

Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero (*Achras sapota* L.)

Temperature effect on the rheological behavior of sapodilla (*Achras sapota* L.) pulp

R.D. Andrade^{1*}, R. Torres¹, E.J. Montes¹,
O.A. Pérez¹, L.E. Restan² y R.E. Peña²

¹Departamento de Ingeniería de alimentos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería Kra 6 N° 76-103, Colombia

²Ingeniería de alimentos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.

Resumen

El níspero (*Achras sapota* L.) es una fruta exótica, de gran consumo por su sabor y aroma agradable. Sin embargo es una fruta que no ha sido ampliamente utilizada para el procesamiento industrial. En este trabajo se determinó el efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de níspero en el intervalo de 10°C a 70°C. La pulpa de níspero fue obtenida en la planta piloto de frutas y hortalizas de la Universidad de Córdoba sede Berástegui (Colombia), mediante refinadora de malla de abertura 1,5 mm, se empacaron en bolsas herméticas y posteriormente se refrigeraron a 4°C. Las medidas reológicas fueron determinadas en un viscosímetro Brookfield modelo DV-II + Pro. La pulpa de níspero fue descrita adecuadamente por el modelo de la ley de potencia exhibiendo un comportamiento pseudoplástico, sin presencia de tixotropía. La temperatura no influyó significativamente en el índice de comportamiento al flujo (n), pero sí sobre el índice de consistencia (k), sin embargo no se ajustó al modelo de Arrhenius.

Palabras clave: pulpa de níspero, reología, pseudoplástico, ley de potencia, modelo de Arrhenius.

Abstract

Sapodilla (*Achras Sapota* L.) is an exotic fruit, which is very consumed for its nice taste and appetizing. However, it is a fruit that has not been widely used in industrial processing. In this work, the temperature effect on the rheological behaviour of sapodilla pulp in the interval from 10°C to 70°C was

Recibido el 9-3-2009 ● Aceptado el 25-6-2009

^{1*}Autor de correspondencia e-mail: randrade@sinu.unicordoba.edu.co;
ricardoandradep@yahoo.com

determined. The sapodilla pulp was obtained from the Pilot Plant of Fruit and Vegetables, University of Cordoba, in Berastegui (Colombia), through net refinery 1.5 mm opening; they were packed into hermitic bags and subsequently refrigerated to 4°C. The rheological measurements were determined in a DV-II +Pro model Brookfield viscometer. The medlar pulp was adequately described by the power law model and showed shear thinning behaviour, it did not present tixotropic. Temperature did not influence significantly in flow behaviour index (n), but on the consistency index (k), nevertheless it did not adjust to the Arrhenius model.

Key words: sapodilla pulp, rheology, pseudo plastic, power law, Arrhenius model.

Introducción

El Níspero común (*Achras sapota* L), es una fruta ampliamente conocida en países como México, Guatemala, Belice, Venezuela y Estados Unidos, donde se cultiva comercialmente, con amplio valor económico (Espinal *et al.*, 2006). Es un fruto exótico y apetitoso, posee carbohidratos (20,8%), minerales (hierro, fósforo, entre otros), ácidos orgánicos (ácido ascórbico) y vitaminas. A partir de la pulpa se pueden obtener ensaladas, jugos, compotas, vinagre, helados y/o añadirse a panes y tortas (Pajajoy *et al.*, 2003).

La reología de las pulpas y jugos tiene una gran importancia en la industria del procesamiento de frutas, incluyendo aplicaciones tecnológicas, sensoriales y de ingeniería, como, por ejemplo, proyectos de bombas, tuberías, intercambiadores de calor y tanques de mezclado (Torrallés *et al.*, 2006). Estos estudios han sido considerados como una herramienta analítica para proveer información fundamental de la estructura de los alimentos y juega un papel importante en la transferencia de calor a los flu-

Introduction

Common sapodilla (*Achras sapota* L.), is a widely known fruit in countries like México, Guatemala, Belice, Venezuela and United States, where is commercially cultivated, with wide economical value (Espinal *et al.*, 2006). It is an exotic and delicious fruit; it has carbohydrates (20.8%), minerals (iron, phosphorous among other), organic acids (ascorbic acid) and vitamins. Salads, juices, preserves, vinegar, ice creams can be obtained from pulp and/or be added to breads and cakes (Pajajoy *et al.*, 2003).

