

CARACTERISTICAS REOLOGICAS DE PRODUCTOS DE FRUTAS TROPICALES¹

Carmen Irazábal de Guariguata²

Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

RESUMEN

El diseño adecuado de plantas para el procesamiento de alimentos fluidos requiere la obtención de datos reológicos, revistiendo especial interés la variación de las propiedades de flujo con la temperatura, pocas veces notificada en la literatura.

En el presente trabajo se estudió el comportamiento reológico de tres alimentos procesados para niños y cuatro purés elaborados experimentalmente con frutas tropicales diferentes. Se utilizó para dicho propósito un viscosímetro de cilindros coaxiales a tres niveles de temperatura (20°C, 40°C y 60°C). A la muestra que exhibió mayor variabilidad entre pruebas se le practicó un análisis de varianza que, al no ser significativo, permitió utilizar toda la información experimental a fin de obtener una muestra única de la curva de flujo.

Las curvas de flujo obtenidas fueron descritas adecuadamente en todos los casos mediante la ecuación general de la ley potencial, y se ajustaron a través de una regresión a un comportamiento de flujo pseudoplástico. El

Manuscrito modificado recibido: 17-8-81.

- 1 Investigación No. USB/80/16 de la Universidad Simón Bolívar.
- 2 Profesor Asistente, Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Universidad Simón Bolívar, Apartado 80659, Caracas, Venezuela.

coeficiente de consistencia mostró una disminución con el aumento de la temperatura, expresada mediante una ecuación de Arrhenius modificada. En cambio, el índice de comportamiento sufrió alteraciones significativas a altas temperaturas.

INTRODUCCION

Una gran cantidad de purés de frutas y vegetales se produce comercialmente, tanto para su consumo en forma directa, como para su utilización como productos intermedios. El estudio de sus propiedades reológicas ha recibido creciente atención, debido a la naturaleza no-newtoniana de casi la totalidad de ellos. Sin embargo, se dispone de información muy limitada en lo que a frutas tropicales se refiere, y que forman parte de la dieta diaria en la mayoría de los países de Latinoamérica.

Los fluidos no-newtonianos han sido clasificados repetidas veces en la literatura de acuerdo a su comportamiento reológico (1, 2). En general, para la mayoría de los alimentos fluidos, se ha encontrado que el comportamiento reológico puede ajustarse a la relación conocida con el nombre de ley potencial (3-5):

$$\tau = C + b \gamma^s \quad (1)$$

en donde τ = esfuerzo cortante (dina/cm²),
 C = esfuerzo mínimo de deformación (dina/cm²),
 b = coeficiente de consistencia (dina seg^s/cm²),
 γ = tasa de corte (seg⁻¹), y
 s = índice de comportamiento (adimensional)

El comportamiento reológico de purés y concentrados de frutas ha sido analizado en varias oportunidades (6-16). Harper y El Sahrigi (7) estudiaron el comportamiento de concentrados de tomate a diferentes condiciones de concentración y temperatura para una tasa de corte única, encontrando pseudoplasticidad que aumentó con el contenido de sólidos. No obstante, Charm (5) analizando puré de tomate, concluyó que este producto exhibe un esfuerzo mínimo de deformación, ajustando su comportamiento a un modelo que tomaba en cuenta este hecho.

Se ha empleado el modelo de la ley potencial para caracterizar purés de albaricoque (8, 9), durazno y pera (8), variando la concentración y la madurez, encontrándose pseudoplasticidad en todos los casos.

Las propiedades reológicas de otros purés de frutas han sido determinadas utilizando en cada caso el modelo pseudoplástico de la ley potencial para describir el flujo. Entre los productos estudiados se encuentran: puré de banano (10), salsa de manzana (10, 11), puré de durazno (11, 12) y puré de pera (11, 13).

Algunos datos reológicos para purés de frutas tropicales sólo han sido dados a conocer recientemente. Rao, Palomino y Bernhardt (14) analizaron purés de guayaba, mango, lechosa (papaya) y banano. Vitali, Roig y Roa (15) lo hicieron para concentrado de parchita (granadilla) y, últimamente, Brekke, Myers y De Aquino (16), investigaron el comportamiento reológico de purés y concentrados de guayaba. Todos estos autores utilizaron un viscosímetro de tubo capilar para sus determinaciones experimentales. Los purés estudiados en todas estas investigaciones demostraron ser fluidos pseudoplásticos en el rango de tasas de corte empleado.

