

# Propiedades reológicas de la pulpa de kiwi (*Actinidia chinensis*): comportamiento de Flujo

**Reynaldo J. Silva Paz<sup>1, 2</sup>, María Lucía Pollio<sup>3</sup>, Andrés Márquez<sup>3</sup>, Patricia A. Della Rocca<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Peruana Unión, Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CITAL), Carretera central Km 19, Ñaña, Perú

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Medrano 951, (C1179 AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Quilmes, Departamento de Ciencia y Tecnología, Roque Sáenz Peña 352, Bernal, (B1876BXD), Provincia de Buenos Aires, Argentina

*patriciadellarocca@hotmail.com*

*Recibido el 2 de Febrero de 2014, aprobado 12 de Marzo de 2014*

## Resumen

El kiwi es un fruto que actualmente es consumido en todo el mundo por su sabor y aroma agradable. Sin embargo, todavía no se ha desarrollado de manera suficiente su uso en el procesamiento industrial. El objetivo del presente trabajo fue analizar el comportamiento de flujo de la pulpa de kiwi tomando en cuenta: el efecto de la temperatura (en un rango de 10 °C a 55 °C) y la concentración de sólidos solubles, variando entre 10 – 30 °Brix. La pulpa de kiwi exhibe un comportamiento pseudoplástico, sin tixotropía, que puede ajustarse satisfactoriamente mediante el modelo de la ley de la potencia. El coeficiente de consistencia varió entre 4,381 Pa.s<sup>n</sup> – 12,667 Pa.s<sup>n</sup> y el índice de comportamiento al flujo entre 0,141 – 0,254. Se reveló un efecto significativo de la temperatura y la concentración de sólidos solubles sobre la viscosidad aparente. Esta aumenta a temperaturas inferiores a 25 °C y a concentraciones mayores a 20 Brix. El coeficiente de consistencia se puede ajustar con una relación tipo Arrhenius. La energía de activación al flujo se halla en un rango de 4,76 - 7,55 kJ/mol.K para los valores de concentración de sólidos solubles estudiados.

**PALABRAS CLAVE:** REOLOGÍA - ÍNDICE DE FLUJO - COEFICIENTE DE CONSISTENCIA - VISCOSIDAD - KIWI - PULPA

## Abstract

At present kiwi is a fruit worldwide consumed because of its pleasant flavor and aroma. Nevertheless, its industrial processing has not been yet significantly developed. The objective of this work was the analysis of the kiwi pulp's flow behavior taken into account: temperature influence (in the 10 °C to 55 °C range) and soluble solids concentration varying from 10 °Brix to 30 °Brix. Kiwi's pulp showed a pseudoplastic behavior, with no tixotropy, that satisfactorily fit the power law model. Values ranging from 4.381 Pa.s<sup>n</sup> to 12.667 Pa.s<sup>n</sup> were found for the consistency index and from 0.141 to 0.254 for the flow behavior index. A significant effect on apparent viscosity is shown for both temperature and soluble solids concentration. Viscosity increases at temperatures below 25 °C and concentrations greater than 20 ° Brix. The consistency coefficient followed an Arrhenius type relationship, being the flow activation energy in a 4.76 to 7.55 kJ/mol.K range for the tested soluble solids concentrations.

**KEYWORDS:** RHEOLOGY - FLOW INDEX - CONSISTENCY COEFFICIENT - VISCOSITY - KIWI- PULPA

## Introducción

El kiwi es un fruto climatérico, de forma ovalada, no dehiscente con muchas semillas pequeñas en un pericarpio carnoso. (Ferguson y Boyd, 2002).

Dentro de las variedades más conocidas y comercializadas a nivel mundial se encuentran: Bruno, Abbott y Hayward que poseen buenas características agronómicas tales como vigor, rusticidad y productividad (Bascuñana, 1989). El mercado del kiwi en el hemisferio norte puede ser cubierto, principalmente, por Nueva Zelanda, Chile y Argentina, países que aprovechan las condiciones de producción en contraestación. Esta producción alcanza niveles de calidad internacional y el 60 % de la fruta es exportada. Las condiciones de la costa argentina son ideales para su cultivo porque tienen características climáticas parecidas a las de Nueva Zelanda y además, la adecuada materia orgánica de su suelo lo beneficia (INTA, 2013). La fruta, la pulpa y el jugo de kiwi poseen un alto contenido en agua y fibra soluble e insoluble que ayuda a normalizar los niveles de colesterol y facilita el tránsito intestinal. Es poco calórico y presenta moderada cantidad de hidratos de carbono en forma de azúcares. Una porción de 100 g de kiwi aporta a la dieta 52 calorías. Es una de las frutas más ricas en vitamina C, cuyo aporte supera al de la naranja y el limón. También es rico en vitamina E y folatos y llega a cubrir entre un 9% y un 20%, respectivamente, de las necesidades diarias (Ferguson, 1990; Mitchell, 1994).