Rheology of pulps and juices has a high importance on the fruits processing industry, including technological applications, sensorial and of engineering, like for instance, bombs projects, pipes, heat exchangers and mixing tanks (Torrallés *et al.*, 2006). These studies have been considered like an analytical tool to supply basic information of foods structure and play an important role on heat transfer to the fluxes. The rheological properties of foods are strongly

jos. Las propiedades reológicas de los alimentos están fuertemente influenciadas por la temperatura, concentración y estado físico de dispersión (Ahmed *et al.*, 2007).

El modelo matemático más utilizado para la caracterización reológica es el de la ley de potencia (Ec. 1) debido a su gran aplicabilidad, donde se relaciona la fuerza de cizallamiento con la variación del gradiente de cizalla (Torrallés *et al.*, 2006). Este modelo ha sido utilizado para describir el comportamiento reológico de la pulpa de mango (*Mangífera indica* L-Keitt) centrifugado de 10°C a 60°C (Vidal *et al.*, 2004), pulpa de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) de 25°C a 60°C (Nindo *et al.*, 2007) y miel de abeja de 10°C a 50°C (Pereira *et al.*, 2003).

$$\tau = K \gamma^n \quad (\text{Ec. 1})$$

donde: τ es el esfuerzo cortante, γ es el gradiente de cizalla, K es el índice de consistencia y n es el índice de comportamiento al flujo.

Los alimentos consumidos están sometidos continuamente a cambios de temperatura. Empezando por el proceso de elaboración y pasando por los periodos de transporte y almacenamiento, donde las condiciones de temperatura a que son sometidos los alimentos pueden variar notablemente. Por este motivo es muy importante conocer sus propiedades reológicas en función de la temperatura. Son muchos los autores que en sus investigaciones correlacionan el efecto que la temperatura ejerce sobre la viscosidad mediante una ecuación de tipo Arrhenius (Haminiuk *et al.*, 2006; Garza, 1999).

influenced by temperature, concentration and physical stage of dispersion (Ahmed *et al.*, 2007).

The Power Law (Ec. 1) is the mathematic model more used for the rheological characterization because it has great adaptability, where the shearing force is related with the variation of shear gradient (Torrallés *et al.*, 2006). This model have been used to describe rheological behavior of mango (*Mangífera indica* L-Keitt) pulp, centrifuged from 10°C to 60°C (Vidal *et al.*, 2004), blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) pulp, from 25°C to 60°C (Nindo *et al.*, 2007) and honey, from 10°C to 50°C (Pereira *et al.*, 2003).

$$\tau = K \gamma^n \quad (\text{Ec. 1})$$

where: τ is shear stress, γ is the shear gradient, K is the consistence index and n is the flux behavior index.

Foods consumed are continuously submitted to temperature changes, beginning by the making process and passing through the transport and storage periods, where temperature conditions can vary in a notable way. It is very important to know its rheological properties as a temperature function. There are many researchers that correlate the effect that temperature exerts on the viscosity through an equation of Arrhenius type (Haminiuk *et al.*, 2006; Garza, 1999).

The effect of temperature on rheological parameters is generally described with a lineal model for the flux behavior index (Ec. 2) and an equation of Arrhenius (Ec. 3) type, for the consistence index (Vidal *et al.*, 2004).

$$n = a + bT \quad (\text{Ec. 2})$$

El efecto de la temperatura sobre los parámetros reológicos se describe generalmente con un modelo lineal para el índice de comportamiento al flujo (Ec. 2) y una ecuación tipo Arrhenius (Ec. 3) para el índice de consistencia (Vidal *et al.*, 2004).

$$n = a + bT \quad (\text{Ec. 2})$$

$$k = A \cdot e^{\frac{Ea}{RT}} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde: a y b, son constantes que se determinan experimentalmente, T es la temperatura absoluta (K), R es la constante de los gases (8,314 J. mol⁻¹ K⁻¹), Ea es la energía de activación al flujo (J. mol⁻¹) y A es una constante del material (Pa.sⁿ).

El objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento reológico y el efecto de la temperatura sobre los parámetros de flujo de la pulpa de níspero.

Materiales y métodos

Materia prima

Los frutos de níspero utilizados provenían del corregimiento de Retiro de los indios (Cereté, Córdoba, Colombia), en estado de madurez comercial y libre de daños mecánicos.