El efecto de la temperatura sobre la reología de los fluidos newtonianos ha sido expresado generalmente mediante la ecuación de Arrhenius (1, 6, 17). Entre las investigaciones realizadas con productos de frutas se encuentra la de Saravacos (18), quien estudió la variación de la viscosidad aparente de jugos y purés de naranja y manzana con la temperatura, encontrando la energía de activación para cada caso y concluyendo que el efecto de la temperatura era menos pronunciado en el caso de los purés. Harper y El Sahrigi (7) por una parte, y Higgs y Norrington (19), por la otra, efectuaron pruebas similares para concentrados y salsa de tomate, respectivamente, describiendo la influencia de la temperatura mediante la ecuación de Arrhenius. Más recientemente, Vitali, Roig y Rao (15) hicieron lo mismo con concentrados de parchita. Por último, vale la pena mencionar un estudio de Forster y Ferrier (20), quienes entre otros parámetros determinaron el efecto de la temperatura sobre las propiedades reológicas de una bebida de soya, y lo relacionaron a través de la ecuación de Arrhenius modificada.

El trabajo aquí descrito tuvo por objetivo principal la caracterización reológica de purés y otros productos derivados de frutas tropicales, con énfasis en la variación de las propiedades de flujo con la temperatura. Se espera que los resultados obtenidos cubran en parte la carencia de datos existentes en esta interesante área de estudio.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras analizadas fueron purés elaborados a partir de lechosa (*Carica papaya*) de la variedad Cartagena, guanábana (*Annona muricata*) y las variedades criollas de melón (*Cucumis melo*) y patilla (sandía) (*Citrulus vulgaris*), tomándose frutas maduras en cada caso. También se analizaron alimentos procesados para niños o compotas a base de guayaba (*Psidium guajava*), cambur (banano) (*Musa sapientum*) y mango (*Mangifera indica*). Estos últimos se producen comercialmente, y como ingredientes para su preparación se incluyen pulpa de fruta, azúcar, fécula, ácido cítrico y agua.

Los purés se prepararon partiendo de frutas cultivadas en Venezuela. Las frutas fueron lavadas y peladas y, luego de eliminar las semillas, la pulpa restante fue desintegrada, siguiendo una etapa de remoción de fibra a través de un colador con aberturas de 0.5 ml aproximadamente. Los purés terminados se empacaron y congelaron a -18°C durante uno o dos días al cabo de los cuales se descongelaron a temperatura ambiente para someterlos a las pruebas reológicas. A todas las muestras se les determinó el contenido de sólidos totales utilizando un refractómetro marca Bausch & Lomb, modelo Abbe-3L, a una temperatura de 25°C como paso previo a las medidas viscosimétricas.

Las determinaciones reológicas se realizaron empleando un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos Haake Rotovisco modelo RV-2, un esquema del cual se muestra en la Figura 1. Este está equipado con el sistema sensor NV y el cabezal MV-500, y provisto de un sistema de circulación a temperatura constante. Se programó un aumento de la velocidad del rotor desde 0 hasta 300 revoluciones por minuto, permitiendo la estabilización de las muestras durante 15 minutos en el reómetro hasta alcanzar temperatura constante. Para cada muestra se determinaron siete curvas de flujo, a tres niveles distintos de temperatura: 20°C , 40°C y 60°C .

RESULTADOS Y DISCUSION

Clasificación del Comportamiento de Flujo

Las muestras de purés y compotas analizados con ayuda del viscosímetro rotacional descrito presentaron curvas de flujo que

