

# Ecuación para predecir el rendimiento de queso tipo barra

Rolando P. Pecora<sup>1,2\*</sup>, César A. Dalla Costa<sup>2</sup> y Silvia C. Kivatinitz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto A. P. de Ciencias Básicas y Aplicadas - Universidad Nacional de Villa María.  
Villa María, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Química Industrial y Aplicada - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Departamento de Química Biológica - CIQUIBIC - Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina

\*rpecora@yahoo.com.ar



## Resumen

El queso barra es parte importante de la producción quesera argentina pero no hay una fórmula descrita para predecir su rendimiento. Se diseñó una ecuación empírica para queso barra y se determinaron los coeficientes de transferencia de masa con experimentos en condiciones controladas. La fórmula desarrollada fue capaz de predecir el rendimiento quesero mejor que la de Van Slyke y por lo tanto se sugiere su aplicación en la producción de este tipo de queso.

**Palabras clave:** Rendimiento quesero, ecuación empírica, queso de pasta semidura, coeficientes de transferencia de masa, Van Slyke.

## Introducción

El rendimiento quesero (RQ) es la cantidad de queso obtenida a partir 100 kg de leche. En la industria láctea es importante predecir el RQ de las producciones para prever los materiales, mano de obra y equipamientos que se utilizarán en la elaboración; además permite el cálculo de la rentabilidad del proceso de elaboración (Veisseyre 1980). Es importante contar con una fórmula que permita calcular un rendimiento quesero teórico lo más cercano al real para poder corregir desviaciones del proceso y seleccionar leche que asegure buenos rendimientos.

El rendimiento quesero ha sido estudiado desde hace más de un siglo por varios investigadores (Emmons *et al.*, 1990; Van Slyke, 1894). Varios autores han descrito diferentes fórmulas para predecir el RQ teniendo en cuenta la composición de la leche. Existen diferentes tipos de ecuaciones que utilizan la composición de la leche (reactante principal) utilizando uno o varios parámetros: contenido de proteína (PT) o caseína (C), materia grasa (MG), sólidos totales (ST) y sólidos no grasos (SNG); como también contenido de humedad (Hum%), sal y materia grasa del queso (FIL-IDF 1993). No existe una manera única de predecir el rendimiento quesero partiendo de la composición de la leche y de la composición deseada del queso y se han desarrollado modelos teóricos y empíricos y sus correspondientes fórmulas. El modelo teórico más utilizado es el de Van Slyke (Van Slyke, 1894), si bien hay otras fórmulas más complejas (Lolkema, 1993; Posthumus *et al.*, 1964; Emmons *et al.*, 1990; Melilli *et al.*, 2002; Jiménez-Márquez *et al.*, 2002). Algunas de las fórmulas son de aplicación general, mientras que otras fueron desarrolladas para quesos específicos.

Las fórmulas para predecir RQ se clasifican en dos tipos (Emmons *et al.*, 1990): a) Ecuaciones teóricas basadas en el conocimiento detallado de los cambios físico-químicos y biológicos de la elaboración del queso, y b) Ecuaciones empíricas, desarrolladas a partir de datos obtenidos de elaboraciones en condiciones controladas. Tanto los modelos teóricos como los empíricos expresan un balance de masa, ya que relacionan los kilogramos obtenidos de queso con los kilogramos de leche utilizada (Emmons, 1990; Morison, 1997; Roupas, 2008).

Para desarrollar nuevas fórmulas se puede realizar experimentos variando la composición de la leche y luego se determina RQ (Fenelon y Guinee, 1999) o se utilizan los datos obtenidos en una planta y se calculan las constantes de la fórmula (Coggins, 1991). La ecuación de Van Slyke es la fórmula utilizada en la Argentina para el cálculo del RQ (Meinardi, 2004) y la industria local la utiliza sin que haya datos publicados de coeficientes ajustados a las condiciones de materia prima y proceso regionales. Su aplicación presenta algunas difi-

cultadas, ya que se requieren datos de composición de leche, suero y queso que no siempre están disponibles en la industria (Meinardi, 2004).

El queso denominado genéricamente como "barra" es un queso de pasta semidura y semigraso similar al Tybo, Pategrás sandwich, Danbo o Tilsit (Zalazar, Meinardi y Hynes, 1999; Código Alimentario Argentino, 2013) y representa una parte importante de la producción de quesos en la Argentina (Castañeda, 2006; Centro de la Industria Lechera, 2003). En la actualidad no hay una fórmula para predecir el RQ de este queso.