Obtención de la pulpa

Los frutos de níspero seleccionados, se lavaron y escaldaron a 90°C por 5 minutos. Las pulpas se obtuvieron mediante refinadora de malla de abertura 1,5 mm, se empacaron en bolsas herméticas y posteriormente se refrigeraron a 4°C.

Análisis fisicoquímico de la pulpa de níspero

En la pulpa de níspero se deter-

$$k = A \cdot e^{\frac{Ea}{RT}} \quad (\text{Ec. 3})$$

where: a and b are constant determined in an experimental way, T is the absolute temperature (K), R is the gases constant (8,314 J. mol⁻¹ K⁻¹), Ea is the energy of activation to flux (J. mol⁻¹) y A is a constant of material (Pa.sⁿ).

The objective of this study was to determine the rheological behavior and the effect of temperature on the flux parameters of sapodilla pulp.

Materials and methods

Raw material

Sapodilla fruits used came from "Corregimiento de Retiro de los Indios" (Cereté, Córdoba, Colombia), in commercial ripening stage and mechanical damages free-off.

Pulp obtaining

Sapodilla fruits selected were washed and scalded to 90°C during 5 minutes. Pulpes were obtained through opening mesh refiner of 1.5 mm, they were packed in hermetic bags and later frozen to 4°C.

Physical and chemical analysis of sapodilla pulp

pH was determined in sapodilla pulp through the method 970.21 (AOAC, 1997) with a potentiometer mark Mettler Toledo, model GmbH; the titrable total acidity, method 942.15 (AOAC, 1997), expressed in percentage of citric acid and the total soluble solids directly in a refractometer mark Mettler Toledo, model 30 px.

Rheological measurements

Methodology described according protocols of viscometer

minó el pH por el método 970,21 (AOAC, 1997) con un potenciómetro marca Mettler Toledo, modelo GmbH; la acidez total titulable, método 942,15 (AOAC, 1997), expresado en porcentaje de ácido cítrico y los sólidos solubles totales directamente en un refractómetro marca Mettler Toledo, modelo 30 px.

Medidas reológicas

Se empleó la metodología descrita según los protocolos de preparación de muestra del viscosímetro de referencia Brookfield modelo DV-II + Pro; tomando 400 mL de muestra de la pulpa de níspero y colocándola en un Beaker de 600 mL. Seleccionando la aguja adecuada del viscosímetro teniendo en cuenta que el porcentaje de torque estuviera entre 10 y 100%, se colocó la muestra en el equipo y se realizó una corrida en forma ascendente (0 a 100 rpm) manteniendo por 5 minutos la muestra a la máxima velocidad (100 rpm) y otra en forma descendente (100 a 0 rpm), determinando la viscosidad aparente para cada velocidad rotacional. Este procedimiento se efectuó para cada temperatura (10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70°C).

Para establecer el comportamiento tixotrópico de la pulpa de níspero, los datos de velocidad de rotación (rpm) y viscosidad aparente se analizaron estadísticamente por medio de análisis de varianza para determinar si había diferencias significativas entre las curvas de ascenso y descenso de cada uno de los tratamientos.

El gradiente de cizalla fue obtenido a partir de la velocidad rotacional (Ec. 4), por medio del método aplica-

sample preparation Brookfield reference, model DV-II + Pro; taking 400 mL of sapodilla pulp sample and placing on a Beaker of 600mL. Selecting the adequate needle of viscometer and taking into account that torque percentage was between 10 and 100%, sample was placed in the equipment and a run in ascendant way was done (0 to 100 rpm) keeping the sample during 5 minutes to the maximum speed (100 rpm) and other in descendent way (100 to 0 rpm), determining the apparent viscosity for each rotational speed. This procedure was carried out for each temperature (10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70°C).

To establish the thixotropic behavior of sapodilla pulp, data of rotation speed (rpm) and apparent viscosity were statistically analyzed through the analysis of variance to determine if there were significant differences between the rise and fall curves of each treatment.

The shear gradient was obtained from the rotational speed (Ec. 4), through the method applied by Mistchka (Briggs and Steffe, 1997).

$$\gamma = \left(0.263 \left(n \right)^{-0.771} \right) N \quad (\text{Ec. 4})$$

where γ is the shear gradient in units of s^{-1} , N is the rotation speed in min^{-1} and n is the index of behavior to fluid.

