

Dalla Costa, César Alberto

Rendimiento quesero teórico y real de la leche de la cuenca de Villa María, Córdoba

**Tesis para la obtención del título de posgrado de
Magister en Tecnología de los Alimentos**

Director Pécora, Rolando Pascual

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA
Facultad de Ciencias Químicas

RENDIMIENTO QUESERO TEÓRICO Y REAL DE LA LECHE
DE LA CUENCA DE VILLA MARÍA, CÓRDOBA

Tesis de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Católica de Córdoba
conforme a los requisitos para obtener el título de MAGISTER EN TECNOLOGÍA DE
LOS ALIMENTOS

por

ING. CÉSAR ALBERTO DALLA COSTA

CORDOBA

2015

Director del Trabajo Final:

Prof. Dr. Rolando Pascual Pécora
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

Co-Directora del Trabajo Final:

Prof. Dra. Silvia Clara Kivatinitz
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Nacional de Córdoba

Comisión de Trabajo Final:

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto dándome la salud y la fortaleza espiritual para sobreponerme a todos los obstáculos propios y externos que tuve que sortear para lograr este objetivo.

A mi esposa Mariela y mis Hijos Micaela, Milagros y Tomas.

Por su constante apoyo en pos de mi crecimiento profesional y humano con un amor incondicional.

A mis padres Julio y Carmen.

Por los valores que desde niño me inculcaron y que hoy me permiten ser una persona de bien.

A mi Director, Prof. Dr. Rolando Pascual Pecora.

Por haber creído en el proyecto y en mí, por haber puesto a mi disposición con total generosidad todo su conocimiento y experiencia técnica acompañada de sus valores humanos y un constante aliento, motivación e infinita dedicación y paciencia.

A mi Co-Directora, Prof. Dra. Silvia Kivatinitz.

Por todo el tiempo que dedicó a enseñarme y su precisa e invaluable crítica constructiva que me permitía a cada paso revisar el camino recorrido y definir el que resta recorrer.

AGRACEDIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), a la Universidad Nacional de Villa María (UNVM) y la Fundación Cultural de Profesores y Amigos de la Escuela Superior Integral de Lechería, por haber facilitado los recursos humanos, físicos y económicos sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible.

La SeCYT y la SEU de la UNC, el Instituto de Investigación de la UNVM y la FUNESIL contribuyeron con el financiamiento del proyecto aportando los recursos necesarios para su realización.

La FUNESIL puso a disposición su planta piloto para realiza todos los experimentos y su laboratorio para realizar las determinaciones analíticas.

David Hantis colaboró en las elaboraciones controladas siendo becario de la SEU y también participó personal Becado por CONICET y MinCyT Córdoba.

A las personas de las Instituciones citadas que colaboraron activamente en la tesis.

Por la inestimable colaboración de cada uno de ellos para la realización de este trabajo. La UNC participó a través de docentes-investigadores del Departamento de Química Industrial y Aplicada de la FCEFyN (Dr. Rolando Pécora), de docentes-investigadores del Departamento Quimifica Biológica de la Facultad de Ciencias Químicas (Dra. Silvia Kivatinitz y Bioq. Dana Scheidegger), de docentes-investigadores del Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas de la Universidad Nacional de Villa María (IAPCBA de la UNVM) (Gerardo Echeverría, José Romano, Laura Prato y Hugo Traverso), de docentes-investigadores de la Escuela Superior de Lechería de Villa María (Gustavo Cherubini, Alberto R. Carballo, Alejandro Coria, Pablo Massel, Darío Ramadori, Griselda Gon).

Deseo agradecer especialmente a Carlos Berra quien colaboró en etapas muy iniciales del proyecto cuando se desempeñaba como director de la ESIL.

César Alberto Dalla Costa

PROLOGO

Soy Ingeniero Químico de profesión, graduado en 1997 en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (FRC).

En el ámbito privado, me desempeño como Auditor líder de TÜV Rheinland Argentina S.A. para la certificación de Sistemas de Gestión de Calidad e Inocuidad de Alimentos bajo las normas (ISO 9001:2008, ISO 22000:2005, BRC); y como docente calificado para el dictado de los Cursos de formación de Auditores IRCA para las norma ISO 9001:2008 e ISO 22000:2005. Adicionalmente me desempeño como consultor en el área de Calidad y Alimentos de la empresa Servicios Institucionales.

