VITAE, REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
ISSN 0121-4004 Volumen 16 número 1, año 2009.
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. págs. 13-18

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y REOLÓGICA DE LA PULPA DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) VARIEDADES HÍBRIDO DE KLOM SALI, PUERTO RICO, D14 Y RED

PHYSICOCHEMICAL AND RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF GUAVA PULP (*Psidium guajava* L.) VARIETIES HYBRID KLOM SALI, PUERTO RICO, D14 AND RED

Ricardo D. ANDRADE P.[1*], Fabián A. ORTEGA Q.[1], Everaldo J. MONTES M.[1], Ramiro TORRES G.[1], Omar A. PÉREZ S.[1], Mónica CASTRO N.[2] y Luz A. GUTIÉRREZ S.[2]

Recibido: Abril 30 de 2008 Aceptado: Marzo 17 de 2009

RESUMEN

Las propiedades reológicas de los jugos de fruta dependen de su variedad, estado de madurez, concentración de jugo/pulpa y variación de temperatura; los valores de índice de comportamiento al flujo e índice de consistencia son limitados, considerando la cantidad de variedades de guayaba. En este trabajo se caracteriza reológicamente la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) en las variedades Híbrido de Klom Sali, Puerto Rico, D14 y Red, cultivadas en el departamento de Córdoba (Colombia); las pulpas son obtenidas mediante refinadora con malla 1.5mm de abertura. Las medidas reológicas se realizan en un viscosímetro Brookfield modelo DV-II+ Pro, utilizando la aguja Nº 5 para las variedades Klom Salí, Puerto Rico y Red, y Nº 6 para la variedad D14. Las pulpas de guayaba presentan pH entre 3.9–4.6, ºBrix entre 9-10, acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico entre 0.56–0.96%, e índice de madurez entre 9.38–17.94; su comportamiento reológico se ajusta adecuadamente al modelo de Oswald de Waele o ley de potencia ($R^2 \geq 0.989$), comportándose como un fluido seudoplástico ($n \leq 0.307$) y presentando tixotropía las variedades Puerto Rico (14.16%), Red (18.54%) y D14 (18.48%).
Palabras clave: viscosidad aparente, seudoplástico, modelo ley de potencia, tixotropía.

ABSTRACT

Rheological properties of fruit juices appear to be very much dependent of their varieties, state of ripening, concentration of juice/pulp and temperature variation. Typical values of flow behaviour index and consistency index are rather limited considering the varieties of guava fruits. In this work the guava pulp (*Psidium guajava* L.) was rheologically characterized in the varieties Hybrid of Klom Sali, Puerto Rico, D14 and Red cultivated in the department of Córdoba (Colombia); the pulps were obtained by means of refinery with mesh 1.5mm of opening. The rheological measurements were carried out in a Brookfield viscometer DV-II+ Pro model, used the spindle Nº 5 for the varieties Klom Sali, Puerto Rico and Red, and Nº 6 for the variety D14. The pulps presented pH among 3.90 – 4.6, ºBrix among 9 - 10, acidity expressed as percentage of citric acid among 0.56 – 0.96% and maturity index among 9.38–17.94; were adjusted appropriately to Oswald-de Waele model or power law ($R^2 \geq 0.989$), behaving as a pseudoplastic fluid ($n \leq 0.307$) and presenting tixotropic percentages the variety Puerto Rico (14.16%), Red (18.54%) y D14 (18.48%).
Key words: apparent viscosity, pseudoplastic, power law model, tixotropy.

1 Grupo Investigaciones en Procesos Agroindustriales, Ingeniería de Alimentos, Universidad de Córdoba. Cra 6 Nº 76-103. Montería, Colombia.

2 Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Córdoba. Cra 6 Nº 76-103. Montería, Colombia.

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: randrade@sinu.unicordoba.edu.co

INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una especie originaria de la zona tropical y subtropical de amplia distribución y demanda en América Latina (1, 2), que se encuentra en todo el territorio Colombiano con un amplio grupo de variedades distribuidas en todos los climas. En el departamento de Córdoba las plantaciones de guayaba se encuentran ubicadas principalmente en los corregimientos de Aguas Negras, Km 26, Pueblo Nuevo, Lorica y San Carlos, cuyo volumen de producción para el año 2005, fue 1814.7 ton (3).