The effect of temperature was defined by a lineal model for the relationship with the index of behavior to fluid (Ec. 2) and of Arrhenius type for the relationship with the index of consistence (Ec. 3).

do por Mistchka (Briggs y Steffe, 1997).

$$\gamma = \left(0.263 \left(n \right)^{-0.771} \right) N \quad (\text{Ec. 4})$$

donde γ es el gradiente de cizalla en unidades de s^{-1} , N es la velocidad de rotación en min^{-1} y n es el índice de comportamiento al flujo.

El efecto de la temperatura fue definido por medio de un modelo lineal para la relación con el índice de comportamiento al fluido (Ec. 2) y de tipo Arrhenius para la relación con el índice de consistencia (Ec. 3).

Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar con un solo factor y siete niveles (10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70°C) con tres repeticiones por tratamiento bajo una estructura de tratamiento simple. Los datos obtenidos de viscosidad aparente y velocidad de rotación, fueron ajustados al modelo de ley de Potencia. 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 las pruebas de validación de supuestos para cada uno de ellos, utilizando el programa estadístico SAS versión 8.0 (SAS, 1999).

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímico de la pulpa de níspero

Los datos de los análisis fisicoquímicos (cuadro 1) son similares a los publicados por Pajajoy *et al.* (2003) y De Paula (2004). Sin embargo los valores de pH más bajos y de acidez titulable según lo indicado por De Paula

Statistical analysis

A totally at random design was made with an only factor and seven levels (10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70°C) with three replications for treatment by following a simple treatment structure. Data obtained from apparent viscosity and rotation speed, were adjusted to the Power Law model. The analysis of models adjustments to the experimental results was accomplished through the statistical parameters of determination coefficient (R^2) and the test of suppose validations for each one of them, by using the statistical program SAS version 8.0 (SAS, 1999).

Results and discussion

Physical chemical analysis of saponilla pulp

Data of physic chemical analysis (table 1) are similar to those published by Pajajoy *et al.* (2003) and De Paula (2004), nevertheless, the lower pH and titrable acidity values according to De Paula (2004), is probably due to the pulp showed an early fermentation by the microbial activity.

Rheological behavior of saponilla pulp

The analysis of variance carried out to the variable of apparent viscosity (Pa.s) for rise and fall data, shows that there are no significant differences between the rise and fall curves with a reliability level of 95%. Thus, the saponilla pulp shows a behavior to the independent flux of time, which can be due to there was no breaking of fluid during the experiment, so, there is no a significant variation of the apparent viscosity with the application time.

(2004), se puede deber a que la pulpa presentó una fermentación temprana ocasionada por actividad microbiana.

Comportamiento reológico de la pulpa de níspero

El análisis de varianza efectuado a la variable de viscosidad aparente (Pa.s) para los datos de ascenso y descenso, indican que no existen diferencias significativas entre las curvas de ascenso y descenso con un nivel de confianza del 95%. Esto quiere decir que la pulpa de níspero presenta un comportamiento al flujo independiente del tiempo, lo cual se puede deber a que no se presentó ruptura del fluido ocurrido durante el experimento, por lo tanto no existe una variación significativa de la viscosidad aparente con el tiempo de aplicación.

El modelo de ley de potencia describe adecuadamente ($R^2 \geq 0,981$) el comportamiento de flujo de la pulpa de níspero (cuadro 2). Este modelo ha sido utilizado para describir el comportamiento al flujo de diversos productos como pulpa de mango (Vidal *et al.*, 2004, Branco y Gasparetto, 2003; Dak *et al.*, 2006; Dak *et al.*, 2007.), 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).

The power law model describes ($R^2 \geq 0.981$) the flux behavior of sapodilla pulp (table 2). This model have been used to describe the flux behavior of diverse products as mango pulp (Vidal *et al.*, 2004, Branc and Gasparetto, 2003; Dak *et al.*, 2006; Dak *et al.*, 2007.), guava (Sánchez *et al.*, 2006), Indian cherry (Da Silva *et al.*, 2005) pasteurized carrot juice (Vandresen *et al.*, 2009) and natural bee honey (Pereira *et al.*, 2003).