El objetivo de este trabajo fue obtener una fórmula de predicción de rendimiento quesero de queso barra (RQ barra) y determinar los coeficientes aplicables en plantas de la región.

## Metodología

### Elaboraciones de queso barra

Se analizaron 863 elaboraciones de queso barra que fueron realizadas en la Planta Piloto de la ESIL (Villa María, Córdoba, Argentina) durante el período febrero de 2007 a diciembre de 2009. La leche se pasteurizó y se estandarizó a una relación de proteínas totales (PT) a materia grasa (MG) PT/MG de  $0,9 \pm 0,1$ . Se utilizó una tina doble cero de 3000 l, con sistema de calefacción por doble camisa de vapor; agitado y lirado mecánico incorporado en el equipo. Se añadió fermento láctico semidirecto Vivolac Bio 607 (pH 4.06) 82°C; Quimosina 200, marca Geneg de 170 IMCU/ml. Dosis: 180 ml/1000 l de leche;  $\text{CaCl}_2$  200 g/ 1000 l de leche y colorante Annato Hansen 131 en una dosis de 40 ml/1000 l de leche. Al queso producido se le dio forma de paralelepípedo (4 kg) y se maduró por 15 días a 4°C.

### Determinación del rendimiento quesero real

En cada una de las elaboraciones de queso se midió el rendimiento quesero real como kg de queso al final de la maduración (15 días) por cada de 100 kg de leche.

### Determinaciones de laboratorio

En la leche estandarizada y el suero de queso se efectuaron determinaciones de MG, PT, Caseínas (C), Lactosa (L), Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales No Grasos (SNG) por espectrofotometría de infrarrojo con un Espectro-fotómetro IR s/Milkoscan 4000 calibrado con técnicas de referencia. La humedad del queso se determinó por desecación en estufa (100–105 °C). El contenido de proteínas se realizó por la técnica de Kjeldahl (AOAC International, 2005; método 930.29) y el contenido de cloruros por el método de Mohr (AOAC:2000; método 935.43).

### Resultados

El RQ promedio de las 863 determinaciones fue  $9,3 \pm 0,7$  kg/100 kg de leche. La distribución de frecuencias mostró un comportamiento gaussiano clásico ( $R^2=0,9896$ ) como se puede observar en la figura 1. El ajuste a una distribución normal indica que el RQ depende de una variable aleatoria. Esto fue consecuencia de que las elaboraciones se realizaron en condiciones estandarizadas, por lo tanto las variaciones fueron al azar y podría haberse debido a fluctuaciones de la composición química de la leche, de las otras materias primas intervinientes o del proceso.

Debido a que el rendimiento quesero varió entre valores mínimos alrededor de 7,3 kg/100 kg y valores máximos cercanos a 12,5 kg/100 kg (Figura 1), se decidió realizar el análisis de los parámetros agrupándolos según



## DIVISIÓN LÁCTEA

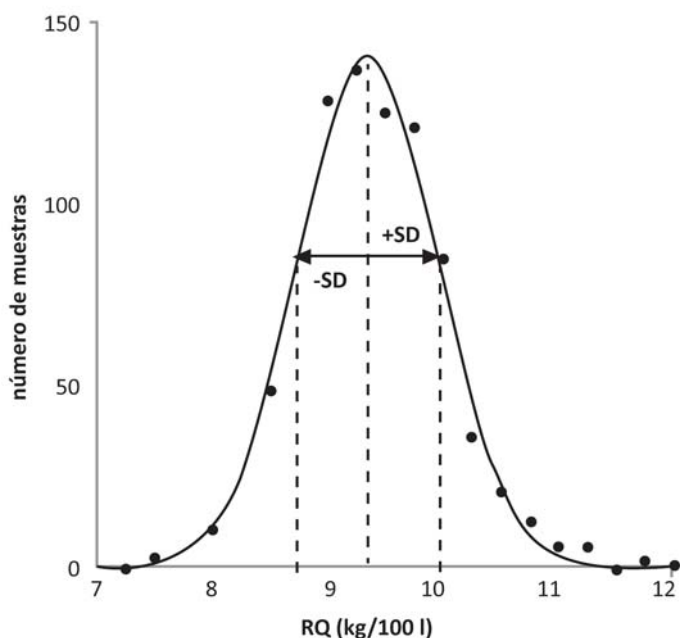
en permanente incorporación de tecnología e innovación para el sector

- Tanques silo para leche y suero
- Pasteurizadores e intercambiadores de calor a placas o tubulares
- Tanques de proceso para yogurt, suero, crema, fermento y helados.
- Equipamientos para elaboración de quesos: tinas doble "0", sistemas de desuerado, moldeo y prensado.
- Mecanización de queserías de mediana y gran capacidad.
- Líneas continuas para enfriado y secado de quesos.
- Túneles para aplicación de solución antimoho
- Saladeros y sistemas para tratamiento de salmuera.
- Elaboración de dulce de leche en pailas o sistema continuo por evaporación.
- Túneles para lavado de moldes y/o bandejas.
- Plantas de limpieza CIP
- Equipos para concentración y secado de leche y suero.



