temperatures on the rheological parameters. The tests show the pulps presented non-Newtonian shear thinning behavior, adjusted to the Carreau-Yasuda model. The influence of temperature on the viscosity of the pulp was modeled using an Arrhenius type equation, showing a decrease in viscosity with increasing temperature. The results contribute new information for on the rheological behavior of papaya pulp for the application in the design of processes to manufacture of foods products from this raw material.

Keywords: papaya, (Carica papaya); rheology; shear thinning; Carreau-Yasuda model; Arrhenius equation

INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya*) es una especie de la familia *Cacicaceae*, la cual es ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales y es popular por su jugo lechoso, sabor agradable alta digestibilidad y valor nutritivo (Monti *et al.*, 2004). Varios estudios han puesto de manifiesto sus grandes aportes a la salud, ya que la fruta contiene proteínas, grasas, hidratos de carbono, minerales y vitamina, compuestos antioxidantes tales como fenoles y carotenoides (Kelebek *et al.*, 2015, Rivera-Pastrana *et al.*, 2010, Sancho *et al.*, 2011), lo que ha contribuido a un aumento en el consumo de frutos de papaya (*Carica papaya*) en los países en desarrollo (Evans y Ballen, 2012). Las pulpas de frutas están compuestas por partículas sólidas dispersas en una fase acuosa, su comportamiento reológico se verá influenciado por la concentración, composición química, tamaño, forma y disposición de estas partículas que componen la fase dispersa. En consecuencia, dependerá tanto de su naturaleza, como de los tratamientos que se hayan realizado en sus procesos de obtención. (Costell y Durán, 1982).

Además del consumo de la pulpa de frutas “al fresco”, los productos manufacturados, tales como zumos, néctares, batidos, helados, jaleas, conservas, compotas, mermeladas, cremogenados o yogures, cuya materia prima básica es la pulpa, requieren de las operaciones unitarias, tales como bombas, agitación, intercambiador de calor y separaciones. Para que estos procesos industriales sean técnica y económicamente factibles, es importante tener el conocimiento de las propiedades físico- químicas. Entre estas propiedades, el comportamiento reológico es uno de los más importantes, siendo útil en proyectos, evaluación y operación del proceso de equipos (Ibarz *et al.*, 1996). Estas propiedades reológicas también son significativas como parámetros de control de calidad en los productos finales (Yeow, *et al.*, 2002). En la elaboración de productos, se requiere encontrar la mezcla óptima de ingredientes que permita generar un nuevo producto cuya formulación ofrezca características de producto funcional con alto valor nutricional y en las que se mantengan propiedades fisicoquímicas, organolépticas de aroma y sabor deseables (Muteki, *et al.*, 2007; Serna-Cock, Velasquez y Ayala, 2010).

Hasta el momento en que son consumidos, los alimentos están sometidos continuamente a cambios de temperatura, así mismo en el proceso de elaboración y pasando por los periodos de transporte, las condiciones de temperatura a que son sometidos los alimentos pueden variar notablemente (Hernández *et al.*, 2007). La temperatura es uno de los factores que más afectan a la viscosidad de las pulpas de frutas, el conocimiento de la influencia de la temperatura sobre la viscosidad es esencial para proporcionar un mejor conocimiento del comportamiento reológico de derivados de frutas y vegetales durante el procesado a temperaturas elevadas (Ibarz *et al.*, 1996). El objetivo de esta investigación es evaluar las características reológicas de la pulpa de papaya (*Carica papaya*) y analizar la dependencia con respecto a las diferentes temperaturas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hace una descripción de la metodología utilizada, en dos aspectos: (i) materiales utilizados y sus características, en este caso frutos de papaya; y (ii) evaluación reológica, utilizando ensayos de flujo en estado estacionario.

Materiales

Los frutos de papaya (*Carica papaya*) en estado de madurez comercial y libre de daños mecánico fueron adquiridos en el central de abasto de alimentos de la de Cartagena-Colombia. Los frutos fueron pesados, lavados, cortados en mitades longitudinales y despulpados de forma manual eliminándose la epidermis y las semillas.

