



Aumento ebulloscópico de extracto de jugo de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y determinación de gráficas de Dühring

Víctor Armas, Ronald Lezama, Ricardo Iparraguirre, Aldrin Corcuera, Raúl Siche

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

Recibido 10 Setiembre 2012; Aceptado 10 Diciembre 2012.

RESUMEN

Para extraer inulina a base de extracto de yacón, es importante conocer el aumento Ebulloscópico en las soluciones de yacón a diferentes concentraciones, esto permitirá operar de manera correcta en el proceso para su obtención, además, el conocimiento del aumento ebulloscópico de soluciones de yacón a diferentes concentraciones, es fundamental para el diseño de equipos para su procesamiento. Para predecir el comportamiento del yacón a diferentes concentraciones, es necesario determinar sus distintos puntos de ebullición, esto se puede lograr experimentalmente mediante la regla de Dühring; la cual fue determinada para el extracto jugo de yacón, en un rango de concentraciones de sólidos solubles de 11.5°Brix a 56°Brix y a presiones de 0.2; 0.4; 0.6 y 0.8 bar (abs). Los datos experimentales se representaron utilizando la regla de Dühring. Los valores obtenidos se compararon con la ecuación de Crapiste y Lozano (1988) con lo que se determinó que guarda una tendencia lógica a lo establecido por la teoría de evaporación que explica que la temperatura de ebullición de una solución aumenta conforme se elevan tanto las concentraciones de sólidos disueltos como la presión.

Palabras clave: Inulina, aumento ebulloscópico, concentración, evaporación, sólidos solubles.

ABSTRACT

To extract inulin based yacón is important to know increase the boiling point increase in yacón solutions at different concentrations, it will operate properly in the process for their preparation, also, knowledge of the boiling point rise yacón solutions at different concentrations, is essential for the design of equipment for processing. To predict the behavior of yacón at different concentrations, it is necessary to determine their different boiling points, this can be achieved experimentally by Dühring rule, This was determined for pure cane juice, measured in a range of concentrations of soluble solids of 11.5°Brix to 56 °Brix and pressures of 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 bar (abs). The experimental data were plotted using Dühring's rule. The values obtained were compared with equation Crapiste and Lozano (1988) thus determined that saves a logical trend as established by the evaporation theory explains that the boiling point of a solution increases with rising concentrations both dissolved solids as pressure.

Keywords: Inulin, boiling increase, concentration, evaporation, soluble solids.

1. Introducción

Actualmente, gran parte de las industrias que operan a nivel mundial llevan a cabo procesos de evaporación, previos a la obtención de los productos finales. Durante la evaporación se elimina agua de una solución líquida y se obtiene una solución de mayor concentración; así se logra productos más estables y de mayor vida útil, además, esta técnica permite reducir los costos de transporte y almacenamiento del producto terminado.

Estudios y trabajos anteriores han sido orientados al conocimiento del efecto de la

temperatura y la concentración en las propiedades termofísicas del jugo de caña, y otros productos industrializables, donde también estudian la densidad, calor específico, conductividad térmica, difusividad térmica, y propiedades reológicas (Romero *et al* (2000); Asocaña (2005), Cabral (2000), Ilagantileke *et al* (1991), Moresi *et al* (1984), Varshney *et al* (1978) y Perry *et al* (2001)). Debido a su gran versatilidad, tiene aplicaciones en la industria química, farmacéutica y por qué no, en la Agroindustria, como en este caso, al eliminar agua de una solución de yacón a

baja concentración, para obtener un producto novedoso como la inulina. No obstante, no se disponen de datos publicados de la elevación de la temperatura de ebullición a diferentes concentraciones y relaciones de los componentes de éste.

De acuerdo con las propiedades coligativas de las disoluciones diluidas de un soluto no volátil, la presión de vapor de la disolución es menor que la del disolvente puro a la misma temperatura, y, por tanto, hay un aumento en el punto de ebullición respecto al que tendría el agua pura. Por lo tanto, para una presión de trabajo dada, y una solución acuosa, no sólo sería preciso saber la temperatura de ebullición, (saturación), del agua a esa presión, sino que habría que calcular la elevación del punto de ebullición de la disolución (Westphalen y Wolf, 2000).