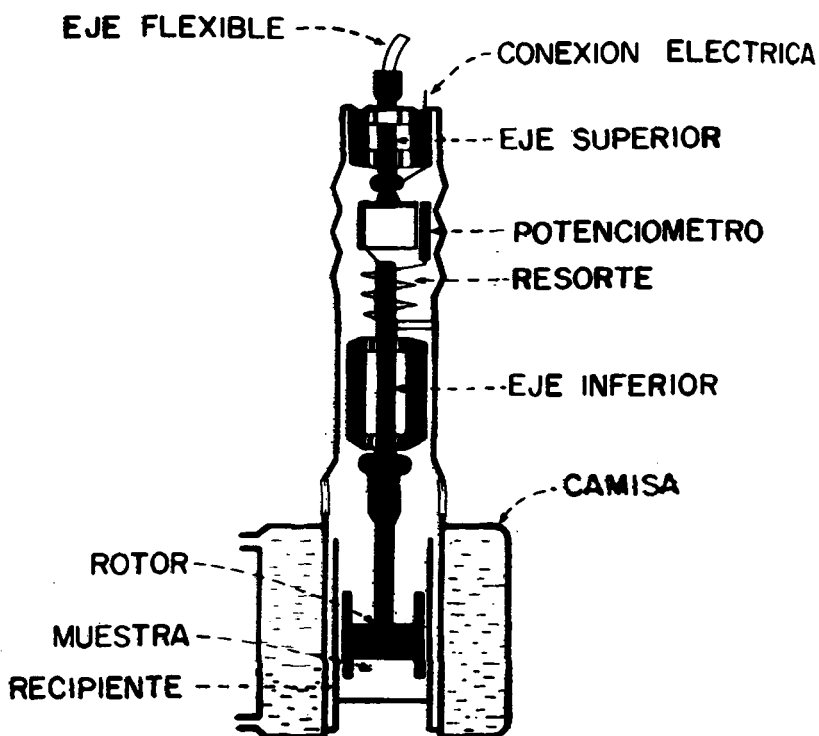


FIGURA 1

Esquema del viscosímetro de cilindros coaxiales

fueron ajustadas adecuadamente mediante la relación:

$$\tau = b \gamma^s \quad (2)$$

Esta ecuación indica que se trata de fluidos no-newtonianos que cumplen con el modelo pseudoplástico en cuanto a su comportamiento reológico. El coeficiente de consistencia b y el índice de comportamiento s obtenidos para cada muestra a las diferentes temperaturas prefijadas se presentan en la Tabla 1.

Como paso previo a la obtención de estos resultados, y con el fin de utilizar toda la información experimental disponible, se

TABLA 1
CARACTERISTICAS REOLOGICAS DE LOS PRODUCTOS ESTUDIADOS EN FUNCION DE LA
TEMPERATURA Y DEL NIVEL DE SOLIDOS TOTALES

Nombre de la muestra	Sólidos totales, g/100 g	Coficiente de consistencia b, dina seg ^s /cm ²	Indice de comportamiento s, adimensional	Coficiente de determinación r ² , adim.	Temperatura, °C
Puré de guanábana	16.9	65.60	0.45	0.87	20
		44.34	0.45	0.89	40
		35.88	0.47	0.85	60
Puré de lechosa	15.8	47.24	0.36	0.97	20
		42.70	0.31	0.92	40
		41.51	0.30	0.97	60
Puré de melón	8.2	6.58	0.50	0.95	20
		3.05	0.58	0.98	40
		1.75	0.63	0.97	60
Puré de patilla	7.8	3.91	0.41	0.97	20
		2.56	0.44	0.97	40
		1.21	0.50	0.97	60
Compota de cambur	18.8	53.69	0.47	0.99	20
		45.93	0.54	0.98	40
		40.30	0.46	1.00	60
Compota de guayaba	20.0	55.86	0.42	1.00	20
		27.04	0.49	0.98	40
		13.71	0.54	0.99	60
Compota de mango	19.3	37.55	0.49	1.00	20
		18.80	0.58	0.99	40
		12.34	0.55	0.97	60

efectuó un análisis de varianza para comprobar la hipótesis nula mediante la cual se establece que todas las pruebas realizadas provienen de una misma población. Para ello se escogió la muestra que exhibió menos uniformidad en las curvas de flujo determinadas, la cual resultó ser puré de guanábana a 60°C.

La Tabla 2 contiene un resumen de los cálculos efectuados para el análisis de la varianza. El valor de F crítico encontrado en las tablas estadísticas (21) resultó igual a 2.1, el cual, al ser mayor que el calculado, permite concluir que el análisis no es significativo y que no existe razón alguna para pensar que hay diferencias sustanciales entre las pruebas realizadas.

TABLA 2

**ANALISIS DE VARIANZA PARA PURE DE GUANABANA A 60°C,
REFERENTE A LA VARIABILIDAD ENTRE LAS CURVAS DE FLUJO**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
Pruebas experimentales	6	120.1	20.2	0.08
Error (por diferencia)	168	42,406.7	252.4	
Total:	174	42,526.8		

F = parámetro estadístico (adimensional).