Evaluación reológica

Se realizaron ensayos de flujo en estado estacionario de las muestras sin historia previa de cizalla, obteniendo curvas de viscosidad a temperaturas de 5, 15, 25, 40, 60 y 80 °C en un Sistema de Reómetro Avanzado Modular Haake Mars 60 usando una geometría de cilindros coaxiales (Diámetro externo: 27.19 mm, Diámetro interno: 25.0780 mm; largo 37.620 mm; Gap 5.3 mm) en un rango de velocidad de cizalla comprendidas entre 0.001 y 200 s⁻¹. En este estudio, previo a la medición, todas las muestras se dejaron en reposo durante 600 segundos para permitir una relajación de las mismas. La temperatura de las muestras se mantuvo constante mediante un sistema Peltier.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización reológica se llevó a cabo realizando ensayos en flujo estacionario, a diferentes temperaturas, observando la variación de los parámetros de pseudoplasticidad con la velocidad de cizalla.

Las curvas de flujo viscoso de la pulpa de papaya (*Carica papaya*) (Fig. 1) muestran características de fluido No-Newtoniano tipo reofluidificante (*shear thinning*), debido a que la viscosidad aparente disminuye con la velocidad de cizalla o deformación (Macosko, 1994), con una tendencia a alcanzar un valor constante de viscosidad a bajas velocidades de cizalla η_o y a altas velocidades de cizalla η_∞ .

Diferentes modelos se han empleado para describir el comportamiento reológico de la pulpa de frutas. Uno de los modelos matemático más utilizado es la ley de la potencia de Ostwald de Waele (Torrallés et al., 2006), el cual se ha utilizado para describir el comportamiento reológico de pulpa de mango (*Mangifera indica L-Keitt*) (Vidal et al., 2004), pulpa de guayaba (*Psidium guajava*), pulpa de guanábana (*Annona muricata*), pulpa de zapote (*Calocarpum sapota Merr*) y pulpa de níspero (*Achras sapota*) (Andrade, 2009). Para el caso del puré de arándano ha sido utilizado el modelo de Sisko (Nindo et al., 2007), también el modelo de Casson ha sido aplicado a una amplia gama de productos alimentarios tales como purés de frutas y concentrados de tomate, (Vitali y Rao, 1984), el comportamiento no-Newtoniano también se observó en la pulpa de borojó (*Borojoa patinoi Cuatrec*) (Díaz-Ocampo et al., 2012).

Debido al comportamiento de la pulpa de papaya, los datos obtenidos (viscosidad vs velocidad de deformación) fueron ajustados al modelo de Carreau-Yasuda (Carreau 1972), el cual esta expresado en la ecuación 1:

$$\eta = \eta_\infty + \frac{(\eta_o - \eta_\infty)}{[1 + (\lambda \cdot \dot{\gamma})^\alpha]^{\frac{n-1}{\alpha}}} \quad (1)$$

Este modelo describe el flujo de fluidos no-Newtonianos dependientes del tiempo con viscosidades nulas η_o , e infinita, η_∞ en el rango de velocidad de cizalla y que no presentan esfuerzo umbral. El parámetro de relajación de tiempo λ define la ubicación de la transición desde los comportamientos reoespesescentes (*shear-thickening*) y reofluidificante (*shear-thinning*), donde $1/\lambda$ es la velocidad de cizalla crítica en el cual la viscosidad comienza a disminuir. $(n - 1)$ es la pendiente de la caída potencial, el valor de n cambia con la composición del fluido. El parámetro α es adimensional, algunas veces llamado la constante de Yasuda (Yasuda, 1979), el cual describe la región de transición entre η_o y la caída potencial.

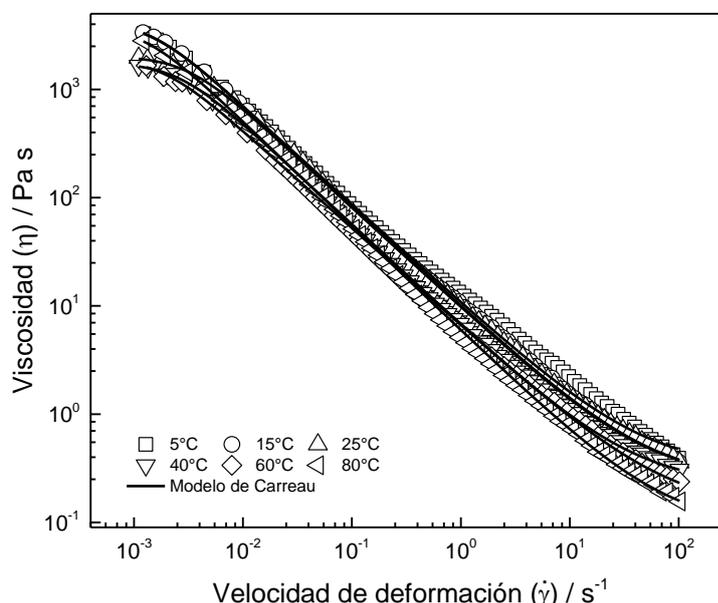


Fig. 1: Curvas de flujo viscoso de pulpa de papaya (*Carica papaya*) a 5, 15, 25, 40, 60 y 80°C