La guayaba es una de las frutas con mayor contenido vitamínico, además de 16 vitaminas posee minerales como calcio, fósforo y hierro (4). En Colombia la guayaba se comercializa en fresco e industrializada constituyéndose en toda una industria que representa ganancia para los fruticultores (5). En la región del departamento de Córdoba, a pesar de ser este un mercado importante, en la actualidad no se dispone de información acerca de las características reológicas de las variedades de guayaba cultivadas, que sirvan como base para estudios posteriores tendientes al diseño de equipos, el control de procesos y la calidad para una óptima industrialización.

La reología de los alimentos ha sido definida como el estudio de la deformación y flujo de las materias primas sin procesar, los productos intermedios o semielaborados y los productos finales de la industria alimentaria (6).

Los alimentos reaccionan de forma muy diferente ante la aplicación de un esfuerzo; unos son sólidos y se rompen bruscamente ante un esfuerzo elevado, como los helados; otros, sólidos, se deforman para acabar rompiéndose, como la gelatina; otros fluyen en diversas formas, como la leche, la mayonesa, el puré o la masa de pan, requiriendo o no superar un nivel de esfuerzo inicial frente al que pueden o no deformarse antes de fluir. En algunos casos, como la mantequilla, es difícil incluso discernir si se trata de un sólido o de un fluido (7).

Desde hace algunos años, la reología de los productos alimentarios sigue una clara tendencia a desarrollarse, dado que el conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos se aplica en numerosas etapas durante el procesamiento de diversas materias primas, tanto en el diseño de procesos y equipos, y en la evaluación sensorial, como para el control de calidad, además de brindar información acerca de la estructura del alimento (6, 8).

Sin embargo, esta ciencia, aún muy joven, todavía es bastante experimental y estudiada por unos pocos. La falta de soporte teórico hace difícil la interpretación de los datos reológicos; a pesar de esto, el impacto de los métodos reológicos es ya bien visible en la industria agroalimentaria, probando así la necesidad urgente de datos reológicos de diferentes materias primas de la región para este sector.

En este trabajo se caracterizó reológicamente la pulpa de guayaba de las variedades Híbrido de Klom Salí, Puerto Rico, D14 y Red, cultivadas en el departamento de Córdoba, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó guayaba de un lote único procedente del Retiro de los Indios, Cereté, Córdoba (Híbrido de Klom salí y Puerto Rico), y Montería, Córdoba (Red y D14).

Obtención de la pulpa

Las guayabas se seleccionaron teniendo en cuenta que estuvieran libres de daños externos y presentaran madurez comercial; se lavaron y escaldaron a 90°C por 5 minutos. Las pulpas se obtuvieron mediante refinadora de malla 1.5mm de abertura, en la planta piloto de frutas y hortalizas de la Universidad de Córdoba, sede Berástegui; se empacaron en bolsas herméticas y posteriormente se refrigeraron a una temperatura de 4°C.

Análisis Químicos

Las muestras de pulpa de guayaba se homogenizaron y se les realizaron pruebas de pH según el método de la AOAC 10.041/84, °Brix con refractómetro marca MISCO modelo 10431vp, acidez titulable expresada en % de ácido cítrico según método AOAC 31.231/ 84 (9); y el índice de madurez se obtuvo de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable (10).

Análisis Reológico

Las medidas reológicas se efectuaron utilizando un viscosímetro Brookfield modelo DV-II+ Pro. Se tomaron 500mL de pulpa de guayaba en un beaker, seleccionando el spindle a utilizar, teniendo en cuenta que el porcentaje de torque no fuera menor de 10% para cada variedad. Una vez elegido el spindle se realizaron medidas de viscosidad

aparente variando la velocidad rotacional en forma ascendente (0.5, 10, 20, 50, 60 y 100 rpm), se dejó 5 minutos a velocidad máxima, y luego se obtuvieron las medidas en forma descendente (100, 60, 50, 20, 10 y 0.5 rpm), para determinar si existía dependencia de la viscosidad con el tiempo. Todas las medidas se realizaron a temperatura controlada de 20°C.

Análisis Estadístico

Para la prueba se llevó a cabo un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento, por triplicado, bajo una estructura de tratamiento simple para cada una de las cuatro variedades de guayaba.