En el caso de disoluciones concentradas, que no se comportan idealmente, la predicción del punto de ebullición se puede realizar mediante una ley empírica conocida con el nombre de Regla de Dühring, según la cual, el punto de ebullición de un líquido o de una disolución es una función lineal del punto de ebullición de una sustancia de referencia, normalmente el agua, referidos ambos a la misma presión.

Para distintas concentraciones se obtienen distintas líneas rectas, no necesariamente paralelas. El trazado de estas rectas se puede realizar fácilmente si se dispone de dos temperaturas de ebullición de la disolución a dos presiones distintas. Para predecir ciertas temperaturas de ebullición, se utilizan ecuaciones planteada en literatura, pero solo predicen soluciones ideales, y no tiene validez para la mayoría de procesos industriales. Por ejemplo en evaporación, se desea aumentar el contenido de sólidos de un determinado licor hasta valores donde una solución nunca podría ser considerada diluida. De esta forma, se hace necesario el uso de datos experimentales de la elevación de la temperatura de ebullición en función de la concentración de sólidos y la presión (Westphalen, 1998).

La inulina a base de yacón es un producto novedoso, con alto contenido de FOS (hasta 50%), resultado de la concentración del

zumo de las raíces. Los FOS son azúcares que tienen pocas calorías y no elevan el nivel de glucosa en la sangre, lo que ha convertido al Yacón en un recurso potencialmente importante para el mercado de productos dietéticos y de personas que padecen diabetes. Excelente para las dietas hipocalóricas como se puede apreciar en la tabla 1, y dietas para diabéticos.

Tabla 1. Contenido nutricional del yacón (100g de raíz fresca sin cascara).

COMPUESTO	RANGO
Agua	85 – 90g
Oligofruktosa (OF)	6 – 12g
Azúcares Simples ¹	2.2 – 4g
Proteínas	0.1 – 0.5g
Potasio	185 – 295mg
Calcio	6 – 13mg
Calorías	14 – 22kcal

¹ Incluye sacarosa, fructosa y glucosa.

En este trabajo, se determinó el aumento de la temperatura de ebullición de soluciones de yacón a varias concentraciones y presiones; y se compararon estas medidas con datos reportados, en la literatura, de soluciones de sacarosa.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

- a) Materia prima:
 - Yacón
- b) Equipo:
 - Equipo de evaporación (esquema utilizado por Telis-romero *et al.* (2002))
 - Bomba de vacío (capac. 0 – 1 bares).
- c) Otros:
 - Brixómetros ATAGO (0-53%) y (54-97%).
 - Balanza semi-analítica Scout-Pro SP6000 (máx. 6 kg, rango 1 g.).

2.2 Metodología

2.2.1 Descripción de procesos

En la figura 1 se muestran las etapas consideradas para la evaporación del jugo de yacón.

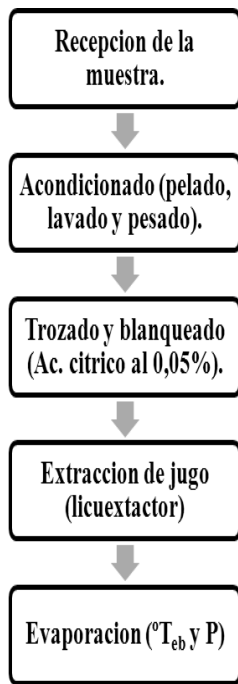


Figura 1.- Flujograma de proceso para evaporación de jugo de yacón.

Equipo y procedimiento para evaporación

Un diagrama esquemático del equipo, similar al utilizado por Telis-Romero *et al.* (2002), usado para las medidas experimentales se muestra en la figura 2.

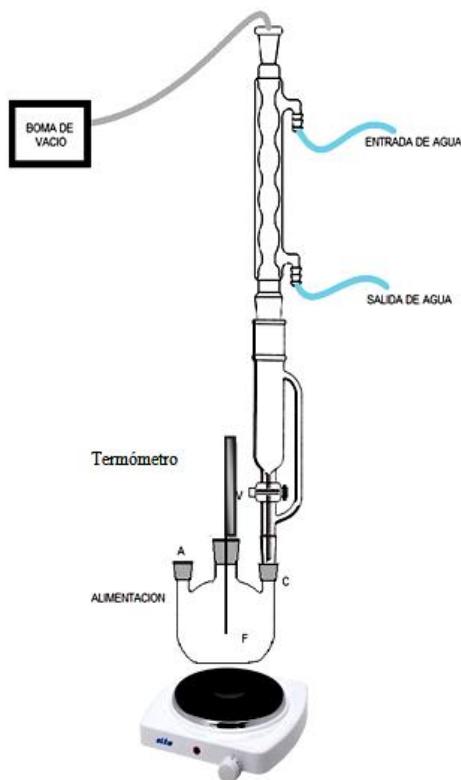


Figura 2. Diagrama esquemático del equipo usado para las medidas experimentales.