The sapodilla pulp shows flow behavior indexes (n) lower than one (0.119 to 0.224), which indicates that it is a pseudo plastic fluid. The consistence index (k) showed values in the interval of 77.51 Pa*sⁿ to 129.19 Pa*sⁿ; these values shows the high viscosity of sapodilla pulp, if compare with values found in the mango pulp 16.6°Brix of 3.41 Pa*sⁿ to 4.57 Pa*sⁿ, in the interval of 10°C to 60°C (Vidal *et al.*, 2004), in the papaya pulp of 12 to 51°Brix of 0.7 Pa*sⁿ to 15.3 Pa*sⁿ in the interval of 25°C a 55°C (Telis *et al.*, 2003). Nevertheless, values of flow behavior (n) for pulps mentioned (0.240 > n > 0.154) are similar to sapodilla pulp. This is caused by the different nature of product and physic chemical and structural characteristics of pulp.

Cuadro 1. Composición fisicoquímica de la pulpa de níspero.

Table 1. Physical and chemical composition of sapodilla pulp.

Parámetro	Promedio
pH	5,36 ± 0,16
Sólidos solubles (°Brix)	17,5 ± 0,01
Acidez Titulable (%)	0,11 ± 0,006

Cuadro 2. Parámetros de la ley de Potencia para la pulpa de níspero.**Table 2. Parameters of Power Law for the sapodilla pulp.**

Temperatura, °C	k (Pa*s ⁿ)	n	R ²
10	122,92	0,190	0,994
20	79,86	0,221	0,981
30	78,54	0,223	0,981
40	77,51	0,224	0,981
50	92,16	0,176	0,986
60	97,12	0,166	0,988
70	129,19	0,119	0,995

La pulpa de níspero presenta índices de comportamiento al flujo (n) menor que uno (0,119 a 0,224), lo que indica que es un fluido pseudoplástico. El índice de consistencia (k) presentó valores en el intervalo de 77,51 Pa*sⁿ a 129,19 Pa*sⁿ; estos valores muestran la alta viscosidad de la pulpa de níspero, si se comparan con los valores encontrados en la pulpa de mango a 16,6°Brix de 3,41 Pa*sⁿ a 4,57 Pa*sⁿ, en el intervalo de 10°C a 60°C (Vidal *et al.*, 2004), en la pulpa de papaya de 12 a 51°Brix de 0,7 Pa*sⁿ a 15,3 Pa*sⁿ en el intervalo de 25°C a 55°C (Telis *et al.*, 2003). Sin embargo, los valores de índice de comportamiento al flujo (n) para las pulpas mencionadas ($0,240 > n > 0,154$) son similares a los de la pulpa de níspero. Todo esto obedece a la diferente naturaleza del producto y características fisicoquímicas y estructurales de la pulpa.

Desde el punto de vista industrial, la disminución en la viscosidad de la pulpa de níspero con el gradiente de cizalla facilitaría el flujo y el intercambio de calor durante el procesa-

From the industrial point of view, decrease on viscosity of sapodilla pulp with the shear gradient would facilitate flow and heat exchange during processing. Fluids with lower viscosity have the lower head losses during flow, giving as a result little energy request for the process (Haminiuk *et al.*, 2006).

The effort graphic representation as a function of shear gradient adjusted by the model of power law, are showed in figure 1. The rheogram of sapodilla pulp in temperatures of 20 to 70°C are similar; it can be observed that for a fixed value of shear gradient, the value of cutting effort is likely inside of this temperature exchange. This behavior was also observed in guava pulp (Ferreira *et al.*, 2002). On the other hand, a change on interval of 10 to 20°C was observed, similar to those observed in carrot pulp (Haminiuk *et al.*, 2006) for the same temperature interval and in the mango pulp (Vidal *et al.*, 2004) for temperature interval of 20 to 30°C, which can be explained by a possible increase on mobility and consequent interaction between suspended fibers.

miento. Se conoce que los fluidos con más baja viscosidad tienen la más bajas pérdidas de cabeza durante el flujo, resultando en poca demanda de energía para el proceso (Haminiuk *et al.*, 2006).

La representación gráfica del esfuerzo cortante en función del gradiente de cizalla, ajustados por el modelo de la ley de potencia, son representados en la figura 1. Los reogramas de la pulpa de níspero en las temperaturas de 20 a 70°C son similares, puede observarse que para un valor fijo de gradiente de cizalla, el valor de esfuerzo cortante es parecido dentro de este intervalo de temperatura. Este comportamiento también fue observado en la pulpa de guayaba integral (Ferreira *et al.*, 2002).