Los datos de velocidad de rotación (rpm) y viscosidad aparente se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza para determinar si había diferencias significativas entre las curvas de ascenso y descenso de cada uno de los tratamientos, y de esta manera verificar si el fluido estudiado presentaba tixotropía. Estos datos fueron ajustados a la ecuación 1 (11).

$\eta = k_{efectivo}.N^{n-1}$ **Ecuación 1.**

Donde η es la viscosidad (Pa.s), $k_{efectivo}$ es el índice de consistencia efectivo, N es la velocidad de rotación (rpm), y n es el índice de comportamiento al flujo (adimensional).

Para obtener la velocidad de deformación de cada uno de los tratamientos en las diferentes velocidades de rotación se utilizó la ecuación 2 (11), tomando los valores de índice de comportamiento al flujo, n, obtenidos de la ecuación 1.

$\gamma = 0.263\ n^{-0.771}\ N$ **Ecuación 2.**

donde γ es la velocidad de deformación (s^{-1}).

Las curvas de viscosidad aparente (Pa.s) vs velocidad de deformación (s^{-1}) fueron ajustadas al modelo de Ley de Potencia ecuación 3 (11) para cada variedad de pulpa de guayaba, utilizando regresión simple y los criterios estadísticos coeficiente de determinación (R^2), análisis de residuos y prueba de validación (normalidad y homogeneidad de varianzas). Se llevó a cabo un análisis de varianza, y donde se encontraron diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey's para comparar los tratamientos, utilizando el software SAS versión 8.2.

$\eta = K\gamma^{n-1}$ **Ecuación 3.**

donde *K* es el índice de consistencia (Pa. s^n)

La cuantificación del comportamiento tixotrópico se determinó mediante la medida del área bajo la curva al graficar los datos de ascenso y descenso de esfuerzo cortante contra gradiente de velocidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de pH, sólidos solubles (°Brix) y acidez titulable obtenidos en las pulpas de guayaba, se presentan en la tabla 1. El rango de pH de estas variedades coincide con los valores de 4.02 (12); 4.18 (13) y 4.7 (14). La concentración de sólidos solubles está en el rango de frutos maduros (15). La acidez titulable no coincide con la reportada para guayaba "Criolla roja" (15), lo que puede deberse a que la acidez cambia con el cultivar y con la época del año desde 0.33 hasta 3.20 % de ácido cítrico, debido a la variabilidad en el contenido de ácido málico entre las variedades de guayaba, el cual fluctúa entre 0.017 y 0.469 % (14, 17, 18)

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de pulpas de guayaba

Parámetro	Klom Salí	Puerto Rico	D14	**Red**
pH	3.90 ± 0.10	4.60 ± 0.20	4.29 ± 0.20	3.93 ± 0.10
Sólidos solubles totales, °Brix	10.0 ± 0.1	10.0 ± 0.1	9.0 ± 0.1	10.0 ± 0.1
Acidez (% ácido cítrico)	0.72 ± 0.06	0.56 ± 0.05	0.96 ± 0.04	0.88 ± 0.05
Índice de madurez (SST/Acidez)	13.95 ± 1.03	17.94 ± 1.43	9.38 ± 0.29	11.36 ± 0.76

Para la medición de la viscosidad de las muestras de pulpa de guayaba, la aguja del viscosímetro Brookfield modelo Dv-II + Pro seleccionada fue la Nº 5 para las variedades Klom Salí, Puerto Rico y Red, y Nº 6 para la variedad D14, ya que todos los valores de viscosidad aparente arrojados por el viscosímetro se encontraban en un rango de torque de 10-100%.

La ANOVA realizada al índice de comportamiento al flujo (Véase tabla 2) y al índice de consistencia (Véase tabla 3), muestra que existe diferencia significativa entre las curvas de ascenso y descenso con un nivel de confiabilidad del 95%, para las variedades Puerto Rico, Red y D14, pero no para la variedad Híbrido Klom Sali, lo que muestra el carácter tixotrópico de la pulpa de las variedades Puerto Rico, Red y D14; igual comportamiento presenta la pulpa de guayaba tipo blanca (19), lo cual puede ser causado por la ruptura de la estructura de la pulpa en las condiciones del experimento. En la figura 1 se presentan los reogramas para cada variedad de pulpa de guayaba estudiada a 20°C, donde se observa la no coincidencia de las curvas de ascenso y descenso para variedad Puerto Rico, Red y D14, corroborando la tixotropía de estas variedades, las cuales presentan un porcentaje de tixotropía de 14.16% la Puerto Rico, 18.54% la Red y 18.48% la D14.