Asema S.A. Ruta Prov. N° 2 - altura 3900 (km. 13) - Tel/Fax: 54-(0)342-4904600 (rot) - CP3014 Monte Vera Pcia. Santa Fe - Argentina - asema@asema.com.ar - www.asema.com.ar

**Figura 1** - Distribución de frecuencia de los valores de RQ. Se graficaron los datos de los 863 rendimientos agrupados cada 0,25 kg/ 100kg y se realizó un ajuste no lineal ( $R^2= 0,9896$ ).



su valor de RQ en tres grupos: RQ Bajo, RQ Medio y RQ Alto. RQ Medio comprendió los valores de RQ iguales al promedio  $\pm 1$  desviación estándar; RQ Alto a los valores por arriba de RQ Medio, y RQ Bajo los valores menores a RQ Medio. En la tabla 1 se comparan los RQ reales de los tres grupos con los valores obtenidos cuando se aplicó la fórmula de Van Slyke. Es notorio que esta ecuación fue capaz de devolver con exactitud los valores del grupo RQ Alto pero no fue eficiente para predecir el grueso de valores que están en el grupo RQ Medio.

Los rendimientos queseros bajos correspondieron a muestras de leche que se distinguieron por un menor contenido de PT ( $3,2 \pm 0,1$  para RQ Bajo vs.  $3,3 \pm 0,1$  de RQ Medio o Alto;  $p < 0,0002$ ) y de ST ( $12,2 \pm 0,4$  para RQ Bajo vs.  $12,3 \pm 0,4$  y  $12,4 \pm 0,4$  para RQ Medio y Alto,  $p < 0,0002$ ). Se analizó la variación del rendimiento quesero real en función del contenido de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales. La correlación entre el rendimiento quesero real y las cuatro variables independientes se realizó aplicando cuadrados mínimos. Los valores de las

**Tabla 1.** Comparación del RQ calculado por Van Slyke y el real por grupos de rendimiento

	RQ Bajo n=120	RQ Medio n=648 (kg/100 kg)	RQ Alto n=95
RQ real	$8,3 \pm 0,3$	$9,3 \pm 0,4$	$10,5 \pm 0,5$
Van Slyke	$10,2 \pm 0,5$	$10,3 \pm 0,4$	$10,2 \pm 0,3$

pendientes (a) y de la ordenada al origen (b) junto con el valor de significancia de la pendiente se informan en la tabla 2. Se observó que el rendimiento quesero depende significativamente de los valores de proteínas y de sólidos totales.

A partir de la ecuación Van Slyke y Publów (Van Slyke y Publów, 1921) se desarrolló una ecuación similar, que considera los datos composicionales de leche y del queso disponibles en una planta elaboradora de mediana escala. Los parámetros considerados fueron PT, MG, L, Cz de la leche y humedad final del queso. La ecuación resultante se expresó de la siguiente manera:

$$Y = [(KMG * MG + KPT * PT + KL * L + CZ) / (100 - Hum\% - NaCl)] * 100$$

donde:

Y: Rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche)

KMG: constante de reparto para MG

KPT : constante de reparto para PT

KL: constante de reparto para L

CZ: contenido porcentual de ceniza de la leche

NaCl: sal incorporada en el proceso

El denominador de la fórmula expresa el contenido de ST del Queso y se determinó restando la humedad final del queso y la cantidad de sal incorporada en el proceso. El valor de cloruros se corrigió por el aporte proveniente del cloruro de calcio agregado durante la elaboración y transferido al queso.

Para poder establecer los coeficientes de transferencia de los componentes de leche a queso (KMG, KPT, KL, CZ) se realizaron doce elaboraciones de queso Barra en condiciones estandarizadas. A partir de los datos obtenidos (Tabla 2) se determinaron los coeficientes de reparto, calculando el cociente entre la concentración del componente en el queso y en la leche. Los coeficientes hallados fueron:  $MG = 0,7652$ ;  $PT = 0,7218$  y  $L = 0,0583$ . El valor de CZ fue muy constante ( $0,7 \text{ g\%}$ ) y la cuarta parte se recupera en el queso, por eso el término se utilizó como una constante ( $0,175$ ).