El jugo o pulpa de fruta es un sistema multifásico con fase continua acuosa y fase dispersa sólida. La fase acuosa es una disolución de azúcares, sales y otros solutos de bajo peso molecular. La fase dispersa cuenta con otros solutos de mayor peso molecular como proteínas solubles (Martínez et al., 1998).

El conocimiento del comportamiento reológico de los alimentos fluidos es muy importante para el diseño de equipos de proceso (concentración, bombeo, tamizado, mezclado, tratamientos térmicos, etc.), así como también, para su evaluación sensorial y control de la calidad (Rao y Anantheswaram, 1982).

Las pulpas de frutas son generalmente fluidos no newtonianos, que muestran un comportamiento típicamente pseudoplástico. El modelo

de Ostwald de Waele o modelo de la Ley de la Potencia es el más ampliamente empleado para caracterizar este comportamiento.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Donde:  $\tau$  el esfuerzo de corte (Pa),  $\dot{\gamma}$  el gradiente de velocidad de deformación ( $s^{-1}$ ),  $K$  el índice (también denominada coeficiente) de consistencia ( $Pa \cdot s^n$ ) y  $n$  el índice de comportamiento al flujo (adimensional). La relación entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad de deformación no es lineal como en los fluidos newtonianos, sino potencial.

El índice de consistencia  $K$  se puede representar por una relación tipo Arrhenius:

$$K = A \cdot e^{-E_a/R \cdot T} \quad (2)$$

siendo  $T$  la temperatura absoluta (K),  $R$  la constante de los gases (8,314 J/mol K),  $E_a$  la energía de activación al flujo (J/mol),  $A$  una constante del material ( $Pa \cdot s^n$ ),  $n$  el índice de comportamiento de flujo (adimensional).

El efecto de la concentración sobre el índice de consistencia se describe mediante la ecuación (3), (Cervone y Harper, 1978; Vitali y Rao, 1984):

$$K = K_c (X)^a \quad (3)$$

donde  $K_c$  y  $a$  son constantes y  $X$  es la concentración en sólidos solubles.

Vélez y Barboza (1997), evaluaron el efecto de la concentración en sólidos solubles y la temperatura en el índice de consistencia mediante un modelo logarítmico (4):

$$\ln K = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 (1/T) \quad (4)$$

donde  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son constantes.

En este trabajo se analizaron las características fisicoquímicas (acidez, pH, °Brix) de la pulpa fresca y se estudiaron los efectos de la temperatura (10, 25, 40 y 55 °C) y la concentración en sólidos solubles (10, 20 y 30 °Brix) sobre el comportamiento reológico de la pulpa de kiwi.

## Materiales y métodos

### Materia prima

Los frutos de kiwi utilizados fueron provistos por el mercado central de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, en estado de madurez comercial y libre de daños mecánicos.

### Obtención de la pulpa

Los frutos de kiwi seleccionados, se lavaron y se desinfectaron en agua clorada por 5 min. Se pelaron, trituraron y luego se tamizaron con una malla de abertura 1,5 mm. La pulpa se envasó en bolsas herméticas y las mismas se refrigeraron a 4 °C.

### Análisis fisicoquímico de la pulpa de kiwi

El pH se determinó por el método AOAC (1997), con un potenciómetro marca Mettler Toledo, modelo GmbH. La acidez total titulable se midió según el método AOAC (1997) y se expresó en porcentaje de ácido cítrico. Los sólidos solubles totales se determinaron con un refractómetro marca Palm Abbe™ modelo PA 202 y se expresaron en grados Brix (° Brix).

### Medidas reológicas

Para la caracterización reológica se utilizó un reómetro AR-G2 de TA Instruments con una geometría cono-plato. Las experiencias se llevaron a cabo en un rango de velocidad de deformación de 0 a 100 s<sup>-1</sup>. Para las pruebas se tomaron 22 ml de pulpa de kiwi y se determinó el esfuerzo de corte versus el gradiente de velocidad de deformación. Este procedimiento se realizó para todas las concentraciones de sólidos solubles (10, 20 y 30 °Brix) y temperaturas (10, 25 y 40 °C). Se trabajó con estos rangos de concentración de sólidos solubles y temperaturas que son los usualmente empleados en la industria de procesamiento de kiwi. Se determinaron los valores de la viscosidad aparente como la pendiente de los reogramas (esfuerzo de corte versus velocidad de deformación) en cada punto de velocidad de deformación.