La calidad de ajuste del modelo de Carreau-Yasuda a los datos experimentales se puede observar en la Fig. 1, la cual corresponde al ajuste de la ecuación con los datos actuales de viscosidad. En los puntos iniciales, la viscosidad aparente tiende a ser constante, lo que se conoce como viscosidad de cizalla nula η_o , posteriormente comienza a disminuir y, en general, la curva entra en una fase logarítmica con tendencia a la viscosidad newtoniana con tendencia al infinito, lo que indica el comportamiento del modelo Carreau. Esta disminución en la viscosidad con velocidades de cizallamiento se llama de fluidificación por cizalladura. (Quintana et al., 2015).

Los parámetros de ajuste al modelo de Carreau-Yasuda se presentan en la Tabla 1. Se observan diferencias significativas de la viscosidad aparente con la temperatura, con valores de η_o que oscilan entre 1851.020 Pa.s a 5 °C y 8538.311 Pa.s a 80 °C, respectivamente; este valor es indicativo de la viscosidad de la pulpa en situaciones de reposo o movimientos lentos. Además, mostraron valores $n < 1$ con una variación significativa ($P < 0.05$), por lo tanto, presento un comportamiento estructural de tipo “*shear-thinning*” - reofluidificante, donde la viscosidad disminuye con la velocidad de cizalla, por ende, no se considera incremento o disminución del carácter fluidificante de las pulpas. Sin embargo, los cambios de temperatura afectan los valores de viscosidad. El modelo ajusta adecuadamente el comportamiento de flujo estacionario de la pulpa de papaya (*Carica papaya*), con altos coeficientes de correlación ($R^2 > 0.998$).

Tabla 1: Parámetros del modelo de Carreau-Yasuda para la viscosidad de la pulpa de papaya a diferentes velocidades de cizalla, a temperaturas de 5 - 80°C.

	η_o	η_∞	λ	n	α	R^2
5°C	3857.883	0.15826	737.844	0.14849	2.87090	0.999
15°C	3770.410	0.28382	623.298	0.05695	2.85670	0.999
25°C	2098.867	0.27948	313.402	0.05220	0.05220	0.999
40°C	1851.020	0.30742	367.630	0.01856	1.65069	0.998
60°C	2303.100	0.15789	647.783	0.11083	1.47325	0.998
80°C	8538.311	0.15352	1858.011	0.02092	0.91442	0.999

El efecto de la temperatura en la viscosidad aparente de alimentos fluidos, a velocidad de cizalla constante, puede ser descrito por la ecuación de Arrhenius (Rao y Tattiyakul, 1999), la cual esta expresada en la ec. (2)

$$\eta = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

Donde A es el factor pre-exponencial y E_a la energía de activación, el cual es un parámetro que evalúa la dependencia térmica (J/mol), R es la constante de los gases (8.314 J/mol K) y T es la temperatura absoluta (K). En la cual la viscosidad aparente decrece en una función exponencial con la temperatura. La velocidad de cizalla de 15.93 s^{-1} fue escogida, considerando que las operaciones de flujo en tuberías, mezclado y agitación oscilan en rangos de velocidades de cizalla de $10\text{-}1000\text{s}^{-1}$ (Steffe, 1996).

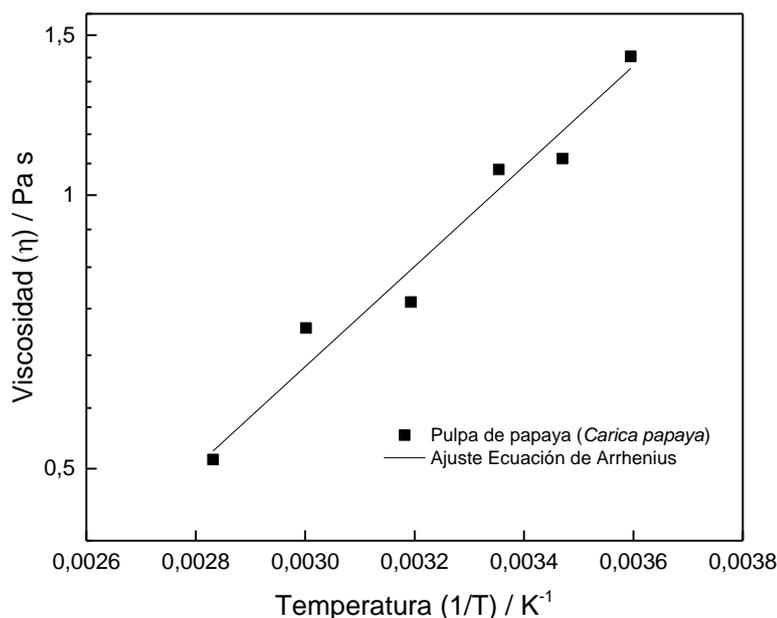


Fig. 2: Variación de los valores de η obtenidos a 15.93 s^{-1} en función de la temperatura y ajuste a la ecuación de Arrhenius.