El equipo consiste de un balón, de vidrio, fondo plano con tres bocas. Las muestras fueron introducidas en el balón por medio de la boca de alimentación (figura 2) y se calentaron con una cocina eléctrica regulable. Cuando la solución de jugo de yacón (100 mililitros) a diferentes concentraciones alcanzó la temperatura de ebullición, se estableció un flujo de recirculación en la válvula del soxhlet. La mezcla líquido-vapor liberada de la superficie líquida fluyó a través de la boca intermedia, donde se determinó la temperatura, con un termómetro de baja escala, ya que no se requería llegar a una temperatura mayor de 110 °C. Entre tanto el vapor liberado asciende por el tubo más angosto del equipo soxhlet, hasta llegar al condensador de bolas en donde es enfriado por acción del agua que se recircula, retornando a la parte más ancha del soxhlet, en donde a través de la válvula V desciende al balón F. El condensador fue conectado a una bomba del vacío que permitió variar la presión en el rango de 0.2 a 0.8 bares (abs). En cada experimento, se adicionaron 100 ml de jugo de yacón en el balón de ebullición. Se hizo recircular agua fría en el condensador de reflujo, fue encendida la bomba de vacío. Se registraron los valores finales, de la temperatura de ebullición de la solución y su presión asociada. El procedimiento se realizó hasta la presión atmosférica, permitiendo medidas de temperatura de ebullición, en cada una de las soluciones de sacarosa con composiciones que se observan en la tabla 2. Para verificar la concentración de la solución, fue interrumpido el calentamiento periódicamente, el balón se llevó hasta temperatura ambiente, y se tomaron muestras determinando las concentraciones de sólidos solubles en °Brix.

4. Resultados y discusión

En la Tabla 2 se aprecia que las temperaturas de ebullición de las diferentes concentraciones del zumo de yacón son superiores a la temperatura de ebullición del agua, siendo esto más notorio que al aumentar la concentración su elevación del punto de ebullición es mayor, este efecto se debe a que cuando un soluto se encuentra disuelto en el agua, la presencia de las moléculas del soluto, alteran la presión de vapor de la solución, afectando de esta manera el punto de ebullición. (Vanaclocha y Requena, 1999).

Tabla 2. Datos obtenidos del EPE de zumo de yacón.

°Brix	Presion (bar)	T° _{eb} Sol	T° _{eb} Agua	T° _{eb} °K agua	EPE experimental
11.5	0.2	62	60.60	333.60	1.40
11.5	0.4	78	75.87	348.87	2.13
11.5	0.6	87	85.94	358.94	1.06
11.5	0.8	94	93.50	366.50	0.50
20	0.2	64	60.60	333.60	3.40
20	0.4	79	75.87	348.87	3.13
20	0.6	88	85.94	358.94	2.06
20	0.8	95	93.50	366.50	1.50
30	0.2	65	60.60	333.60	4.40
30	0.4	79	75.87	348.87	3.13
30	0.6	89	85.94	358.94	3.06
30	0.8	96	93.50	366.50	2.50
56	0.8	67	60.60	333.60	6.40
56	0.4	81	75.87	348.87	5.13
56	0.6	91	85.94	358.94	5.06
56	0.8	98	93.50	366.50	4.50