Tabla 2. ANOVA del índice de flujo n para los niveles ascendente y descendente

Variedad: Puerto Rico (Guayaba Blanca)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	0.015022	1	0.015022	48 .286	0.000003
Error	0.004978	16	0.000311		
Variedad: D 14(Guayaba Roja)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	0.015606	1	0.015606	115.835	0.000000
Error	0.002156	16	0.000135		
Variedad: Red (Guayaba Amarilla)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	0.017422	1	0.017422	70.472	0.000000
Error	0.003956	16	0.000247		
Variedad: Klam Salí (Guayaba Manzana)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	0.000450	1	0.000450	0.747	0.400341
Error	0.009644	16	0.000603		

Tabla 3. ANOVA del índice de consistencia K para los niveles ascendente y descendente

Variedad: Puerto Rico (Guayaba Blanca)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	1.636301 E-+O8	1	1.636301 E+O8	150.989	0.000000
Error	1.733957 E-+O7	16	1.083723E+O6		
Variedad: D14 (Guayaba Roja)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	6.086095 E-+O8	1	6.086095E+O8	216.542	0.000000
Error	4.496931 E-+O7	16	2.81 0582E+O6		
Variedad: Red (Guayaba Amarilla)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	4.178459E-+O8	1	4.1784 59E+O8	254.302	0.000000
Error	2.628970 E-+O7	16	1.6431 06E+O6		
Variedad: Klom Salí (Guayaba Manzana)					
	SS	GL	MS	F	P
Método	3.491844 E-+O8	1	3.491844E+O8	0.88413	0.361054
Erro r	6.319162E-+O9	16	3.9494 76E+O8		

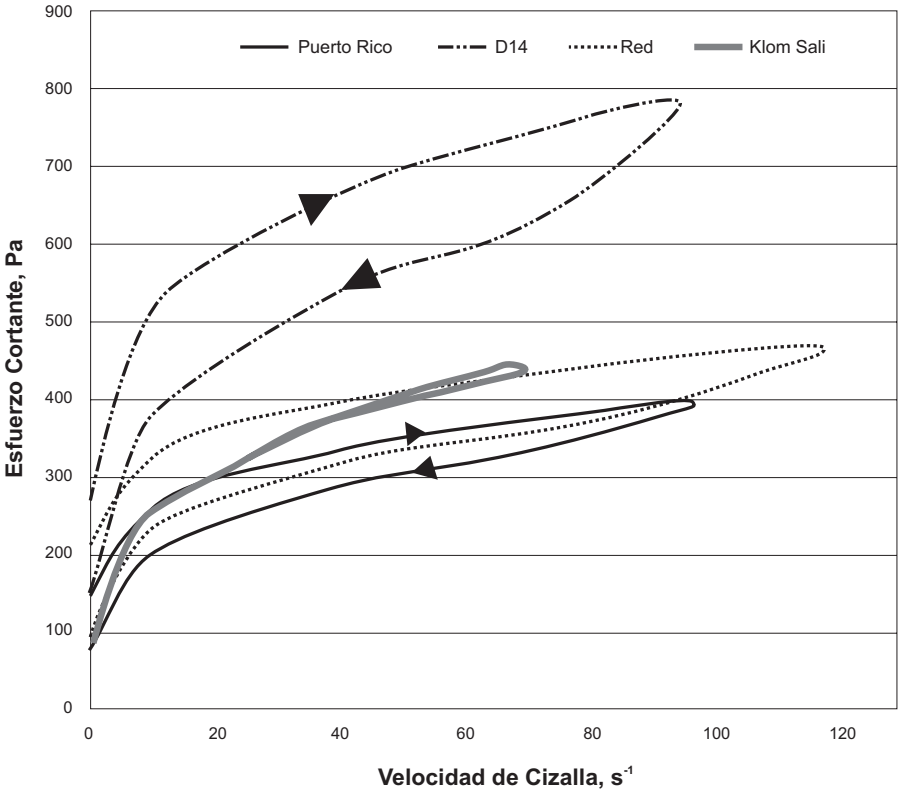

Figura 1. Reograma para las pulpas de guayaba Puerto Rico, D14, Red y Klom Salí.

