



## Efecto de concentración de sólidos en la temperatura de ebullición de la leche de cabra y vaca

Effect of concentration of solids in the boiling temperature of the cow and goat milk

**Roberto Angulo\*, Patricia Beltrán, Guillermo Fernández, Rober Fuentes, Carlos Leyva, Franks Pardo**

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

Recibido 24 Octubre 2013. Aceptado 10 Noviembre 2013.

### RESUMEN

En este estudio se determina el aumento ebulloscopio que presenta la leche de vaca y cabra a dos concentraciones (entera y evaporada) en un rango de concentraciones 9,9 °Brix y 12,9 °Brix para leche entera; y 24,9°Brix y 25,3 para leche evaporada, y a presiones desde 0,4 hasta 0,9 bar (abs). La regla de Dühring logra representar la temperatura de ebullición de cada solución frente a la del agua a la misma presión, se obtiene una línea recta. Estos resultados se compararon con la expresión general dada por Ibarz (2005) 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 existe mayor concentración de sólidos en la leche, así como cuando se varía la presión.

**Palabras clave:** Leche de vaca, Leche de cabra, Aumento Ebulloscopio, Evaporación, Regla de Dühring.

### ABSTRACT

In this study the increase ebulloscopio having cow's milk and goat at two concentrations (whole and evaporated) in a concentration range of 9.9 ° Brix and 12.9 ° Brix for whole milk is determined, and 24.9 and 25.3 ° Brix for evaporated milk and pressures from 0.4 to 0.9 bar (abs). Duhring rule does represent the boiling point of each solution to the water at the same pressure, a straight line is obtained. These results were compared with the general expression given by Ibarz (2005) which was determined to save a logical trend established by the evaporation theory explains that the boiling point of a solution increases as there is a higher concentration of solids in milk, and when the pressure is varied.

**Keywords:** Cow's milk, goat milk, increase boiling point, evaporation, rule Dühring.

### 1. Introducción

La evaporación es un proceso regido por el equilibrio líquido-vapor que permite concentrar una solución compuesta de un soluto no volátil y un disolvente volátil, que en la mayoría de los casos es agua McCabe *et al.* (1991). Es también una operación unitaria de la más antigua y

ampliamente usada en la industria alimentaria para la conservación de jugos, productos lácteos, sopas, jarabes, entre otros; se han usado para prolongar la vida útil del producto, reducir el volumen o el peso de un líquido y así facilitar el transporte, inducir la consistencia y cambio de color incrementar la estabilidad de estos

\*Autor para correspondencia.

Email: jack\_8\_26@hotmail.com (C. Angulo)

productos o bien como un paso previo al proceso de secado (Varnam y Sutherland, 2001).

El grado de degradación de los materiales biológicos durante la evaporación está en función de la temperatura y del tiempo de procesamiento (Larson y Rolleri, 1955).

La leche que es uno de los alimentos más antiguos consumidos por el hombre, tiene un valor nutricional muy alto, ya que posee una gran cantidad de energía, proteínas de fácil asimilación, grasa, calcio, fosforo y varias vitaminas necesarias para muchas etapas en la vida del ser humano (Maza y Legorreta, 2011).

Los evaporadores utilizados en la industria láctea siempre operan en vacío, esto porque la leche es sensible al calor y una evaporación a 100 °C da lugar a la desnaturalización de las proteínas de la leche, lo que haría al producto no apto para el consumo humano, así que para disminuir el daño ocasionado por este, se puede realizar la evaporación al vacío y lograr así la disminución o reducción del punto de ebullición (Westergaard, 2004).

De esta manera este estudio fue realizado para proporcionar información sobre la presión a la que se debe trabajar para que la temperatura de ebullición de la leche sea la adecuada para no dañarla. Se trabajó con leche de vaca y cabra haciendo las curvas de Dühring con la leche entera (9,9 °Brix para la leche de vaca y 12,9 °Brix para la leche de cabra) y leche evaporada (24,9 °Brix para la leche de vaca y 25,3 °Brix para la leche de cabra). Proporcionando la relación entre la Temperatura de ebullición de cada solución con la del agua a la misma presión (desde 0,4 hasta 0,9 bar) y la relación entre las Temperaturas de ebullición y las presiones.