### Análisis estadístico

Se realizó un diseño factorial completamente al azar con dos factores (temperatura y concentración) y tres niveles para cada uno de ellos, 10, 25 y 40 °C y 10, 20 y 30 °Brix, respectivamente. Las experiencias se llevaron a cabo por duplicado según un tratamiento simple. El

análisis de los ajustes de los modelos a los resultados experimentales se realizó a través de los parámetros estadísticos de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y  $\alpha = 0,05$  (95%).

Para el tratamiento estadístico se utilizó el programa Statistica versión 7 y el Software Microsoft Excel versión 2007.

## Resultados y discusión

### Caracterización de la pulpa de Kiwi

Los valores de la caracterización fisicoquímica de la pulpa de kiwi se muestran en la Tabla 1. Los valores de pH, acidez total, °Brix y densidad, obtenidos son similares a los reportados por Tapia (2012); Mitchell et al. (1994); MacRae et al. (1992) y Kader (1992). La pulpa de kiwi, tiene una acidez baja y medio-alto contenido en sólidos solubles.

Parámetros	Valores promedios
Acidez (%)	1,29 ±0,04
pH	6,8 ±1,25
Sólidos solubles (°Brix)	9,18 ±1,63
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,27 ±0.06

**Tabla 1. Composición fisicoquímica de la pulpa fresca de kiwi**

### Determinación de parámetros reológicos

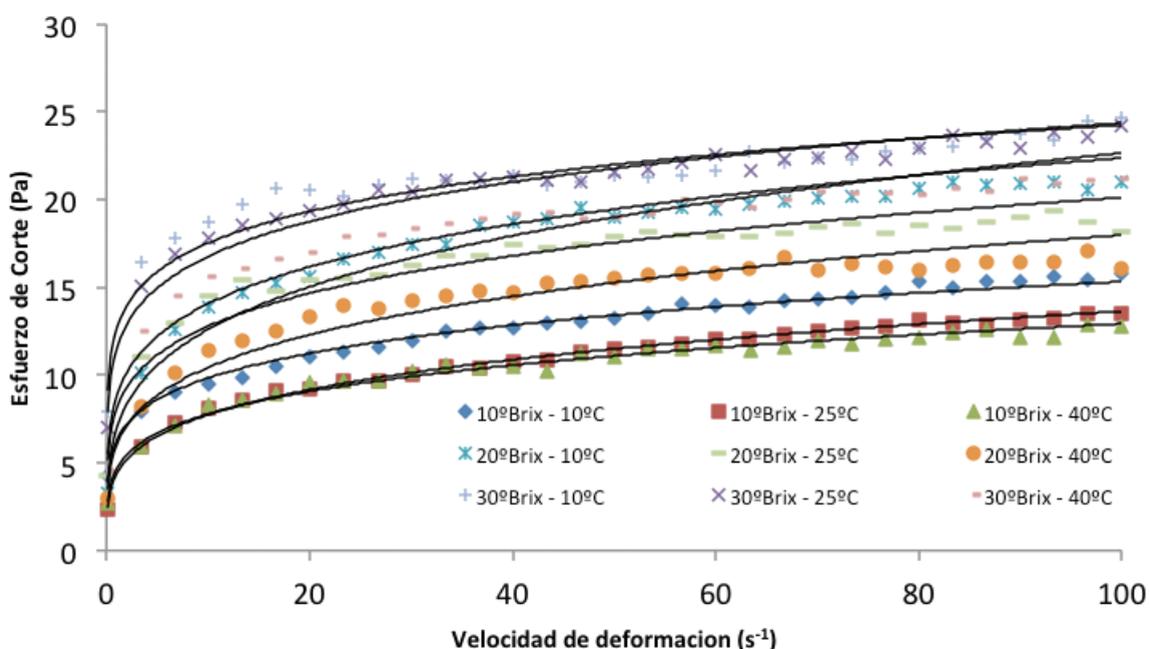
El modelo de la Ley de la Potencia describe satisfactoriamente ( $R^2 \geq 0,966$ ) el comportamiento de flujo de la pulpa de kiwi (Figura 1 y 2). Otros autores han empleado también este modelo en pulpa de níspero (Andrade et al., 2009), pulpa de zapote (Andrade et al., 2010), pulpa de mango (Vidal et al., 2004, Branco y Gasparetto, 2003; Dak et al., 2006, 2007), tomate (Dak et al., 2008.), guayaba (Sánchez et al., 2006), cereza de las indias (Da Silva et al., 2005) jugo de zanahoria pasteurizado (Vandresen et al., 2009) y miel de abeja (Pereira et al., 2003).