El modelo de Arrhenius describe bien el ajuste de los valores experimentales de η ($R^2 = 0.9547$), como se puede observar en la figura 2. Los cambios en la energía de activación de cizalla en el rango de temperaturas estudiado, pueden indicar cambios en el comportamiento de fase con la temperatura, para la pulpa de papaya (*Carica papaya*) presento valores de energía de activación de $E_a = 10.55$ kJ/mol, indicando que la dependencia de la viscosidad va disminuyendo en cuanto aumenta la temperatura aplicada. La energía de activación es necesaria para el movimiento de las moléculas, cuando aumenta la temperatura en los líquidos estos fluye con más facilidad, debido a la mayor energía de activación a temperaturas altas. (Memnune et al, 2005). Un aumento de la temperatura en este caso hace que la viscosidad de la fase líquida disminuya, aumentando el movimiento de las partículas en suspensión, causando una disminución de la viscosidad de la pulpa (Pelegri, 2002). Este comportamiento también se ha observado en pulpa de arazá (*Psidium cattleianum sabine*) (Haminula et al, 2006), pulpa de acerola (Giarola et al., 2014) mirtilo (Park et al., 2009), y pulpa de ciruela (*Spondias purpurea L.*) (Augusto et al., 2012). Ahora bien, la energía de activación puede estar asociada con el contenido de sólidos insolubles, donde el contenido de sólidos insolubles bajos da lugar a altos valores de energía de activación (Karwowski et al., 2013).

CONCLUSIONES

La pulpa de fruta de papaya (*Carica papaya*) se comporta como un fluido No Newtoniano del tipo reofluidificante, donde la viscosidad disminuye con la velocidad de cizalla o deformación, la cual ajusto al modelo de Carreau -Yasuda con un alto coeficiente de correlación ($R^2 > 0.998$). La temperatura influyo en los comportamientos viscosos de la pulpa, mostrando una disminución de los parámetros de pseudoplasticidad en relación al incremento de la temperatura aplicada. La relación de la temperatura y la viscosidad aparente de las pulpas se pudo representar a través de una ecuación tipo Arrhenius, donde el aumento de la temperatura causa una disminución en la viscosidad. Los resultados de este proyecto impulsan el aprovechamiento de las propiedades de flujo de la pulpa papaya (*Carica papaya*), materias primas de interés nacional para ser utilizado para la preparación de nuevos productos y el desarrollo de procesos unitarios.

REFERENCIAS

- Andrade, R.D., R. Torres, E. J. Montes, O. A. Pérez, L. E. Restan y R. E. Peña, Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero (*Achras sapota L.*), Revista Fac. Agron., 26(4), 599-612 (2009)
- Augusto, P.E.D, M. Cristianinia y A. Ibarz, Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea L.*) pulp, J. Food Engineering, doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.08.015, 108(2), 283–289 (2012)
- Evans, E.A. y Ballen F.H., An Overview of Global Papaya Production, Cooperative extension service fruits crops fact sheet FE913 Trade, and Comsumption, University of Florida, Gainesville (2012)
- Carreau, P.J., Rheological equations from molecular network theories, Trans. Soc. Rheol., 16, 99-127 (1972)
- Costell, E. y Durán L., Reología físico-química de los zumos y pures de fruta. Rev. Agroquim. Tecnol., 22(1), 81–94 (1982)
- Díaz Ocampo, R., L. García Zapateiro, J.M. Franco Gómez y C. Vallejo-Torres, Caracterización bromatológica, fisicoquímica microbiológica y reológica de la pulpa de borjón (*Borojoa patinoi cuatrec*), Ciencia y Tecnología 5(1), 17-24 (2012)
- Haminiuka, C.W.I., M.R. Sierakowskib, J.R.M.B. Vidalc y M.L. Massona, Influence of temperature on the rheological behavior of whole arazá pulp (*Psidium cattleianum sabine*). doi:10.1016/j.lwt.2005.02.011, LWT-Food Sci Technol., (en línea), 39(4), 427–431 (2006)
- Ibarz, A., A. Garvín, y J. Costa, Rheological behavior of sloe (*Prunus spinosa*) juices, Journal Food Engineering., 27,423-430 (1996)
- Karwowski, M.S.M., M.L. Masson, M.K. Lenzi, A.P. Scheer y C.W.I. Haminiuk, Characterization of tropical fruits: rheology, stability and phenolic compounds, doi: http://dx.doi.org/10.1556/AAlim.42.2013.4.13, Acta Alimentaria, (en línea), 42, 586–598 (2013)
- Kelebek, H., S. Selli, H. Gubbuk y E. Gunes, Comparative evaluation of volatiles, phenolics, sugars, organic acids and antioxidant properties of Sel-42 and tainung papaya varieties, doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.116, Food Chemistry, (en línea), 173, 912–919 (2015)