**Tabla 2.** Variación del rendimiento quesero real en función del contenido de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales, con los valores de las pendientes (a), de la ordenada al origen (b) y el valor de significancia de la pendiente. n.s.: no significativo

	a	b kg/100 l	p
MG	$0,06 \pm 0,11$	$9,46 \pm 0,34$	n.s.
PT	$0,89 \pm 0,18$	$6,37 \pm 0,57$	$< 0,0001$
L	$0,037 \pm 0,053$	$9,08 \pm 0,26$	n.s.
ST	$0,22 \pm 0,05$	$6,60 \pm 0,70$	$< 0,0001$

Tabla 3. Parámetros de leche, suero y queso en la fórmula RQ barra. Los valores son los promedios  $\pm$  la desviación estándar (n=10). n.d.: no determinado

	Leche	Suero g/100ml	Queso
MG	3,1 $\pm$ 0,07	0,7 $\pm$ 0,1	25 $\pm$ 2
PT	3,2 $\pm$ 0,01	0,84 $\pm$ 0,04	24 $\pm$ 1
L	5,00 $\pm$ 0,08	5,1 $\pm$ 0,2	0,06 $\pm$ 0,02
CZ	0,70 $\pm$ 0,01	n.d.	0,17 $\pm$ 0,01
Cloruros	n.d.	n.d.	2,0 $\pm$ 0,2
Humedad	n.d.	n.d.	43 $\pm$ 2

Empleando estos coeficientes la fórmula RQ barra se expresó como:

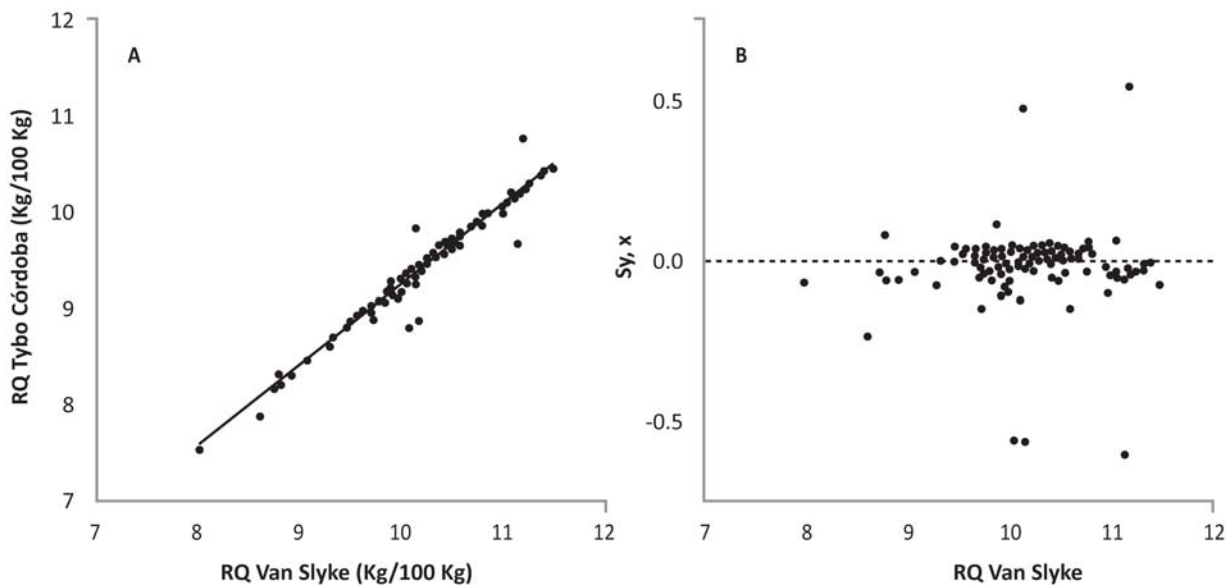
$$Y = \frac{[(0,7652 * MG + 0,7218 * PT + 0,0583 * L + 0,175)]}{(100 - Hum\% - 1,93)} * 100$$

Los valores de RQ real y los calculados por la fórmula RQ barra para estas diez elaboraciones fue  $9,1 \pm 0,1$  y  $9,0 \pm 0,1$  kg/100 kg, respectivamente, y estadísticamente no fueron distintos entre sí aplicando un test de Student para datos apareados.