En el ámbito académico soy docente de la Cátedra Bromatología y Toxicología de la carrera Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFYN) de la Universidad Nacional de Córdoba y de la Cátedra de Procesos Industriales, de la carrera de Ingeniería Industrial en la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Vinculado al ámbito académico, participo en el grupo de investigación interdisciplinario e interinstitucional (UNC-UNVM-ESIL) cuyos directores son el Dr. Rolando Pécora y la Dra. Silvia C. Kivatinitz, ambos docentes-investigadores de la Universidad Nacional de Córdoba y de la Universidad Nacional de Villa María y Director y Codirectora de esta Tesis.

El trabajo realizado ha contribuido a mi formación tanto en lo profesional como en lo docente y lo científico ya que el tema seleccionado está relacionado con los tres aspectos. En el aspecto profesional me ha permitido ampliar el conocimiento sobre procesos, tecnología y gestión de la industria láctea. En lo científico me ha permitido desarrollar tareas de investigación que han permitido publicaciones de distinta índole en congresos y revistas nacionales e internacionales. En lo docente me ha permitido llevar estas experiencias y conocimientos a todos los alumnos universitarios y no universitarios con los que interacciono.

El haber realizado la maestría ha requerido la aplicación del método científico como herramienta para obtener y analizar los datos y arribar a conclusiones importantes para la región donde desarrollo mis actividades. Esta Tesis me ha permitido ampliar los conocimientos básicos de la química de la leche y relacionarlos con el rendimiento quesero, parámetro por excelencia utilizado para medir la eficiencia del proceso industrial.

La elección del tema para esta tesis surgió de mi interés personal por este tipo de industria vinculada a mi actividad profesional. Además, desde el año 2006, soy integrante del grupo de investigación, que estudia aspectos básicos y aplicados de la ciencia de la leche y productos

lácteos. Se decidió circunscribir el alcance de esta tesis a un aspecto poco desarrollado en nuestro país, como es el cálculo del rendimiento quesero utilizando parámetros propios obtenidos en una planta procesadora de la región (ESIL). Este tema hizo necesario realizar elaboraciones de queso en una planta piloto a pequeña escala y el análisis de datos de cientos de elaboraciones que se habían realizado en la misma. El volumen de trabajo que esto demandó se ve reflejado en el periodo de trabajo (2007-2011) que incluyó el análisis de los datos, las elaboraciones programadas en condiciones definidas y el estudio del estado del arte a nivel internacional y la escritura del presente documento y de trabajos para comunicar los hallazgos a la comunidad tecnológica-científica nacional.