## 2. Materiales y métodos

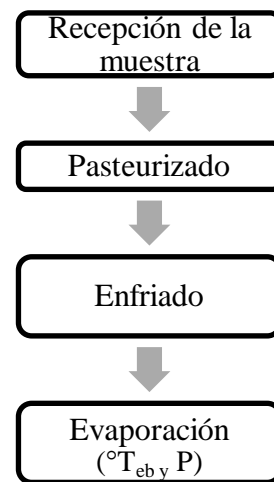
### 2.1 Materiales

- a) Materia prima:
  - Leche de Vaca y Cabra
- b) Equipo:
  - Equipo de evaporación (esquema utilizado por Telis-Romero, 2002).
  - Bomba de vacío (capacidad 0.1 – 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

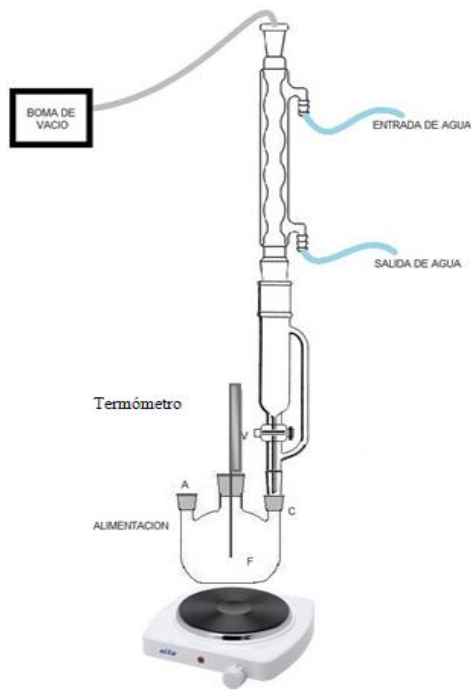
En la figura 1 se muestran las etapas consideradas para la evaporación de leche de cabra y vaca respectivamente.



**Figura 1.** Flujograma de proceso para evaporación de jugo de leche de cabra y vaca.

#### 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 A (figura 2) y se calentaron con una cocina eléctrica regulable, puesto que se tuvo que bajar la llama cada vez que se producía espuma en exceso, para evitar el desborde y las fugas que se puedan ocasionar. Se trabajó con una muestra de

leche (100 ml) a diferentes presiones alcanzando la temperatura de ebullición.

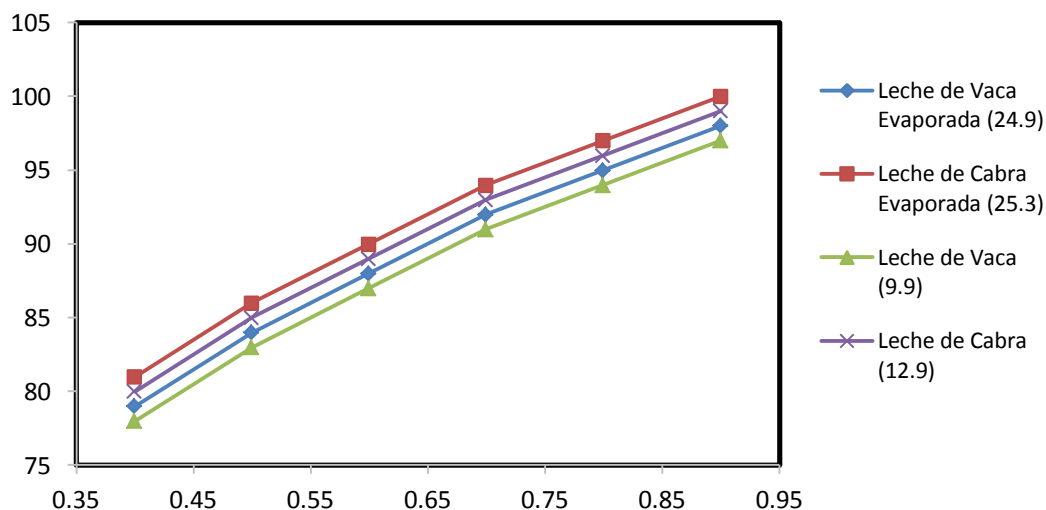
Entre tanto el vapor liberado asciende por el tubo más angosto del equipo soxhlet, hasta llegar al condensador de bolas en donde es enfriado por acción del agua que se recircula, retornando a la parte más ancha del soxhlet, en donde a través de la válvula V desciende al balón F, para conseguir que el ° Brix de cada solución no se altere. El condensador fue conectado a una bomba del vacío que permitió variar la presión en el rango de 0.4 a 0.9 bares (abs). Se registraron los valores finales, de la temperatura de ebullición de la solución y su presión asociada.