El índice de comportamiento de flujo (n) y el índice de consistencia (K) se calcula a partir del modelo de la Ley de la Potencia. Los valores de los parámetros del modelo se presentan en la Tabla 2 para las diversas concentraciones y temperaturas.

La pulpa de kiwi presenta un rango de índice

°Brix	Variables	Temperatura ( °C)		
		10	25	40
10	n	0,193	0,246	0,220
	k	6,303	4,381	4,692
20	n	0,163	0,255	0,236
	k	11,526	7,004	6,057
30	n	0,141	0,202	0,197
	k	12,666	8,834	8,125

**Tabla 2. Parámetros reológicos de la pulpa de kiwi a diferentes temperaturas y concentraciones**



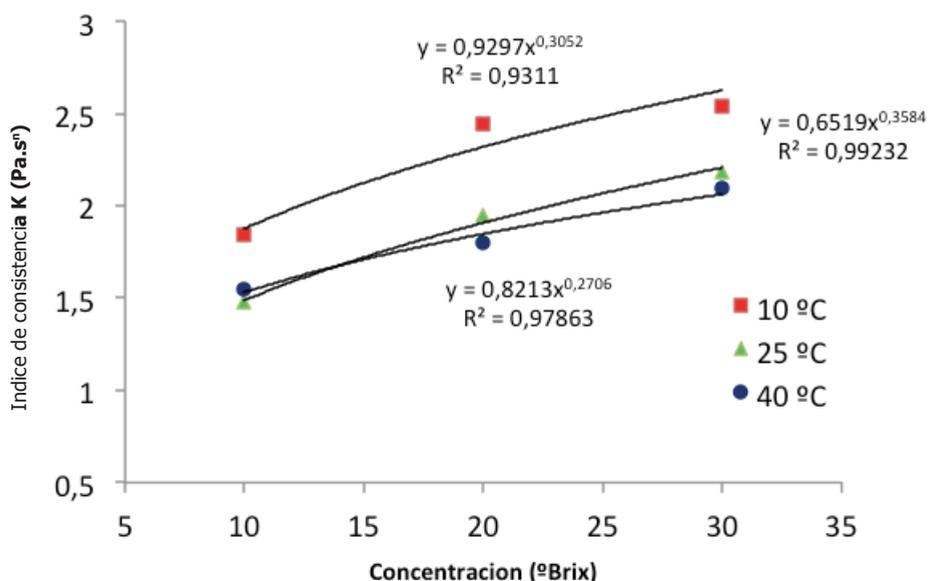
**Fig.1. Reograma de la pulpa de kiwi a diferentes concentraciones y temperaturas**

de comportamiento de flujo ( $n$ ) entre 0,141 - 0,255, inferior a 1, lo que indica que es un fluido no newtoniano con característica pseudoplástica (Molwane y Gunjal, 1985; Torgul y Arslan, 2004; Dak et al, 2006 y 2007). El índice de consistencia ( $K$ ) presentó valores en el intervalo de 4,38 Pa.s<sup>n</sup> a 12,66 Pa.s<sup>n</sup>.