Basándose en la conclusión previa, se procedió a promediar las siete curvas de flujo para cada muestra, creándose un único vector representativo con 25 observaciones de la velocidad del rotor en función de las unidades leídas en la escala del viscosímetro. La curva de flujo promedio, en términos de tasa de corte vs. esfuerzo cortante, se obtuvo aplicando a los valores iniciales los factores de conversión correspondientes al sistema sensor utilizado. Seguidamente, este vector se ajustó a la relación potencial (2) mediante una regresión, determinándose en cada caso los valores de los parámetros reológicos y coeficiente de determinación r^2 de la regresión presentados en la Tabla 1.

En la Tabla 3 se ilustran los cálculos del análisis de varianza

de la regresión para puré de guanábana a 60°C. Se deduce que la regresión es significativa, ya que el valor de F obtenido excede considerablemente al crítico de 4.28 encontrado en las tablas estadísticas (21).

TABLA 3

ANALISIS DE VARIANZA DE LA REGRESION PARA
PURE DE GUANABANA A 60°C

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
Regresión	1	3.70	3.70	123.3
Residuo	23	0.61	0.03	
Total:	24	4.31		

El tipo de comportamiento no-newtoniano pseudoplástico obtenido para los purés y compotas de frutas y descrito por la ecuación (2) está acorde con los hallazgos informados por diversos investigadores en el caso de purés y concentrados de frutas en general (8-16). El comportamiento pseudoplástico puede facilitar el bombeo de estos productos, puesto que debido al decrecimiento de la viscosidad aparente con la tasa de corte, a altas velocidades disminuirá la energía necesaria para el bombeo. Igualmente, se puede lograr una mejor transferencia de calor si se bombean los fluidos pseudoplásticos a través de tuberías de pequeño diámetro, alcanzándose así las altas velocidades que son deseables durante el procesamiento de este tipo de fluido.

En la Tabla 1 se puede observar que el coeficiente de consistencia b para los cuatro purés estudiados, con excepción del valor correspondiente a guanábana a 60°C, sufre un aumento con el nivel de sólidos totales, lo cual indica a la vez un incremento en la viscosidad aparente del producto. Existirá, por lo tanto, un límite práctico en el porcentaje de sólidos totales para el manejo de estos purés. En el caso de las compotas, en cuya preparación se incluyen otros ingredientes sólidos además de la pulpa de fruta, no se observa la misma relación, dado que el valor de b para la de cam-

bur a 20°C y 40°C es muy superior a los obtenidos para guayaba y mango con mayor porcentaje de sólidos totales. Ello puede deberse a la naturaleza de los sólidos presentes en cada una de estas muestras, tanto los provenientes de la pulpa como aquéllos agregados durante la preparación, cuyas proporciones no se especifican en los envases correspondientes.

No se observaron cambios apreciables de las propiedades reológicas de las muestras con el tiempo.

Variación de las Propiedades Reológicas con la Temperatura

La variación del coeficiente de consistencia b con la temperatura T se expresó en todos los casos estudiados mediante la ecuación de Arrhenius modificada:

$$\ln b = \frac{A}{T} + B \quad (3)$$

en donde $A = \text{constante (}^\circ\text{K)}$

$B = \text{constante (adimensional)}$

Esta expresión fue utilizada por Forster y Ferrier (20) para relacionar los cambios del índice de consistencia con la temperatura para bebidas a base de soya.

La representación gráfica del logaritmo de b en función del parámetro $1/T$ obtenida para los productos analizados se incluye en la Figura 2. Como era de esperar, en todos los casos se obtuvo una relación lineal entre las variables. No se pudo considerar, sin embargo, la posibilidad de efectuar otro tipo de ajuste debido al escaso número de niveles de temperatura estudiados. En la Tabla 4 se presentan los valores de A y B calculados para cada caso.

Es de interés hacer notar que resulta más conveniente representar la variación del índice de consistencia con la temperatura y no de la viscosidad aparente, ya que de esta manera se toma en cuenta todo el rango de esfuerzos cortantes estudiado y no valores únicos.

En cuanto al índice de comportamiento s , en la Tabla 1 se observa que éste no sigue tendencias definidas en cuanto a su variación con la temperatura, lo que indica que la temperatura no influye apreciablemente en el grado de pseudoplasticidad de las muestras analizadas.