El comportamiento reológico de las pulpas de guayaba en las variedades Hibrido de Klom Salí, Puerto Rico, D14 y Red, se ajustan adecuadamente al modelo de Ostwald de Waele o Ley de potencia ($R^2 \geq 0.989$), comportándose como fluidos seudoplásticos, debido a que para todas las variedades el valor del índice de comportamiento al flujo (n) fue menor que uno (Véase tabla 4), coincidiendo con lo reportado para pulpa de guayaba tipo roja (16, 20). Este modelo y comportamiento es típico para las pulpas de frutas, como mango (21, 22, 23, 24, 25), guayaba (19, 26) y cereza de las Indias (27). De acuerdo con el índice de comportamiento al flujo, se determinó que la pulpa de guayaba mas seudoplástica es la variedad Red ($0.144 \leq n \leq 0.236$), y la menos seudoplástica la variedad Híbrido Klom Salí ($0.288 \leq n \leq 0.307$), y de acuerdo a los valores de índice de consistencia, *K*, la variedad D14 (200.49 Pa. $s^n \leq n \leq$ 327.61 Pa. s^n) presentó mayor consistencia, y la variedad Puerto Rico (106.84 Pa. $s^n \leq n \leq$ 168.63 Pa. s^n) menor consistencia.

Tabla 4. Parámetros reológicos del modelo Ley de Potencia para pulpas de guayaba

Variedad	Índice de flujo, n		Índice de consistencia, *K* (Pa. s^n)	
	Ascenso	Descenso	Ascenso	Descenso
Puerto Rico	0.187 ± 0.01	0.268 ± 0.01	168.63 ± 5.45	106.84 ± 4.93
D14	0.193 ± 0.02	0.270 ± 0.01	327.61 ± 8.94	200.49 ± 9.65
Red	0.144 ± 0.01	0.236 ± 0.02	234.47 ± 7.87	133.17 ± 3.69
Klom Salí	0.288 ± 0.02	0.307 ± 0.01	129.80 ± 7.57	122.63 ± 4.36

La ANOVA indicó que existen diferencias altamente significativas entre las cuatro variedades de guayaba estudiadas, con un nivel de confiabilidad del 95%, por lo cual se realizó la prueba de Tukey's, en donde se establecieron diferencias entre el grupo de la variedad D14 y el grupo conformado por las variedades Klom Salí, Puerto Rico y Red.

CONCLUSIONES

El comportamiento reológico de las pulpas de guayabas variedad Híbrido Klom Salí, Puerto Rico, D14 y Red, se ajusta adecuadamente a la ley de potencia, y clasificándose como un fluido seudoplástico. La variedad Híbrido Klom Salí es independiente del tiempo, y las variedades D14, Puerto Rico y Red presentan porcentajes de tixotropía de 18.48%, 14.16% y 18.54%, respectivamente.