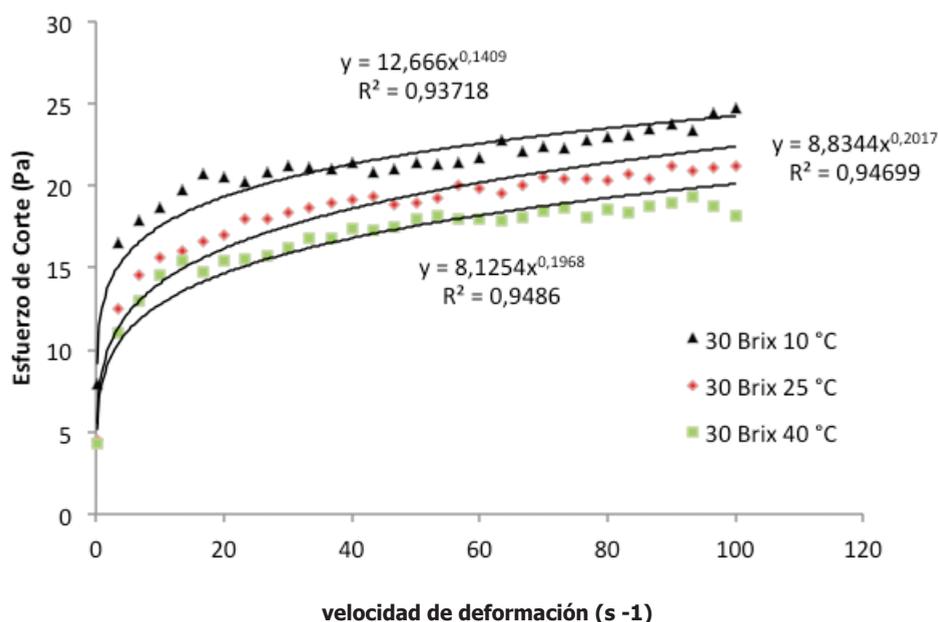
Los fluidos pseudoplásticos fluyen más fácilmente cuando la velocidad de deformación se incrementa, ya que la viscosidad aparente ( $K \gamma^{(n-1)}$ ) se reduce. En la Figura 1 se exhibe este comportamiento que se atribuye a la presencia de sustancias de alto peso molecular en solución y/o a los sólidos dispersos en la fase líquida de la pulpa de kiwi.

La viscosidad aparente de la pulpa de kiwi se incrementa con la disminución de la temperatura, como puede apreciarse en la Figura 2, y disminuye con el aumento de la velocidad de deformación para cada temperatura considerada, facilitando el flujo durante el procesamiento y requiriendo menor potencia para el bombeo (Haminiuk et al., 2006).

En la Figura 3 se aprecia cómo varía el índice de consistencia  $K$ , en función de la concentración y a las distintas temperaturas siguiendo una relación dada por la ecuación (3) (Tabla 3). El índice de consistencia se incrementa a medida que aumenta la concentración de sólidos solubles para las distintas temperaturas 10, 25 y 40 °C. Estos resultados son consistentes con los reportados



**Fig. 2. Ajuste de los datos experimentales de la pulpa de kiwi para una concentración de sólidos solubles de 30 °Brix a 10, 25 y 40 °C de temperatura mediante el modelo de la ley de la potencia**



**Fig. 3. Efecto de la concentración y la temperatura en el índice de consistencia de la pulpa de kiwi**

por otras pulpas o jugos de frutas (Vitali y Rao, 1984, Dack et al., 2008 y Andrade et al., 2009). Asimismo, se aprecia que los valores de índice de consistencia son muy parecidos para las tem-

peraturas de 25 °C y 40 °C, para las diferentes concentraciones en sólidos solubles y bastante distintos a los valores correspondientes a la temperatura de 10 °C.

Temperatura	Kc	a	R <sup>2</sup>
10	0,93	0,305	0,931
25	0,65	0,358	0,992
40	0,82	0,271	0,978

Tabla 3. Valores de Kc y a de la ecuación (3)

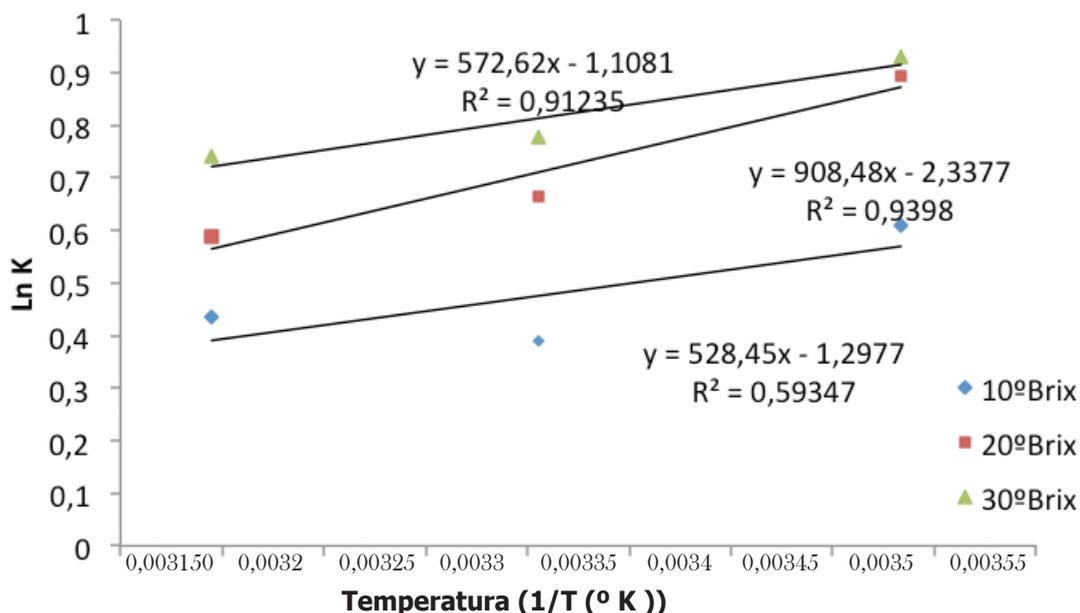


Fig. 4. Aplicación del modelo de Arrhenius a los datos experimentales obtenidos con la pulpa de kiwi