### Comparación de RQ Barra con el método de referencia

Se estudió la correlación entre el método de Van Slyke (VS) y RQ Barra (Figura 2 A), y la diferencia entre cada pareja de valores frente a la media de estos (Figura 2 B). Este tipo de análisis es el que se utiliza para validar cualquier método que se desee implementar frente a otro método de referencia (Bland y Altman, 1995). La figura 2 muestra que hay una muy buena correlación entre los dos métodos de cálculo de RQ en todo el rango de valores y

**Figura 2** - Gráficos de correlación entre la fórmula RQ Barra Córdoba y la de RQ Van Slyke (A) y análisis de Bland y Altman (B). (A) La recta se obtuvo realizando un ajuste de cuadrados mínimos  $R^2 = 0,9416$ ; pendiente  $a = 0,83 \pm 0,01$ ; ordenada al origen  $b = -0,002 \pm 0,07$ ;  $S_{y,x} 0,088$



**INSUMOS, EQUIPAMIENTOS  
Y PROCESOS PARA  
UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA  
DE MÁXIMA CALIDAD.**



> Av. Pueyrredón 2488 P.B. "A" (C1119ACU) Buenos Aires, Argentina.  
Tel.: 54-11-4801-0202 / info@biaconsult.com.ar / www.biaconsult.com.ar

Tabla 4. Comparación de RQ real y RQ barra por grupos e rendimiento

	RQ Bajo n=120	RQ Medio n=648 (kg/100 kg)	RQ Alto n=95
RQ real	8,3 ± 0,3	9,3 ± 0,4	10,5 ± 0,5
RQ barra	9,4 ± 0,4	9,5 ± 0,4	9,5 ± 0,4

que la concordancia es buena, ya que la pendiente tuvo un valor cercano a la unidad. La distribución de los residuales fue simétrica en relación a la línea de regresión, incluso en los valores extremos de la curva (Figura 2 B) indicando que ambos modelos son equivalentes.

Cuando se efectuaron los cálculos para los datos agrupados en RQ Bajo, Alto y Medio se observó que esta fórmula predice los valores de RQ Medio (que abarca el 75% de las elaboraciones) con mucha exactitud (Tabla 4).

### Discusión

La fórmula que aquí se propone pronosticó mejor que la de Van Slyke los valores de RQ Medio, ya que los valores pronosticados con Van Slyke fueron superiores a los reales y a los calculados por RQ barra. Otros autores han señalado que la fórmula de Van Slyke sobrestima los rendimientos (Emmons *et al.*, 1990) y se han desarrollado fórmulas capaces de predecir el rendimiento de un proceso específico (Nelson y Barbano, 2005), sin embargo no se ha realizado para queso barra.

Van Slyke predijo mejor que RQ barra los RQ Alto (Tabla 1 y 4). La fórmula de Van Slyke parece ser adecuada para leche con un valor de proteínas totales de aproximadamente 3,3% de las cuales 78% corresponde a caseínas (Emmons *et al.*, 2003; Bruhn y Franke, 1991; Burke, 2006; Van Slyke, 1894). La leche utilizada en las 863 elaboraciones analizadas tuvo un contenido de proteínas de 3,2% en promedio y el contenido de caseínas fue del 69% (Scheidegger y col., 2008 y 2010). La fórmula de predicción de rendimiento quesero de Van Slyke ha sobrevivido un siglo porque es adecuada para realizar la tarea para la cual fue creada: proporcionar información de la eficiencia del rendimiento quesero estándar a través del cual distintas plantas pueden compararse (Coggins, 1991).

El método de cálculo que se presenta en este trabajo es de fácil aplicación en cualquier planta, ya que se utilizan parámetros de composición química de la leche disponibles en cualquier planta láctea. Los coeficientes de MG, PT y L deben ser ajustados en cada planta de la región para aplicar exitosamente la RQ barra.

### Agradecimientos

Las investigaciones fueron financiadas por Instituto de Investigación de la Universidad Nacional de Villa María, la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba; CONICET, MinCyT-Córdoba y FUNESIL, Villa María, Córdoba.