INDICE GENERAL

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTOS | vi |
| PROLOGO | vii |
| INDICE GENERAL | ix |
| INDICE FIGURAS | xii |
| INDICE TABLAS | xiii |
| INDICE ECUACIONES | xv |
| RESUMEN | xvii |
| SUMMARY | xviii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 DATOS GENERALES DE LA PRODUCCIÓN QUESERA DE ARGENTINA Y DE CÓRDOBA | 1 |
| 1.1.1. LA ACTUALIDAD DEL SECTOR | 1 |
| 1.1.2. PRODUCCIÓN ARGENTINA DE QUESOS | 3 |
| 1.1.3. QUESO: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN | 5 |
| 1.2. COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE VACA | 7 |
| 1.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DE LA LECHE | 8 |
| 1.2.1.1. LAS CASEINAS DE LA LECHE | 10 |
| 1.2.1.2. LA MICELA DE CASEÍNA | 11 |
| 1.2.1.3. LAS PROTEÍNAS SÉRICAS | 12 |
| 1.2.2. LA MATERIA GRASA DE LA LECHE | 13 |
| 1.2.3. LA LACTOSA | 14 |
| 1.2.4. MINERALES | 14 |
| 1.3. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE DE LA CUENCA DE VILLA MARÍA | 15 |
| 1.4. LA ELABORACIÓN DE QUESO Y SUS ETAPAS | 16 |
| 1.5. LOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE LA ELABORACIÓN DEL QUESO | 19 |
| 1.5.1 DESCRIPCIÓN DE UNA PLANTA QUESERA | 20 |
| 1.6. EL RENDIMIENTO QUESERO | 21 |
| 1.6.1. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO QUESERO | 23 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.6.2. EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN EL RENDIMIENTO QUESERO | 24 |
| 1.7. MODELOS TEÓRICOS Y EMPIRICOS EN EL DESARROLLO DE FORMULAS DE RENDIMIENTO QUESERO | 26 |
| 1.8._ MODELO MATEMÁTICO PARA PREDECIR EL RENDIMIENTO QUESERO EN LA REGION DE VILLA MARIA, CORDOBA | 28 |
| 2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS | 29 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 29 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 29 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 30 |
| 3.1. MATERIAS PRIMAS | 30 |
| 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS DE PLANTA | 30 |
| 3.3. ELABORACIÓN DE QUESO TYBO | 31 |
| 3.4. DETERMINACIONES DE LABORATORIO | 32 |
| 3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS. | 33 |
| 3.6. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO QUESERO REAL | 35 |
| 3.7. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO QUESERO TEÓRICO APLICANDO LAS FORMULAS DE LA BIBLIOGRAFÍA | 35 |
| 3.8. DESARROLLO MATEMÁTICO PARA PREDECIR EL RENDIMIENTO QUESERO TEÓRICO DE QUESO TYBO EN CORDOBA | 36 |
| 3.9. DATOS DE ELABORACIONES DE QUESO TYBO | 38 |
| 4. RESULTADOS | 39 |
| 4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE Y RENDIMIENTO QUESERO REAL | 39 |
| 4.2. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO QUESERO EN FUNCIÓN DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS DE LA LECHE | 41 |
| 4.3. AGRUPACIÓN DE RENDIMIENTOS QUESEROS BAJOS, MEDIOS Y ALTOS: RELACIÓN CON LOS COMPONENTES QUÍMICOS DE LA LECHE | 43 |
| 4.4. EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE LAS FÓRMULAS DE RENDIMIENTO QUESERO AL PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESO TYBO | 44 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5. DISCUSIÓN | 51 |
| 6. CONCLUSIONES | 53 |
| 7. ANEXOS | 54 |
| 7.1. ANEXO I DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACION DE QUESO TYBO EN LA PLANTA MODELO | 54 |
| 8. GLOSARIO | 58 |
| 9. BIBLIOGRAFIA | 61 |

INDICE FIGURAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>FIGURA 1: Ubicación y delimitación de las cuencas lecheras de la república argentina.</i> | <i>1</i> |
| <i>FIGURA 2: Evolución de la Producción Anual de Leche en la Argentina entre 1970 y 2010 en millones de litros [3]......</i> | <i>2</i> |
| <i>FIGURA 3: Evolución de la Producción Anual de Quesos en la Argentina entre 1989 y 2009 en miles de toneladas [2].</i> | <i>4</i> |
| <i>FIGURA 4: Evolución del consumo interno per cápita de Quesos de pasta semidura en la Argentina entre 1990 y 2009 kg por habitante al año [2].</i> | <i>4</i> |
| <i>FIGURA 5 Evolución de las exportaciones de Quesos de pasta semidura entre 1991 y 2009 kg en miles de toneladas y millones de dólares[2].</i> | <i>5</i> |
| <i>FIGURA 6: Composición de la leche de la cuenca lechera de Villa María.</i> | <i>7</i> |
| <i>FIGURA 7: Fotografía de una separación de proteínas de leche entera por SDS-PAGE.....</i> | <i>10</i> |
| <i>FIGURA 8: Micela de Caseína - Micrografía por microscopía electrónica de barrido de alta resolución de emisión de campo [30].</i> | <i>12</i> |
| <i>FIGURA 9: Esquema ilustrativo del tamaño relativo de los componentes de la leche. Tomado de [40].</i> | <i>17</i> |
| <i>FIGURA 10: Esquema del proceso de coagulación de la leche.</i> | <i>18</i> |
| <i>FIGURA 11: Evolución mensual de los valores de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales</i> | <i>40</i> |
| <i>FIGURA 12: Evolución mensual de los valores de rendimiento quesero.....</i> | <i>41</i> |
| <i>FIGURA 13: Rendimiento quesero en función de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales</i> | <i>42</i> |
| <i>FIGURA 14: Materia grasa, proteína, lactosa o sólidos totales agrupados por rendimiento quesero bajo, rendimiento quesero medio y rendimiento quesero alto.....</i> | <i>44</i> |
| <i>FIGURA 15: Correlación lineal entre los resultados de RQTybo Cba en función del método de referencia [8].....</i> | <i>47</i> |
| <i>FIGURA 16: Distribución mensual de los valores de rendimiento quesero bajo, medio y alto calculado como fracción de las muestras totales por mes</i> | <i>48</i> |
| <i>FIGURA 17: Comparación de los valores promedios de la relación MG/P y el RQ en los meses de Dic-En, Jun-Jul y las 12 elaboraciones controladas.....</i> | <i>49</i> |
| <i>FIGURA 18: Dependencia en un modelo lineal de los ST respecto del RQ Real y sus residuales.....</i> | <i>50</i> |