### 3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se aprecia que las temperaturas de ebullición de las diferentes concentraciones de diferentes tipos de leche son superiores a la temperatura de ebullición del agua, 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 1.** Datos obtenidos del EPE de la leche de vaca y de cabra

Presiones	Leche de vaca	Leche de Cabra	Leche de vaca	Leche de Cabra	T° eb Agua (°C)	EPE	EPE	EPE	EPE
	Evaporada (24,9 °BRIX)	Evaporada (25,3 °BRIX)	Evaporada (9,9 °BRIX)	Evaporada (12,9 °BRIX)		Experimental (24,9 °BRIX)	Experimental (25,3 °BRIX)	Experimental (9,9 °BRIX)	Experimental (12,9 °BRIX)
0,4	79	81	76	80	75,87	3,13	5,13	0,13	4,13
0,5	84	85	84	84	80,91	3,09	4,09	3,09	3,09
0,6	88	90	87	90	85,94	2,06	4,06	1,06	4,06
0,7	92	94	91	93	90	2	4	1	3
0,8	94	98	94	97	93,42	0,58	4,58	0,58	3,58
0,9	98	100	97	99	96,62	1,38	3,38	0,38	2,38



**Figura 3.** Relación entre la temperatura de ebullición y presión para leche entera y evaporada de vaca y cabra.

A medida que la presión aumenta en la evaporación de la leche, la elevación de temperatura también aumenta en todos los casos (Figura 3) puesto que se trabajó con concentraciones constantes en los diferentes tipos de leche.

Uno de nuestros mayores problemas fue la formación de espuma, provocado justamente por el aumento de la temperatura. Este problema también se presenta en las grandes industrias lácteas, por lo que también se trabaja con la variación de la presión.

Según Scott (1989) las proteínas séricas de la leche son muy termolábiles debido a su bajo contenido en fósforo, prolina (responsable de prevenir la formación de enlaces de hidrógeno en la coagulación) y por el contrario elevado contenido de aminoácidos azufrados.

La intensidad de la formación de espuma es una propiedad variable en las diferentes leches, e igualmente en la leche de una sola vaca en diferentes ordeños (Alais, 1985).

Si la leche se agita violentamente, se realiza una precipitación semejante en torno a las burbujas de aire; como resultado se produce espuma. El

calentamiento por encima de 30°C provoca un descenso de la tensión superficial y aumenta la tendencia a la formación de espuma, ya que la concentración de las partículas en torno a las burbujas es más activa; de esta manera se forma una película proteica elástica en torno al aire aprisionado, que le confiere una relativa estabilidad. Por debajo de 20°C se forma una espuma de naturaleza física diferente, poco estable (Alais, 1985).

Entonces según este autor, para poder evitar la formación de espuma se debe procurar trabajar a una presión con la que el punto de ebullición del producto sea cercano a 20°C, lo cual aun a presión de vacío es poco probable alcanzar.

Por otro lado Larson y Rolleri (1955) nos dicen que estas proteínas se desnaturalizan cuando se someten a temperaturas superiores a 56°C durante 30 min.

Por lo tanto, se puede trabajar a una temperatura menor a 56°C, encontrando una presión menor a la trabajada en este estudio.

En la Tabla 2 son los resultados obtenidos desarrollando los diversos métodos para poder obtener la elevación del punto de ebullición con las diferentes presiones a la que fue sometida la leche. Existen diversas formas de ellas la Elevación del Punto de Ebullición (EPE); entre las principales tenemos la expresión general (Ibarz, 2005):

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

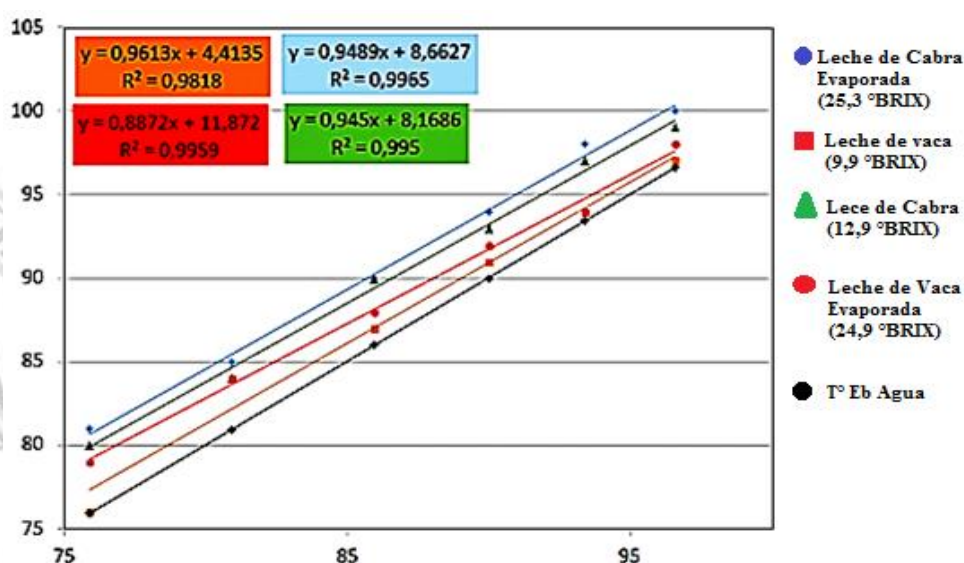
En la Tabla 2 se puede apreciar que los resultados obtenidos utilizando las ecuaciones 1 fueron menores a elevación del punto de ebullición (EPE) del experimental de evaporación de la leche, según Westphalen (1998) los modelos matemáticos tienen un uso