A medida que las concentraciones va aumentando en el zumo de yacón, el tiempo de elevación de temperatura también aumenta. Tabla 2 esto se debe a que su viscosidad aumenta con la concentración y a medida que discurre la evaporación descendiendo la velocidad de transferencia de calor. Mc Cabe 1982. En la Tabla 3 son los resultados obtenidos desarrollando los diversos métodos para poder obtener la elevación del punto de ebullición con las diferentes presiones y diferente concentración a la que fue sometido el zumo del yacón. Existen diversas formas de ellas la Elevación del Punto de Ebullición (EPE); entre las principales tenemos:

a. Expresión general (Ibarz, 2005)

$$\Delta T_e = \frac{-t_e}{1 + \frac{Rt_e \ln X_w}{\lambda}} \dots \text{Ec. 1}$$

b. Soluciones diluidas

$$\Delta T_e = \frac{Rt_e X_s}{\lambda} \dots \text{Ec. 2}$$

c. Crapiste y lozano, 1988

$$\Delta T_e = \alpha * C^\beta * P^\delta * \exp(\gamma C) \dots \text{Ec. 3}$$

$$\Delta T_e = A^\alpha \text{Brix}^\beta \dots \text{Ec. 4}$$

Donde $\Delta T_B = (T_A - T_{A0})$ es la elevación de la temperatura de ebullición en °C, W representa la concentración másica de sólidos solubles en °Brix, y los parámetros α , β , γ , y δ son evaluado por regresión no lineal. Para tener en cuenta la influencia de los diferentes componentes de la solución fue necesario modificar el modelo propuesto por Crapiste y Lozano,

reemplazando la concentración de sólidos solubles, W, por las sumatoria de las concentraciones de cada uno de los componentes de la solución, expresadas en términos de concentración equivalente con respecto al componente de mayor contribución (glucosa) a la elevación de la temperatura de ebullición.

En la Tabla 3 se puede apreciar que los resultados obtenidos utilizando las ecuaciones 1 y 2 fueron menores a elevación del punto de ebullición (EPE) del experimental del zumo de yacón, mientras que utilizando las ecuaciones 3 y 4 de Crapiste y lozano, fueron ligeramente superiores al de la parte experimental. Esto es porque según Westphalen, (1998) los modelos matemáticos tienen un uso limitado, debido a la composición compleja del jugo y falta de conocimiento de la contribución de los componentes a la elevación de la temperatura de ebullición.

En la Tabla 3. Se representan los valores de aumento del punto de ebullición obtenidos a partir de las diferentes ecuaciones, obteniendo datos semejantes, siendo los resultados más cercanos a los valores obtenidos experimentalmente los de la ecuación de Crapiste y Lozano (1988). Comparado con lo obtenido experimentalmente, se puede apreciar que el valor obtenido por el modelo matemático reporta un valor más exacto y con una baja variación respecto una de la otra, esto debido a que se hizo el uso de todas las variables del proceso.

Tabla 3 Resultados obtenidos de las diversas formas de hallar el EPE

Presión (Bar)	°Brix	EPE experimental	EPE 1	EPE 2	EPE 3	EPE 4
0.2	11.5	1.40	0.1402	0.1319	1.7613	1.5000
0.4	11.5	2.13	0.1559	0.1467	1.4148	1.5000
0.6	11.5	1.06	0.1669	0.1570	1.2447	1.5000
0.8	11.5	0.50	0.1755	0.1651	1.1365	1.5000
0.2	20	3.40	0.2562	0.2294	3.0235	2.3347
0.4	20	3.13	0.2849	0.2552	2.4287	2.3347
0.6	20	2.06	0.3050	0.2731	2.1366	2.3347
0.8	20	1.50	0.3207	0.2872	1.9510	2.3347
0.2	30	4.40	0.4097	0.3442	4.3100	3.2285
0.4	30	3.13	0.4556	0.3827	3.4622	3.2285
0.6	30	3.06	0.4877	0.4097	3.0458	3.2285
0.8	30	2.50	0.5129	0.4308	2.7811	3.2285
0.2	56	6.40	0.9445	0.6424	6.6215	5.3175
0.4	56	5.13	1.0505	0.7144	5.3190	5.3175
0.6	56	5.06	1.1246	0.7647	4.6793	5.3175
0.8	56	4.50	1.1827	0.8041	4.2727	5.3175

En la figura 3 observamos que a medida que aumenta la concentración del zumo de yacón la temperatura de ebullición también aumentan generándose así una recta más distante respecto a la del punto de ebullición del agua la cual es tomada como Referencia, generándose así el aumento Ebulloscópico, lo cual concuerda con lo dicho por Ibarz (2005) que no solo va a depender de la presión en el sistema sino también de la presencia de soluto hace que la temperatura de ebullición aumente.