Effect of temperature on the flux index and consistence index

The analysis of variance showed that there are not significant differences, $P \leq 0.05$ (table 3) in relation to the effect of temperature on the flow behavior index (n). This agrees with those observed for the mango juice kesar (Dak *et al.*, 2007), the mango juice totapuri (Dak *et al.*, 2006) and for the carrot pulp (Haminiuk *et al.*, 2006).

The flow behavior index (n) did not show a well defined tendency with variation of temperature, and it is not adjusted to the lineal model ($R^2 = 0.54$), but in the interval of 10°C to 40°C, shows an increase of 17.9% (0.190 until 0.224), by losing pseudo plasticity because n value increases.

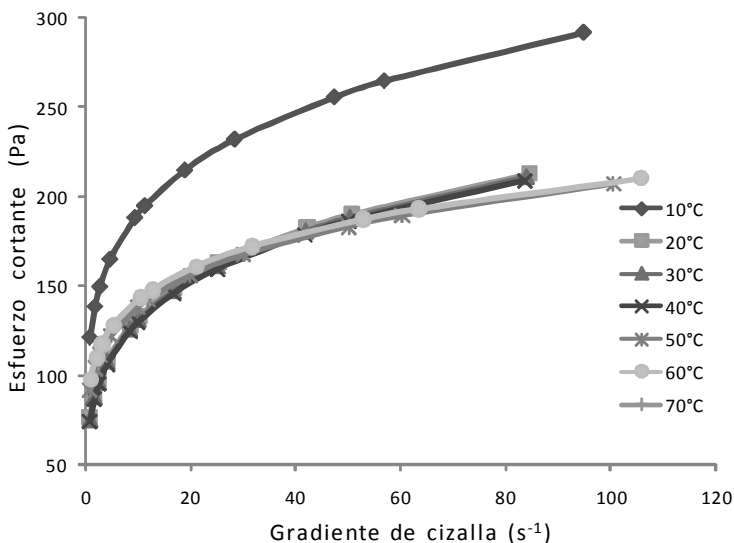


Figura 1. Reograma de la pulpa de níspero a diferentes temperaturas (10 a 70°C).

Figure 1. Rheogram of sapodilla pulp to different temperature (10 to 70°C).

Por otra parte, se observó un cambio en el intervalo de 10 a 20°C, similar al observado en la pulpa de zarzamora (Haminiuk *et al.*, 2006) para este mismo intervalo de temperatura y en la pulpa de mango integral (Vidal *et al.*, 2004) para el intervalo de temperatura de 20 a 30°C, lo cual puede ser explicado por un posible aumento de movilidad y consecuente interacción entre fibras suspendidas.

Efecto de la temperatura en el índice de flujo e índice de consistencia

El análisis de varianza mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas, $P \leq 0,05$ (cuadro 3) en lo que se refiere al efecto que tiene la temperatura sobre el índice de comportamiento al flujo (n). Esto concuerda con lo obtenido para el jugo de mango kesar (Dak *et al.*, 2007), el jugo de mango totapuri (Dak *et al.*, 2006) y para la pulpa de zarzamora (Haminiuk *et al.*, 2006).

El índice de comportamiento al flujo (n) no presentó una tendencia bien definida con la variación de la temperatura, ni se ajusta al modelo lineal ($R^2 = 0,54$), pero en el intervalo de 10°C a 40°C, presenta un aumento

Nevertheless, in the interval of 40°C to 70°C showed a decrease of 37.4%, by showing a high pseudo plasticity when temperature increases. This can be explained because thermic treatment compromises the chemical structure changing the physic and chemical characteristics of pulp (Pagan, 1999).

The analysis of variance (table 4) for the consistence index (k) showed significant statistically differences ($P \leq 0.05$). The means comparison test by Tukey for the consistence index (table 5) shows that the consistence index to 10°C is different to the rest of temperatures.

The influence of temperature on the consistence index (k) was not adjusted to Arrhenius model ($R^2 = 0.28$). In the interval of 10°C to 40°C, the consistence index shows a decrease, however, in the interval of 40°C to 70°C, this parameter increases. The same behavior is shown by the mango pulp (Vidal *et al.*, 2006). It is possible that sapodilla pulp loss moisture because agitation, causing that water molecules be guided in direction to flow, moving toward the surface and consequently, the

Cuadro 3. Análisis de varianza para el índice de comportamiento al flujo (n).