### Bibliografía

- Bland, J.M., Altman D.G. (1995) Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet* 346: 1085-87.
- Bruhn, John C., y Antoine A. Franke (1991). Raw Milk Composition and Cheese Yields in California: 1987 and 1988. *Journal of dairy science* 74 (3):1108-1114.
- Burke, J. A. 2006. Two mathematical programming models of cheese manufacture. *Journal of Dairy Sciences* 89: 799-809.
- Castañeda R. (2006) ¿Qué quesos comemos los argentinos? *Saber Como* 40:4. <http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc40/inti5.php>
- Código Alimentario Argentino, Ministerio de Salud de la Nación, Ley 18284, Dto.2126, Anexo 1, Capítulo VIII, Resolución GMC N° 079/94. 1994. Reglamento Técnico General Mercosur de Identidad y Calidad de Quesos. Centro de la Industria Lechera, Junio de 2003 <http://www.quesosargentinos.gov.ar/paginas/Documento2.PDF>
- Coggins, Jay S. (1991). Predicting Cheddar Cheese Yield in an Individual Plant: Van Slyke Revisited. *Journal of dairy science* 74:359-368.
- Emmons, D. B., C. Dubé, y H. W. Modler. (2003) Transfer of Protein from Milk to Cheese1. *Journal of Dairy Science* 86:469-485.
- Emmons, D. B., C. A. Ernstrom, C. Lacroix, y P. Verret. (1990) Predictive Formulas for Yield of Cheese from Composition of Milk: A Review. *Journal of Dairy Science* 73:1365-1394.
- FIL-IDF, Federation Internationale de Laiterie. (1993) Cheese yield and Factors Affecting its control. *Proceedings of the IDF Seminar Cork Ireland*:540 pp.
- Fenelon M.A. y T.P. Guinee (1999) The effect of milk fat on Cheddar cheese yield and its prediction using modifications of the Van Slyke cheese yield formula. *Journal of Dairy Science* 82:2287-2299.
- Jimenez-Marquez, S. A., C. Lacroix, y J. Thibault. (2002) Statistical Data Validation Methods for Large Cheese Plant Database. *Journal of Dairy Science* 85:2081-2097.
- Lolkema, H. (1993) Factors affecting the yield of cheese. In *Factors affecting the yield of cheese*, edited by D. B. Emmons. Brussels: Inter. Dairy Federation.
- Melilli, C., J. M. Lynch, S. Carpino, D. M. Barbano, G. Licitra, y A. Cappa. (2002) An Empirical Method for Prediction of Cheese Yield. *Journal of Dairy Science* 85 (10):2699-2704.
- Meinardi, C. A.; C. A. Zalazar; E. R. Hynes y M. C. Candiotti (2004). Incremento del rendimiento del queso cremoso argentino por tratamiento de la leche a temperaturas y tiempos superiores a los de pasteurización. *Revista Argentina de Lactología*. 22, 45-54.
- Morison, K.R. (1997). Cheese manufacture as a separation and reaction process. *Journal of Food Engineering*. 32: 179-198.
- Nelson, B. K., y D. M. Barbano (2005). Yield and aging of Cheddar cheeses manufactured from milks with different milk serum protein contents. *Journal of Dairy Science* 88:4183-94.
- Posthumus, G., C. J. Booy, y C. J. Klijn. (1964) The relation between the protein content of milk and cheese yield. *Neth. Milk Dairy Journal*. 18:155-164.
- Roupas, P. (2008). Predictive modelling of dairy manufacturing processes. *International Dairy Journal*. 18:741-753.
- Scheidegger, D.; R. P. Pecora; P. M. Radici, y S. C. Kivatinitz (2008). Alteración del perfil proteico de leche en polvo por acción de la luz ultravioleta o fluorescente Cesia-Cibsa 2008 Editores Raventós Mercé y Salazar Jordi Univ. Politec de Cataluña. Barcelona. 312-317 ISBN 978-84-96736-57
- Scheidegger D., R. P. Pecora, P.M. Radici y S. C. Kivatinitz (2010). Protein Oxidative Changes in Whole and Skimmed Milk after UV or Fluorescent Light Exposure *Journal of Dairy Science*, 93:5101-9.
- Van Slyke, L. L. 1894. Investigation relating to the manufacture of cheese. *New York Agricultural Experimental Station Bulletin* 65.
- Van Slyke, L.L. y C.A. Plow (1921). The science and practice of cheese making. *New York: Orange Judd Company* 487p.
- Veisseyre, R. (1980). *Lactología Técnica*. Editado por Acribia. Zaragoza, España.
- Zalazar, C., C. Meinardi y E. Hynes (1999), Quesos típicos argentinos. Una visión integral sobre producción y características. P. 45-46. Universidad Nacional del Litoral - Centro de Publicaciones - Santa Fe.