Crapiste y Lozano (1988) como Requena (1999) nos dicen que las soluciones de sacarosa son una mezcla de un disacárido (en mayor proporción) y algunas trazas de impurezas (ganadas en el proceso de su obtención), la cual nos hace atribuir la subida del punto de ebullición al componente mayoritario.

En la tabla 4 se presenta los valores numéricos de los parámetros α , β , γ , y δ , de la ecuación modificada de Crapiste y Lozano, para las soluciones modelo de jugo de yacón (Telis-Romero et al., 2002). Se observó una similar magnitud de los parámetros γ y δ de las soluciones modelo de jugo de caña estudiada con los del jugo de manzana y de la solución de sacarosa, lo cual indica la poca influencia de los componentes de la solución modelo en estos parámetros. El parámetro β fue similar al del jugo de manzana, pero difiere

sustancialmente al de la solución de sacarosa, esto se explica por la contribución que presentan los componentes de la solución modelo a la elevación de la temperatura ebullición.

Tabla 4. Comparación de valores de constantes encontrada en Estadística 7.0 y en de la competencia (Ec.3).

Valores de constantes	Valores de constantes encontrados en Estadística 7
α	0.073329
β	1.244971
δ	-0.216009
γ	-0.010971

Los datos experimentales obtenidos para la elevación de la temperatura de ebullición de las soluciones modelo del jugo de caña, se ajustaron adecuadamente al modelo de Crapiste y Lozano modificado por los autores, ecuación (2), confirmado por el alto valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9423$) y una buena distribución de residuos (Figura 4).

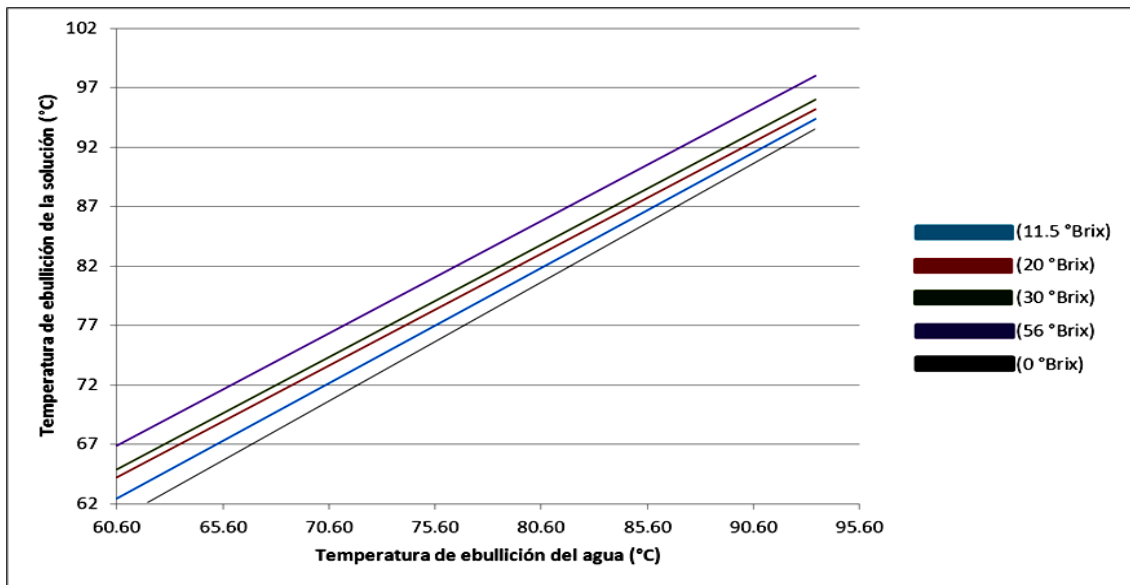


Figura 3. Relación entre la temperatura de ebullición del agua y la temperatura de ebullición de jugo de yacón de 11.5° a 56°Brix.

Las variaciones observadas en el punto de ebullición, para jugo de yacón a diferentes concentraciones, se pudo deber; según Pereda *et al.* (1998); a su viscosidad, el cual puede alterar el coeficiente de transferencia de calor y la velocidad de circulación del líquido, puesto que, normalmente, la viscosidad de una solución aumenta con su concentración, a medida que avanza la evaporación disminuye la velocidad de transferencia de calor.