Table 3. Analysis of variance for the flow behavior index (n).

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Intercept	1	0,739	0,739	308,01	<0,000000
T	6	0,031	0,005	2,14	0,113336
Error	14	0,034	0,002		

de 17,9% (0,190 hasta 0,224), perdiendo pseudoplasticidad debido a que el valor de n aumenta. Sin embargo, en el intervalo de 40°C a 70°C, presentó una disminución de 37,4%, indicando mayor pseudoplasticidad a medida que aumenta la temperatura. Esto se puede explicar por el hecho de que el tratamiento térmico compromete la estructura química cambiando las características fisicoquímicas de la pulpa (Pagan, 1999).

Para el índice de consistencia (k) el análisis de varianza (cuadro 4) mostró diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$). La prueba de comparación de medias de Tukey para el índice de consistencia (cuadro 5), muestra que el índice de consistencia a 10°C, es diferente a las demás temperaturas.

La influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia (k) no se ajustó al modelo de Arrhenius ($R^2 = 0,28$). En el intervalo de 10°C a 40°C, el índice de consistencia presenta una disminución, sin embargo, en el intervalo de 40°C a 70°C, este parámetro aumenta. Igual comportamiento presenta la pulpa de mango (Vidal *et al.*, 2006). Es posible que la pulpa de níspero haya perdido humedad, debido a la agitación, provocando que las

consistence index be compromised, which is related to the physic and chemical characteristics of pulp. In the no Newtonian consistence index of foods fluids, thermic treatment shows a high effect than for the flow behavior index (Vidal *et al.*, 2006).

Conclusions

The apparent viscosity of sapodilla pulp had not a change caused by the cutting effect respect to time, by showing that this does not show a thixotropic behavior.

The behavior of sapodilla pulp in the interval of temperature of 10°C to 70°C is represented by the potency law, showing a pseudo plastic behavior because the decrease of apparent viscosity when shear gradient increases.

The temperature does not exert a significant influence on the flow behavior index (n), while in the consistence index (k) has. But this did not show an adequate adjust to the Arrhenius model in relation to the consistence index (k).

To makes easier the flow and the heat exchange during processing of sapodilla pulp, have o be carried out at a temperature between 20 and

Cuadro 4. Análisis de varianza para el índice de consistencia (K).

Table 4. Analysis of variance for the consistent index (K).

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Intercept	1	1.518.693	1.518.693	719,31	<0,000
T	6	103.185	17.197	8,15	<0,000634
Error	14	29.558	2.111		

Cuadro 5. Test de Tukey para el índice de consistencia (K).

Table 5. Tukey test for consistent index (K).

T	10	20	30	40	50	60	70
10		0,003826	0,003430	0,003736	0,001202	0,000973	0,001091
20	0,003826		1,000000	1,000000	0,990089	0,975880	0,985113
30	0,003430	1,000000		1,000000	0,993953	0,983632	0,990464
40	0,003736	1,000000	1,000000		0,991058	0,977758	0,986438
50	0,001202	0,990089	0,993953	0,991058		0,999999	1,000000
60	0,000973	0,975880	0,983632	0,977758	0,999999		1,000000
70	0,001091	0,985113	0,990464	0,986438	1,000000	1,000000	

moléculas de agua se orienten en dirección del flujo, desplazándose a la superficie y por consiguiente se vea comprometido el índice de consistencia, el cual está muy relacionado con las características fisicoquímicas de la pulpa. En el índice de consistencia de fluidos alimentarios no newtonianos, el tratamiento térmico presenta un mayor efecto que para el índice de comportamiento al flujo (Vidal *et al.*, 2006).

Conclusiones

La viscosidad aparente de la pulpa de níspero no tuvo un cambio ocasionado por el esfuerzo cortante con respecto al tiempo, indicando que ésta no presenta un comportamiento tixotrópico.

El comportamiento de la pulpa de níspero en el intervalo de temperatura de 10°C a 70°C está representado por la ley de potencia, presentando un comportamiento pseudoplástico debido a la disminución de la viscosidad aparente a medida que aumenta el gradiente de cizalla.

La temperatura no ejerce una influencia estadísticamente significativa sobre el índice de comportamiento al flujo (n), mientras que en el índice de consistencia (k) si ejerce una influencia. Pero ésta no presentó un ajuste adecuado al modelo de Arrhenius frente al índice de consistencia (k).