La pulpa de guayaba variedad Red es la mas seudoplástica y la Híbrido Klom Sali es la menos seudoplástica; la variedad que presenta mayor consistencia es la D14, y la de menor consistencia la Puerto Rico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Morton JF. Fuits of warm climates. Winterville, N.C: Creative Research System; 1987. p. 91–102.
2. Laguado N, Marín M, Arenas de Moreno L, Araújo F, Castro de Rincón C, Rincón A. Crecimiento del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) del tipo Criolla Roja. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 2002; 19 (4): 273–283.
3. SECRETARÍA DE DESARROLLO ECONÓMICO Y AGROINDUSTRIAL. Consenso Departamental, Córdoba, 2007.
4. Gutiérrez M, Fermín G, Paredes C, Troconis T. Variabilidad genética en materiales de guayabas. [Sitio en Internet]. Disponible en: http://www.unesur.edu.ve/genetica/informacion.html. Consultado el 24 de enero de 2008.
5. Carvajal L. Producción, transformación y comercialización de pulpas de frutas tropicales. [Sitio en Internet]. Disponible en: http://www.huitoto.udea.edu.co/frutastropicales/guayaba.html. Consultado: 3 de Diciembre de 2007.
6. Garza S. Caracterización reológica y microbiológica, y cinética de deterioro en cremogenado de melocotón. En: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. [Sitio en Internet]. Disponible en: http://CervantesVirtualCom/servlet/sirveobras/poo.pdf. Consultado: 5 de Mayo de 2007.
7. Hernández MJ. Reología y textura. España: Universidad de Valencia; 2002.
8. Barbosa-Canovas GV, Kokini JL, Ma L, Ibarz A. The rheology of semiliquid foods. Adv Food Nutr Res. 1996; 39: 1–69.
9. AOAC. Oficial methods of analysis William Horwitz. Washington D.C: Association of Analytical Chemists; 1990.
10. Avilan R, Rengifo A. Los cítricos. Caracas: América; 1987.
11. Briggs J, Steffe J. Using Brookfield data and the Mitschka method to evaluate power law foods. Journal of Texture Studies 1997; 28 (5): 517-522.
12. Laguado N, Pérez E, Alvarado C. Características físico-químicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 1999; 16 (4): 382-397.
13. Luh BS. Tropical fruit beverage. En: Nelson PE, Tressler DK, editores. Fruit & vegetable juices processing technology. 3ª ed. Connecticut: AVI; 1980. p. 344 – 435.
14. Wilson Ch. Guava. En: Nagy S, Shaw PE, editores. Tropical & Subtropical Fruits. Composition, properties and uses. Connecticut: AVI; 1980. p. 279 – 299.
15. Laguado N, Briceño O, Rojo R, Marín M, Esparza D, De Moreno L, et al. Efecto de la fertilización y del estado de madurez sobre la calidad de frutos de guayaba (*Psidium guajava*. L). Rev. Fac. Agron. (LUZ) 1995;12 (4): 437 - 449.
16. Medina ML, Pagano F. Caracterización de la pulpa de guayaba (*Spidium guajava L*) tipo "criolla roja". Revista Facultad de Agronomía (LUZ) 2003; 20 (1): 72-86.
17. Chan HT, Jr, Brekke JE, Chang T. Nonvolatile organic acids in guava. J. Food Sci. 1971; 36 (2): 237–239.
18. Wilson Ch, Shaw P, Campbell C. Determination of Organic Acids and Sugars in Guava (Psidium guajava L.) Cultivars by High-performance Liquid Chromatography. J. Sci. Food Agric. 1982; 33 (8): 777-780.
19. Sánchez C, Oria R, Sánchez G. Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (*Spidium guajava L*). Grupo de investigación en alimentos de origen vegetal. España: Universidad de Zaragoza; 2006.
20. Cabral R, Telis-Romero J, Telis V, Gabas A, Finzer J. Effect of apparent viscosity on fluidized bed drying process parameters of guava pulp. J Food Eng. 2007; 80 (4): 1096–1106.
21. Pelegrine D, Vidal J, Gasparetto C. Study of aparent viscosity of mango (Keitt) and pineapple (Pérola) pulps. Ciência e Tecnología de Alimentos. 2000; 20 (1): 128-131.
22. Branco I, Gasparetto C. 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. Ciência e Tecnologia de Alimentos 2003; 23: 166-171.
23. Vidal J, Pelegrine D, Gasparetto C. Effect of the rheological behavior of mango pulp (Magífera indica L-Keitt). Ciência e Tecnologia de Alimentos 2004; 24 (1): 39-42.
24. Dak M, Verma R, Sharma G. Flow characteristics of juice of "Totapuri" mangoes. J Food Eng. 2006; 76 (4): 557-561.
25. Dak M, Verma R, Jaaffrey S. Effect of temperature and concentration on Rheological properties of "Kesar" mango juice. J Food Eng. 2007; 80 (4): 1011–1015.
26. Ferreira G, Melo A., Silvestre R, Gasparetto C. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. Revista Ciencias Exatas e Naturais 2002; 4 (2): 175-184.
27. Da Silva F, Guimaraes D, Gasparetto C. Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperature. Ciência e Tecnologia de Alimentos 2005; 25 (1): 121-126.