Lozano), el cual alcanza un nivel de confiabilidad alta, que llega a 94.23%, lo cual indica una predicción aceptable para ser utilizado en trabajos futuros.

4. Conclusiones

Se logró observar que para un rango de presión de 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 bar de presiones absolutas en las diferentes soluciones de zumos de yacón con concentraciones de 11.5, 20, 30 y 56 °Brix, la relación entre la temperatura de ebullición de la solución y la temperatura del agua pura, es lineal, lo cual se representa a través del diagrama de Dühring. Se pudo observar que la ecuación de Crapiste y Lozano representa adecuadamente los datos experimentales de la temperatura de ebullición para las diferentes concentraciones de zumo de yacón. Los resultados obtenidos presentan una tendencia lógica, ya que al reducir la presión en el evaporador, disminuye el punto de ebullición de la temperatura de ebullición para las diferentes concentraciones de zumo de yacón. Se puede comparar las medidas obtenidas experimentalmente con datos reportados, en la literatura, de soluciones de sacarosa que se usan a menudo como modelos para representar el comportamiento de alimentos fluidos como extractos de café y jugos de fruta.

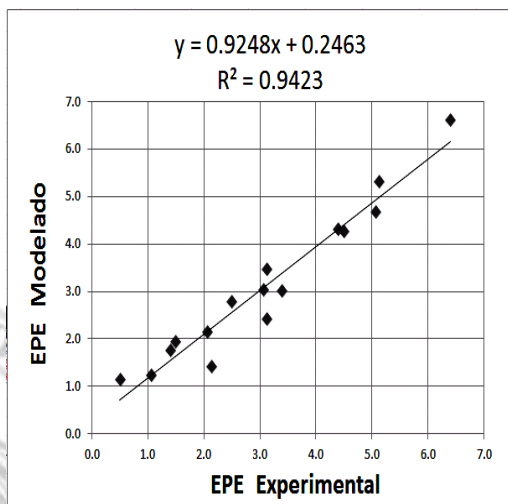


Figura 4. Correlación de EPE modelado y EPE experimental, y confiabilidad, R^2 .

La figura 4 representa la correlación del modelo mas cercano al modelo experimental (modelo de Crapiste y

Referencias bibliográficas

- Vanaclocha, C. y Requena, J. (1999) "Procesos De Conservación De Los Alimentos", ediciones A. Madrid Vicente, España, Pág. 136-138, 408.
- McCabe W., Smith J. (1982). Operaciones básicas de ingeniería química. Editor Reverte, 564 páginas.
- Ibarz, A. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España.
- Pereda, J. y Cambero, M. y García, M. (1998), "Tecnología De Los Alimentos – Componentes De Los Alimentos Y Procesos", Vol. I, Edit. Síntesis (España), Pág. 253 – 260.
- Geankoplis, C. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. CECSA, Mexico D.F.
- Westphalen, D. (1988). Cálculo da elevação do ponto de ebulição de soluções a partir de dados de pressão parcial.
- Telis-Romero, J., Cabral, R. And Kronka, G (2002). Elevation on boiling point of coffe extract. Braz. J. Chem. Eng., vol.19, no.1, 119-126.
- Cabral, R (2000). Influência da Temperatura e Fração de Água nos Parâmetros Reológicos do Extrato de Café [Master's thesis]. São José do Rio Preto: IBILCE/UNESP.
- Asocaña (2005). Aspectos generales del sector azucarero. Disponible: http://www.asocana.org/asocana/Inf2005_2006/index.htm [citado 11 de Julio de 2006].
- Ilagantileke, S., Ruba Jr., A. And Joglekar, H. (1991) Boiling Point Rise of Concentrated Thai Tangerine Juices. Journal of Food Engineering, 15, 235.
- Moresi, M. And Spinosi, M. (1984). Physical Properties Of Concentrated Apple Juices. In: Engineering and Food, Vol.1, Engineering Sciences in the Food Industry, edited by McKenna, B.M., Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Essex, 475.
- Varshney, N. And Barhate, V. (1978) Effect of Concentrations and Vacua on Boiling Points of Fruit Juices. Journal of Food Technology, 13, 225.
- Perry, R. Y Green, D. (2001). Manual del Ingeniero Químico. McGrawHill/Interamericana de España, S. A. U. España, 2-354, 2-355.