Para facilitar el flujo y el intercambio de calor durante el procesamiento de la pulpa de níspero, este se debe realizar a una temperatura entre 20 y 70°C, debido a que en este in-

tervalo se presentan valores de viscosidad aparente menores que a 10°C.

End of english version

tervalo se presentan valores de viscosidad aparente menores que a 10°C.

Literatura citada

- Ahmed, J., H. Ramaswamy y K. Sashidhar. 2007. Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. *Food Sci. Technol.-LEB.* 40 (2):225-231.
- AOAC. 1997 Association of Official Analytical Chemists—AOAC, Official Methods of Analysis, 16th ed, Arlington, Virginia.
- Branco, I.G. y C.A. Gasparetto. 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. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 23 (supl):166–171
- Briggs, J. y L. Steffe. 1997. Using brookfield data and the mitschka method to valuate power law foods. *J. Texture Stud.* 28 (5):517-522.
- Dak, M., R.C. Verma y G.P. Sharma. 2006. Flow characteristics of juice of "Totapuri" mangoes. *J. Food Eng.* 76(4):557-561.
- Dak, M., R.C. Verma y S.N.A. Jaaffrey. 2007. Effect of temperatura and concentration on rheological properties of "Kesar" mango juice. *J. Food Eng.* 80(4):011-1015.
- Da Silva, F., D. Guimaraes y C. Gasparetto. 2005. Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperature. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 25(1):121-126

- De Paula, C.D., Y.I. Pastrana, L.A. Lora y A.J. Guardo. 2004. Efectos de aplicación de métodos químicos y físicos para transformación industrial de pulpa de níspero (*Achras sapota* L.) I. Características fisicoquímicas. Revista Temas Agrarios. 9(2):3-22.
- Espinal, C., H. Martínez y Y. Peña. 2006. La cadena de los frutales de exportación en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrociencias. Documento de trabajo No. 67.1-68p.
- Ferreira, G., A.J. de Melo, R.S. da Conceição y C.A. Gasparetto. 2002. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. Rev. ciênc. exatas nat.. 4(2):175-184.
- Garza, S. 1999. Caracterización reológica, microbiológica y cinéticas de deterioro en. cromogenado de melocotón. Tesis doctoral de la Universitat de Lleida (1996). Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. Alicante, España. 1-174 p.
- Haminiuk, C., M. Sierakowski, D. Izidoro y M. Masson. 2006. Rheological Characterization of Blackberry Pulp. Braz. J. Food Technol. 9(4):291-296.
- Nindo, C., J. Tang, J. Powers y P. Taknar. 2007. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. LWT- Food Science and Technology. 40 (2):292-299.
- Pagan, J. 1999. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Tesis doctoral de la Universitat de Lleida (1996). Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. Alicante, España. 1-138p.
- Pajajoy, V.B., A. Caicedo y L.E. Ordoñez. 2003. Uso agroindustrial del níspero común *Achras Sapota* L. Memorias X Seminario Nacional y IV Internacional Sobre Especies Promisorias, Artículos sobre Especies Vegetales, N°58. Medellín. Colombia.
- Pereira, E., A. Queiroz y R. Feitosa. 2003. Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melipona scutellaris*, L.). Rev. ciênc. exatas nat. 5(2):179-186.
- Sánchez C., R. Oria y A.C. Sánchez-Gimeno. 2006. Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (*Psidium Guajaba* L.). Simposio Poscosecha 2006. Orihueña, Valencia, España.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS OnlineDoc®, Version 8, Cary, NC.
- Telis, J., L. Guizzo y V. Telis. 2003. Rheological Properties of Rehydrated Papaya. Braz. J. Food Technol. 6 (2):221-227.
- Torrallès, R., J. Vendruscolo y C. Vendruscolo. 2006. Reologia de purê homogeneizado de Pêssego: Efeito da temperatura e concentração. Braz. J. Food Technol. 9 (1):-8.
- Vandresen, S., M. Quadri, J. De Souza y D. Hotza. 2009. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. J. Food Eng. 92 (3):269-274.
- Vidal, J., D. Pelegrine y C. Gasparetto. 2004. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt) Ciênc. Tecnol. Aliment. 24 (1):39-42.
- Vidal, J., M. Sierakowski, C. Haminiuk y M. Masson. 2006. Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) Ciênc. Agrotec. 30 (5):955-960.