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 2 observamos que a medida que aumenta la presión de la evaporación de la leche 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 sólo va a depender de la presión en el sistema sino también de la presencia de soluto hace que la temperatura de ebullición aumente.

**Tabla 2.** Resultado obtenidos de las diversas formas de hallar el EPE

Presiones	EPE Experimental (24,9 °BRIX)	EPE 1	EPE Experimental (25,3 °BRIX)	EPE 2	EPE Experiment al (9,9 °BRIX)	EPE 3	EPE Experimental (12,9 °BRIX)	EPE 3
0,4	3,13	2,9608	5,13	4,5236	0,13	1,4723	4,13	3,7686
0,5	3,09	2,3968	4,09	4,3192	3,09	1,1627	3,09	3,5486
0,6	2,06	1,9456	4,06	4,0637	1,06	1,0466	4,06	3,2186
0,7	2	1,4944	4	3,8593	1	0,8918	3	3,0536
0,8	0,58	1,2688	4,58	3,6549	0,58	0,7757	3,58	2,8336
0,9	1,38	0,8176	3,38	3,5527	0,38	0,6596	2,38	2,7236



**Figura 4.** Relación entre la temperatura de ebullición del agua y la temperatura de ebullición de la leche de cabra y de vaca.

Las variaciones observadas en el punto de ebullición para la leche, 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.

#### 4. Conclusiones

Se pudo observar que la ecuación de Ibarz representa adecuadamente los datos experimentales de la temperatura de ebullición para las diferentes tipos de leche. 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 soluciones modelos de sacarosa. 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 y con lo que se comprueba la regla del mismo autor. Consideramos que una temperatura que evite la formación de espuma en el proceso de evaporación de leche apropiada es menor a 56°C, sugiriendo trabajar con presiones menores a las trabajadas en ese estudio.

#### 5. Referencias bibliográficas

- Alais Ch. 1985. Ciencia de la leche. Principios de Técnica Lechera. 4<sup>o</sup> edición. Editorial Reverté S. A. Barcelona.
- Ibarz, A. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Larson, B.; Roller, G. 1955. Heat denaturation of the specific serum proteins in milk. *J. Dairy Sci.* 38: 351-360.
- Maza, M.; Legorreta, P. 2011. Generalidades de la leche y los productos lácteos. Editorial Cámara Nacional de Industriales de la leche (CANILEC), México, D.F.p.26-43.
- McCabe W.; Smith J. 1991. Operaciones básicas de ingeniería química. Editorial Reverte, 564 páginas.
- Pereda, J.; Cambero, M.; García, M. 1998. Tecnología de los alimentos: Componentes de los alimentos y procesos. Vol. I, Edit. Síntesis (España), Pág. 253 – 260.
- Scott, K.J. 1989. Micronutrients in milk products. En: *Micronutrients in milk products and milk based food products*. Editado por: Renner, E. Elsevier Science Publishers Ltd. Essex, England, PP 71-123.
- Telis-Romero, J. C.; Cabral, R.; Kronka, G.; Telis, V. 2002. Elevation on boiling point of coffee extract. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 19(1): 119-126.
- Vanaclocha, C.; Requena, J. 1999. Procesos de conservación de los alimentos. Ediciones A. Madrid Vicente, España, 408: 136-138.
- Varnam, A. H.; Sutherland, J. 2001. *Milk and Milk Products: Technology, Chemistry, and Microbiology*. Aspen Publisher, Inc. Nueva York Estados Unidos, p.451.
- Westphalen, D. 1988. Cálculo da elevação do ponto de ebulição de soluções a partir de dados de pressão parcial.
- Westergaard, V. 2004. Tecnología de la leche en polvo; Evaporación y secado por atomización, Niro A/S. Copenhagen, Dinamarca, p.138.