En la Figura 4 se presenta el  $\ln K$  en función de la inversa de la temperatura absoluta ( $1/T$ ) para las diferentes concentraciones de pulpa de kiwi según la ecuación (2).

En la Tabla 4 se detallan los valores de energía de activación calculados para las diferentes concentraciones. Los mismos concuerdan con los reportados para alimentos fluidos por Dak et al. (2008) y Andrade et al. (2009 y 2010).

°Brix	$E_a$ (kJ/mol)
10	4,76
20	7,55
30	4,39

Tabla 4. Energía de activación de flujo de la pulpa de kiwi

En la Tabla 5 se presenta el análisis de varianza del índice de consistencia. El análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha$ , nivel de significación = 0,05), efectuado sobre la variable índice de consistencia,  $K$  (Pa.s<sup>n</sup>) bajo el efecto de la temperatura y la concentración, indican que ambas influyen significativamente, siendo de mayor significancia la concentración (Figura 5).

El efecto de ambas variables (temperatura y concentración) en el índice de consistencia de la pulpa de kiwi se describe mediante un modelo logarítmico como en la ecuación (4). El mismo ajusta satisfactoriamente los datos experimentales para las condiciones estudiadas:

$$\ln(K) = -3,29 + 0,032 \cdot X + 1377,08(1/T(^{\circ}K))$$

$$R^2 = 0,893$$

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Valor p
Concentración (Lineal)	33,84565	1	33,84565	49,16546	0,005957*
Concentración(Cuadrático)	0,96688	1	0,96688	1,40453	0,321293
Temperatura(Lineal)	22,50368	1	22,50368	32,68969	0,010616*
Temperatura(Cuadrático)	4,43216	1	4,43216	6,43832	0,084874
Concentración x Temperatura	2,14666	1	2,14666	3,11833	0,175593
Error	2,06521	3	0,68840		
Total SS	65,96024	8			

\*significancia  $p < 0.05$  ( $\alpha = 95\%$ )

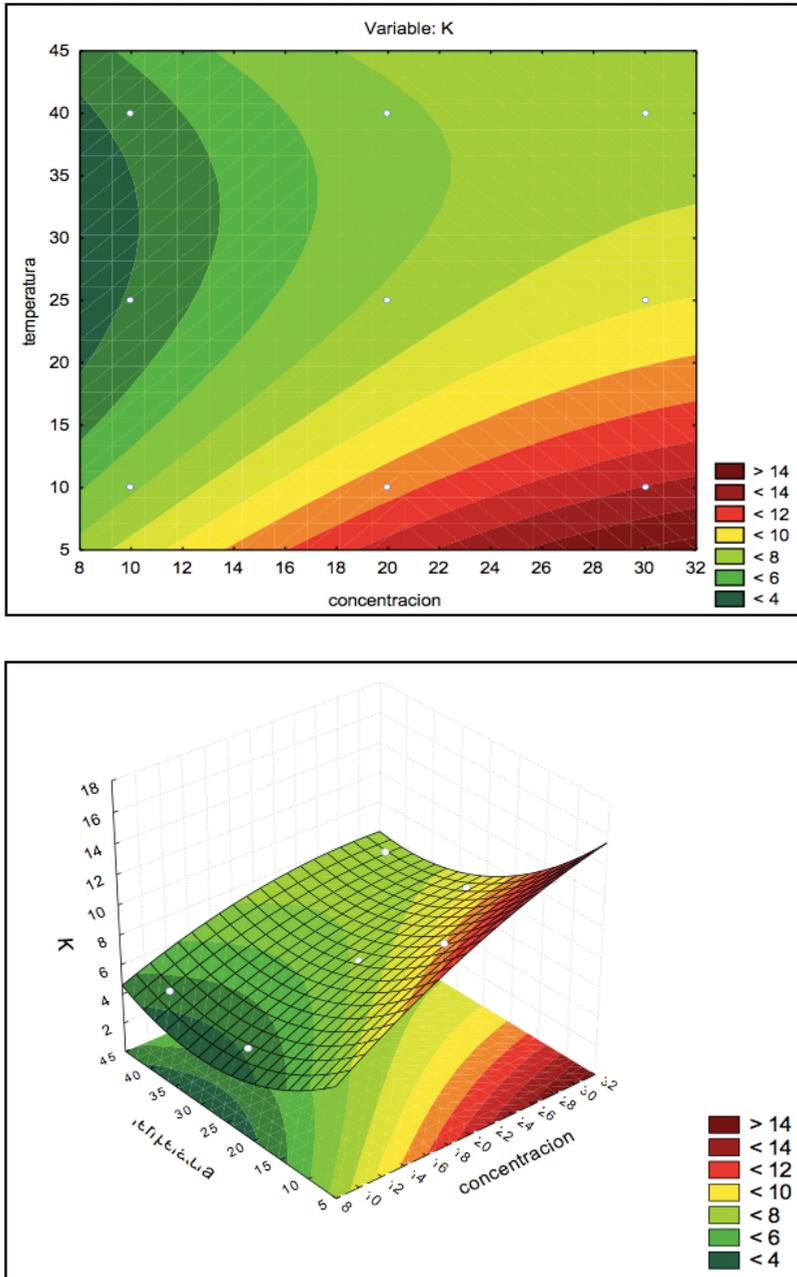
SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