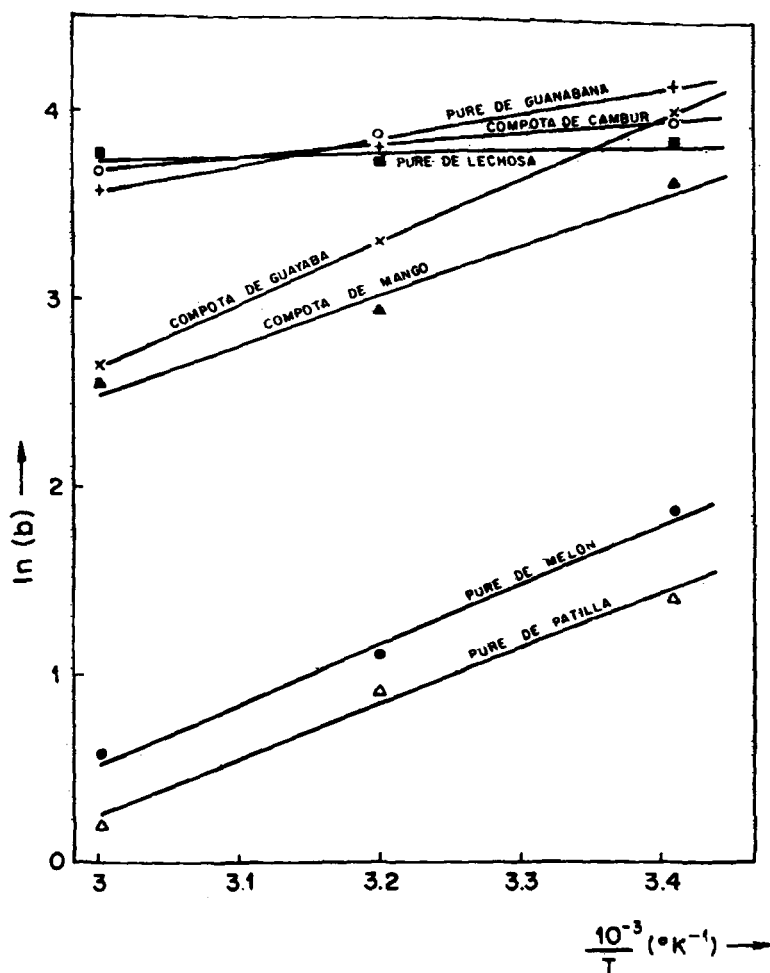


FIGURA 2

Variación del índice de consistencia con la temperatura

De la Tabla 4 se deduce, en el caso de los purés de frutas, que se obtuvieron valores de la constante A significativamente mayores para el grupo que posee un porcentaje bajo de sólidos (purés de melón y patilla, con 8.2 y 7.8% de sólidos totales). Los valores de A obtenidos fueron de 3.33 y 2.85 para melón y patilla en comparación con 1.46 y 0.34 para guanábana y lechosa, respectivamente.

te. Este hallazgo coincide con las observaciones de Saravacos (18), y permite predecir para los purés más claros una transferencia de calor más eficiente a altas temperaturas. Sin embargo, estas observaciones no se cumplen para las tres compotas estudiadas, ya que aun existiendo porcentajes de sólidos similares, la constante A para cambur resultó ser mucho menor que para la guayaba y el mango (0.68 en comparación con 3.39 y 2.74). Posiblemente, ello se deba a las razones expuestas anteriormente para el coeficiente de consistencia.

TABLA 4

CONSTANTES DE LA ECUACION DE ARRHENIUS PARA VARIACION DEL COEFICIENTE DE CONSISTENCIA CON LA TEMPERATURA

Muestra	A x 10 ⁻³ , °K	B, adim.
Puré de guanábana	1.46	-3.14
Puré de lechosa	0.34	0.38
Puré de melón	3.33	-9.51
Puré de patilla	2.85	-7.70
Compota de cambur	0.68	-0.66
Compota de guayaba	3.39	-9.84
Compota de mango	2.74	-8.08

Las magnitudes de la constante A se encuentran dentro del rango obtenido por otros autores (7, 13, 18) para coeficientes análogos al estudiar la variación de la viscosidad aparente con la temperatura en concentrados de tomate, puré de pera y puré de durazno y pera, respectivamente.

Finalmente, con base en las Tablas 1 y 4 no se puede concluir que existe una relación definida entre la constante A y el índice de comportamiento de los productos de frutas estudiados.

CONCLUSIONES

En el trabajo de que aquí se da cuenta se determinó el comportamiento reológico de algunos productos de frutas tropicales,

siendo uno de los principales objetivos la obtención, mediante expresiones analíticas, de la variación de las propiedades reológicas con la temperatura.