INDICE TABLAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>TABLA I: Quesos típicos de argentina definidos en el C.A.A, su contenido de materia grasa sobre extracto seco y humedad</i> | <i>6</i> |
| <i>TABLA II. Esquema de Rowland de partición de las proteínas de la leche.....</i> | <i>9</i> |
| <i>TABLA III: Perfil de ácidos grasos de la leche producida en la Cuenca Lechera Central de la Argentina.....</i> | <i>13</i> |
| <i>TABLA IV: Promedio anual y valores mínimos (Mín) y máximos (Máx) de Materia Grasa, Proteína Totales, Lactosa, Sólidos Totales y Sólidos Totales no Grasos.....</i> | <i>15</i> |
| <i>TABLA V: Parámetros de procesos de las 12 elaboraciones de queso Tybo.....</i> | <i>32</i> |
| <i>TABLA VI: Ecuaciones utilizadas para el cálculo del rendimiento quesero teórico descritas por Emmons y aplicadas a queso Tybo elaboradas con la leche de la cuenca de villa María (Emmons, Ernstrom et al. 1990). Y = rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), F = materia grasa (Fat), C = caseína (Casein), M = humedad (Moisture).....</i> | <i>35</i> |
| <i>TABLA VII: MG, Hum, PT, C, Cl₂Na, L, ST, SNG en leche, suero y queso. Los resultados son valor promedio obtenido de las determinaciones en las muestras provenientes de las 12 elaboraciones estandarizadas y parametrizadas, ± su SD.....</i> | <i>37</i> |
| <i>TABLA VIII: Coeficientes de transferencia de los componentes de la leche al queso calculados a partir de los datos analíticos de las muestras provenientes de las 12 elaboraciones estandarizadas y parametrizadas.....</i> | <i>37</i> |
| <i>TABLA IX: Valores promedios de materia grasa, proteínas, lactosa y sólidos totales en leche estandarizada con sus desviaciones estándar y los valores máximos y mínimos..</i> | <i>39</i> |
| <i>TABLA X: 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</i> | <i>42</i> |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>TABLA XI: Contenidos de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales agrupándolos según los tres grupos de rendimiento quesero (bajo, medio o alto).....</i> | <i>43</i> |
| <i>TABLA XII: Rendimiento quesero real y calculado con los modelos matemáticos de Tipo A Van Slyke, Tipo A Van Slyke, Tipo B (Gouda), Tipo C (Gouda), Lolkema.....</i> | <i>45</i> |
| <i>TABLA XIII: Rendimiento quesero promedio real y calculado con la ecuación RQ Tybo Córdoba con sus desviaciones estándar y los valores máximos y mínimos.....</i> | <i>46</i> |
| <i>TABLA XIV: Valores de la pendiente de los datos agrupados en RQ alto, medio, bajo; graficando los pares x,y donde x es RQ real y el valor que devuelve el modelo aplicado.....</i> | <i>46</i> |
| <i>TABLA XV: Cualidades de la correlación lineal entre los resultados de RQ Tybo Cba en función del método de referencia</i> | <i>48</i> |
| <i>TABLA XVI: Parámetros obtenidos por ajuste lineal entre ST y RQ.....</i> | <i>50.</i> |

INDICE ECUACIONES

- ECUACION 1: Modelo de Van Slyke y Publow para la determinación de rendimiento quesero[42]. Y = rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), F = materia grasa (Fat), C = caseína (Casein), M = humedad (Moisture).....28*
- ECUACION 2: Modelo teórico para la determinación de rendimiento quesero de Queso Tybo de la Leche de la cuenca lechera de Villa María, Córdoba. Y: Rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), MG: contenido porcentual de materia grasa de la leche (g%), P: contenido porcentual de proteína de la leche, L: es el contenido porcentual de lactosa de la leche (g%), Cz: contenido porcentual de ceniza de la leche(g%), KG, P, L y Cz – minúscula) : coeficientes de transferencia de los componentes de la leche a queso.....36*
- ECUACION 3: Fórmula RQ Tybo para la predicción del rendimiento quesero la leche de la cuenca de Villa María. Y: es el rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), MG: es el contenido porcentual de materia grasa de la leche (g%), PT: es el contenido porcentual de proteína total de la leche (g%), L: es el contenido porcentual de lactosa de la leche (g%), Cz: es el contenido porcentual de ceniza de la leche (g%), Hum%: Es el porcentaje de humedad del queso. 1.93 constante calculada que incluye todos sólidos no lácteos incorporados al queso (sal, cloruro de calcio, etc)38*