F: Estadístico de Fischer

**Tabla 5. Análisis de varianza del índice de consistencia, K, del diseño factorial**



**Fig. 5. Gráficas de contornos y superficie del índice de consistencia en función de la concentración y la temperatura**

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	-3,292886352	1,12827911	-2,918503344
Variable X	0,032471887	0,00565305	5,744134653
Variable (1/T)	1377,076129	333,686868	4,126851434

**Tabla 6. Coeficientes del modelo, errores típicos y estadístico t de Student**

Fuente	SC	GL	CM	F	Valor p
Regresión	0,959208	2	0,479604	25,01299	0,001228
Residuos	0,115045	6	0,019174		
Total	1,074253	8			

**Tabla 7. Análisis de varianza del modelo**

En la Tabla 6 se presentan los coeficientes del modelo, sus respectivos errores típicos y el estadístico t de Student. En la Tabla 7 se detalla el análisis de varianza del modelo.

## Conclusiones

La pulpa de kiwi tiene una baja acidez y un valor medio-alto en contenido de sólidos solubles (<sup>o</sup>Brix) que la hacen atractiva para la elaboración de diferentes productos tales como néctares, pulpas, salsas y jugos. El estudio de su comportamiento reológico es muy importante para la industria alimenticia ya que nos permite conocer cuáles son los equipos (agitadores,

bombas, etc.) requeridos para la elaboración de los mencionados productos y las demandas energéticas.

La pulpa de kiwi presenta un comportamiento pseudoplástico que puede modelarse muy satisfactoriamente con la Ley de la Potencia en el rango de temperaturas estudiadas. La dependencia del índice de consistencia con la temperatura se describe con una relación tipo de Arrhenius. La consistencia de la pulpa de kiwi aumenta con el incremento en el contenido de sólidos solubles y con la disminución de la temperatura.

## Referencias

- ANDRADE et al. (2010) Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de zapote. Universidad de Córdoba – Colombia. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 33, N° 2.
- ANDRADE et al. (2009) Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero. Revista Facultad Agronómica de la Universidad de Córdoba- Colombia.
- Association of Official Analytical Chemists– AOAC (1997) Official Methods of Analysis, 16th ed, Arlington, Virginia.
- CASTRO, E. y DE HOMBRE MORGADO, R.A. (2007) Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. Universidad de Chile, Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas, departamento de de ciencia de los alimentos y tecnología química. 142 p.
- CERVONE, N.W. and HARPER, J.M. (1978) Viscosity of an intermediate moisture dough. J. Food Process Eng., 2, 83-95.
- CHÁVEZ, S. y FRANCO, H. (1996) Propiedades biomecánicas de los frutos, caso zarzamora. En: IX Curso de Actualización, Frutales con Futuro en el Comercio Internacional. Memorias. México: Fundación Salvador.
- BASCUÑANA, M. (1989) Cultivo de la actinidia-kiwi. Editorial Aedos, S.A., Barcelona.
- BRANCO, I.G. y GASPARETTO, C.A. (2003) Response surface methodology applied to the study of temperature effect on the rheological behavior of ternaries mixtures with mango pulp and orange and carrot juices. Cienc. Tecnol. Aliment. 23 (supl):166– 171
- DA SILVA et al. (2005) Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperature. Cienc. Tecnol. Aliment. 25(1):121-126