En cuanto al tipo de comportamiento, se concluye que todos los productos estudiados son no-newtonianos y exhiben pseudo-plasticidad. Este hecho concuerda con las investigaciones efectuadas hasta ahora con purés y concentrados de fruta, y permite recomendar altas velocidades en el manejo de este tipo de fluido con el objeto de lograr una disminución de la viscosidad aparente.

Los purés mostraron un coeficiente de consistencia mayor para las muestras con niveles más altos de sólidos totales.

La variación del coeficiente de consistencia con la temperatura en todos los casos se representó mediante la ecuación de Arrhenius modificada.

No se encontró variación significativa del índice de comportamiento con la temperatura.

SUMMARY

RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TROPICAL FRUIT PRODUCTS

The rheological behavior of three commercially processed baby foods and four purees made from different tropical fruits was studied, utilizing a coaxial-cylinder viscometer at three temperature levels (20°C, 40°C and 60°C). An analysis of variance was applied to the sample exhibiting more variability between tests, which, having resulted non significant, allowed to obtain average flow curves from all the available experimental data.

The flow curves obtained were adequately described by means of the general power law, and were fitted to a pseudoplastic flow behavior by a regression. The consistency coefficient showed a decrease with increasing temperature, represented by a modified Arrhenius equation, whereas the flow behavior index did not vary significantly with temperature.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Lic. Emilio Saíz U. su valiosa colaboración durante el desarrollo experimental de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. Holdsworth, S. D. Applicability of rheological models of the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. *J. Texture Studies*, **2**: 393-418, 1971.
2. Skelland, A.H.P. *Non-Newtonian Flow and Heat Transfer*. New York, John Wiley & Sons, 1967, p. 10.
3. Charm, S. E. *Fundamentals of Food Engineering*. 2nd ed. Westport, Conn., The AVI Publishing Co., 1971, p. 56.
4. Rha, C. K. Rheology of fluid foods. *Food Technol.*, **32**: 77-82, 1978.
5. Charm, S. E. Effect of yield stress on the power law constants of fluid food materials determined in low shear rate viscometers. *Ind. Eng. Chem. Process Design and Devel.*, **2**: 62-65, 1963.
6. Rao, M. A. Rheology of liquid foods: A review. *J. Texture Studies*, **8**: 135-168, 1977.
7. Harper, J. C. & A. F. El Sahrigi. Viscometric behavior of tomato concentrates. *Food Technol.*, **30**: 470-476, 1965.
8. Harper, J. C. Viscometric behavior in relation to evaporation of fruit purees. *Food Technol.*, **14**: 557-562, 1960.
9. Watson, E. L. Rheological behavior of apricot purees and concentrates. *Can. Agr. Eng.*, **10**: 8-11, 1968.
10. Charm, S. E. Viscometry of non-Newtonian food materials. *Food Res.*, **25**: 351-362, 1960.
11. Saravacos, G. D. Tube viscometry of fruit purees and juices. *Food Technol.*, **22**: 1585-1588, 1968.
12. Saravacos, G. D. & J. C. Moyer. Heating rates of fruit products in agitated kettles. *Food Technol.*, **21**: 372-376, 1967.
13. Harper, J. C. & K. W. Lebermann. Rheological behavior of pear purees. Presentado en: *First Int. Congr. of Food Sci. and Tech.*, London, 1962.
14. Rao, M. A., L. N. Palomino & L. N. Bernhardt. Flow properties of tropical fruit purees. *J. Food Sci.*, **39**: 160-161, 1974.
15. Vitali, A. A., S. M. Roig & M. A. Rao. Viscosity behavior of concentrated passion fruit juice. *Confructa*, **19**: 201-206, 1974.
16. Brekke, J. E., A. L. Myers & C. R. N. De Aquino. Viscometric behavior of guava purees and concentrates. *J. Food Sci.*, **43**: 272-273, 1978.
17. Wohl, M. H. Rheology of non-Newtonian materials. *Chem. Eng.*, **75**: 130-136, 1968.
18. Saravacos, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *J. Food Sci.*, **35**: 122-125, 1970.
19. Higgs, S.J. & R.J. Norrington. Rheological properties of selected food-stuffs. *Proc. Biochem.*, **6**(5): 52-54, 1971.
20. Forster, L. L. & L. K. Ferrier. Viscometric characteristics of whole soybean milk. *J. Food Sci.*, **44**: 583-585, 1979.
21. Miller, I. & J. E. Freund. *Probability and Statistics for Engineers*. New Jersey, Prentice - Hall, 1965, p. 401.