- Macosko, C. W., *Rheology: Principles, Measurements and Applications*, Xidade: VCH Publisher, 92 (1994)
- Memnune S., M., Fatih, y Mustafa E.S., Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez, *Food Control*, 16, 73–76 (2005)
- Monti R., J. Contiero y A.J. Goulart, Isolation of natural inhibitors of papain obtained from *Carica papaya* latex, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132004000500010>, *Braz Arch Biol Technol.*, 47, 747–754 (2004)
- Muteki, K., J.F. MacGregor, y T. Ueda, Mixture designs and models for the simultaneous selection of ingredients and their ratios, doi:10.1016/j.chemolab.2006.08.003, *Chemometer Lab.*, (en línea), 86(1), 17-25 (2007)
- Nindo, C.I., J. Tang, J.R. Powers y P.S Takhar, Rheological properties of blueberry puree for processing applications, doi:10.1016/j.lwt.2005.10.003, *LWT-Food Sci Technol.*, (en línea), 40(2), 292-299 (2007)
- Pelegrine, D.H., F. Silva y C. Gasperrato, Rheological behavior of mango and pineapple pulps, *LWT- Food Sci Technol*, 35(1), 645-648 (2002)
- Quintana, S.E., J.M. Franco y L.A. Garcia-Zapateiro, Physico-chemical and bromatological characteristics of arenca and rheological properties of oil-in-water emulsions containing isolated protein, doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542015000600010>, *Ciênc. Agrotec.*, (en línea), 39(6), 634-641 (2015)
- Rao, M.A., y Tattiyakul J., Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions, doi:10.1016/S0144-8617(98)00112-X, *Carbohydr Polym.*, (en línea), 38, 123–132 (1999)
- Rivera-Pastrana, D.M., E.M. Yahia y G.A. González-Aguilar, Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and their contents under low temperature storage doi: 10.1002/jsfa.4092, *J. Sci. Food Agr.*, (en línea), 90(14), 2358–2365 (2010)
- Sancho, L.E.G.G., E.M. Yahia y G.A. González-Aguilar, Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI, doi:10.1016/j.foodres.2010.12.001, *Food Res Int.*, (en línea), 44, 1284–1291 (2011)
- Serna-Cock, L., M. Velasquez, y A. A. Ayala, Efecto de la Ultrafiltración sobre las Propiedades Reológicas de Gelatina Comestible de Origen Bovino. I., <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000600011>. *Inf. Tec.*, (en línea), 21(6), 91-102 (2010)
- Steffe, J. F., *Rheological methods in food process engineering*. East Lansing. Freeman Press (1996)
- Toralles, R., J. Vendruscolo y C. Vendruscolo, Reología de purê homogeneizado de Pêssego: Efeito da temperatura e concentração, *Braz. J. Food Technol.*, (en línea), 9 (1), 1-8, 2006, <https://goo.gl/az9Fz2>. Acceso: 25 de Julio (2016)
- Vidal, J., D. Pelegrine y C. Gasparetto, Effect of the rheological behavior of mango pulp (*Mangifera indica* L-Keitt), doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612004000100008>, *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 24(1), 39-42 (2004)
- Vitali, A.A. y Rao M.A, Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration, doi:10.1111/j.1365-2621.1984.tb13233.x., *Journal of Food Science*, (en línea), 49, 882-888, (1984)
- Yasuda, K., *Manual*, MIT, Cambridge, 22–50, PhD Thesis (1979)
- Yeow, Y.L., P. Perona y Y. K. Leong, A reliable method of extracting the rheological properties of fruit purees from loop data, doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10298.x, *J. Food Sci.*, (en línea), 67, 1407-1411 (2002)