- DAK et al. (2008) Rheological Properties of Tomato Concentrate. *International Journal Of Food Engineering* vol. 4-7:11
- DAK et al. (2006) Flow characteristics of juice of "Totapuri" mangoes. *Journal of Food Engineering*, 76, 557-561.
- DAK et al. (2007) Effect of temperature and concentration on rheological properties of "Kesar" mango juice. *J. Food Eng.* 80(4):011-1015.
- FERGUSON, A. R. (1990) *Kiwifruit management*. in: *Small fruit crop management*. Ed. Prentice Hall, New Jersey. p. 472 – 503.
- FERGUSON, I. Y BOYD, L. (2002) Los nutrientes inorgánicos y la calidad de la fruta. pp. 17-46. En: KNEE, M. *Bases biológicas de la calidad de la fruta*. 1ª Edición Editorial Arancibia, Zaragoza, España., 289p.
- GÓMEZ et al. (2003) *Manual de Industrias Lácteas*, Edición: Mundi-Prensa Libros.
- HAMINIUK et al. (2006) Rheological Characterization of Blackberry Pulp. *Braz. J. Food Technol.* 9(4):291-296.
- HOLDSWORTH, S. D. (1971) Applicability of rheological models to the interpretations of flow and processing behavior of fluid food products. *Journal of Texture Studies*, Vol. 2 (1971) 393-418.
- Ibartz, A. (2005) *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos "Tecnología de los Alimentos"* Editor: Mundi-Prensa.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICNT). Norma 695.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). (2013) <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=16975>
- KADER, A.A. (1992) *Postharvest technology horticultural crops*. Publication 3311, University of California, Dir. Agr. Nat. Resources.
- MACRAE et al. (1989) Changes in the softening and composition of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) affected by maturity at harvest and postharvest treatments. *J. Sci. Food Agric.* 49, 413-430.
- MARTÍNEZ et al. (1998) *Termodinámica y cinética de sistemas Alimento Entorno*. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- MITCHELL, F.G. (1994) *Composition, maturity, and quality*. En: *Kiwifruit growing and handling*. Ed. ANR Publications University California, California.
- MOHSENIN, N. N. (1986) *Physical properties of plant and animal materials: structure, physical, characteristics and mechanical properties*. New York: Gordon and Breach Science Publishers. 664 p.
- MOLWANE, S.D. and GUNJAL, B.B. (1985) Viscometric characteristics of cold-break and hot-break extracted tomato juice concentrates. *J. Food Sci. Technol.*, 22, 353-357
- ORREGO, C. (2003) *Procesamiento de Alimentos*. Universidad Nacional de Colombia.
- PEREIRA, E.; QUEIROZ, A. y FEITOSA, R. (2003) Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melíponascutellaris*, L.). *Rev. ciênc. Exatas nat.* 5(2):179-186.
- SÁNCHEZ et al. (2002) Estudio de Fluidos no newtonianos con los métodos de volúmenes y elementos finitos. *Revista de Ingeniería*. Universidad de Santiago de Chile.
- SÁNCHEZ et al. (2006) Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (*Psidium Guajaba* L.), Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal. Universidad de Zaragoza (España), <http://www.horticom.com/pd/imagenes/66/391/66391.pdf>
- TAPIA DURÁN, M. (2012) Estudio de factores fisiológicos del kiwi (*Actinidia deliciosa*) variedad Hayward, y sus efectos en la textura durante el almacenamiento. <http://www.tesis.uchile.cl/handle/2250/112182>
- TORGUL, H. y ARSLAN, N. (2004) Mathematical model for prediction of apparent viscosity of molases. *Journal of Food Engineering*, 62, 281-289.
- SCHWARTZBERG, H. (1990) Food freeze concentration. In H. G. Schwartzberg, & M. A. Rao *Biotechnology and food process engineering*, p. 127-202.
- VANDRESEN et al. (2009) Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *J. Food Eng.* 92 (3):269-274.
- VELEZ-RUIZ, J.F. y BARBOSA-CANOVAS, G.V. (1997) Effect of concentration and temperature on the rheology of American Society of Agricultural Engineers, 40 (4) , 1113-1117.
- VIDAL, J.; PELEGRINE, D. y GASPARETTO, C. (2004) Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* LKeitt) *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 24 (1):39-42.
- 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, 882-888.