RESUMEN

RENDIMIENTO QUESERO TEÓRICO Y REAL DE LA LECHE DE LA CUENCA DE VILLA MARÍA, CÓRDOBA

El “rendimiento quesero” (RQ) se define como la cantidad de queso obtenida a partir de una determinada cantidad de leche (kg de queso por 100 kg de leche).

La predicción del rendimiento quesero permite prever los materiales, mano de obra, equipamiento y estimar la rentabilidad del proceso. Las fórmulas de predicción del RQ describen como se reparten los componentes de la leche entre el queso y los subproductos.

Autores europeos y norteamericanos han desarrollado varios modelos para quesos Mozzarella, Gouda y Cheddar, en la Argentina la fórmula de predicción del RQ más utilizada es la de Van Slyke, que es aplicada a cualquier tipo de queso.

La hipótesis de esta investigación es que las fórmulas desarrolladas son inadecuadas para predecir el RQ del queso Tybo elaborado en la industria local. Por ello se procedió a determinar el RQ real de queso Tybo a partir de los datos históricos (2007-2009) de una planta modelo de elaboración y relacionarlo con la composición química de la leche procesada. Se efectuaron diez elaboraciones de queso con parámetros de producción totalmente controlados. Se efectuaron además cálculos del RQ teórico aplicando las fórmulas de la bibliografía.

Se encontró que el RQ real promedio fue de $9,3 \pm 0,7$ kg/100 kg. En las elaboraciones en condiciones controladas RQ real promedio fue de $9,1 \pm 0,4$ kg/100 kg.

Cuando se calcularon los RQ con las fórmulas de la bibliografía (Van Slyke, Van Slyke para Gouda, fórmulas tipo B, fórmulas tipo C y Lolkema) los valores encontrados fueron $10,2 \pm 0,4$; $10,0 \pm 0,4$; $10,0 \pm 0,4$; $10,1 \pm 0,4$ y $10,1 \pm 0,4$ kg/100 kg respectivamente.

Debido a que los valores de RQ que predicen estas fórmulas son mayores que los reales se desarrolló una fórmula empírica que se denominó “RQ Tybo Córdoba”. El RQ calculado con esta fórmula a partir de los datos históricos fue $9,5 \pm 0,4$ kg/100 kg, mientras que en los procesos en condiciones controladas $9,0 \pm 0,4$ kg/100 kg.

La fórmula desarrollada predice valores más cercanos a los reales que las otras de la bibliografía.

Palabras claves: Queso, rendimiento quesero, predicción rendimiento queso Tybo.

SUMMARY

THEORETICAL Y REAL CHEESE YIELD MILK BASIN VILLA MARIA, CORDOBA

The "cheese yield" (RQ) is defined as the amount of cheese obtained from a given amount of milk (kg of cheese per 100 kg of milk).

The cheese yield prediction can provide the materials, labor, y equipment y estimate the profitability of the process. The RQ prediction formulas described as the milk components are distributed between the cheese y by products.

European y American authors have developed several models for Mozzarella cheese, Gouda y Cheddar, in Argentina the RQ prediction formula highest used is Van Slyke, which is applied to any type of cheese.

The hypothesis of this research is that the formulas developed are inadequate to predict the RQ Tybo cheese produced in the local industry. For this we proceeded to determine the actual RQ Tybo cheese in a model plant y analyzing the data related to the chemical composition of processed milk. Ten elaborations of cheese with totally controlled production parameters were carried out. Calculations of theoretical RQ according to the formula literature were developed.

It was found that the actual RQ average was 9.3 ± 0.7 kg/100 kg. In cheese elaborations under controlled conditions the average RQ was 9.1 ± 0.4 kg/100 kg.

When calculated with the literature RQ formulas (Van Slyke, Van Slyke for Gouda, formulas type B, type C y Lolkema) values found were 10.2 ± 0.4 , 10.0 ± 0.4 , 10.0 ± 0.4 , 10.1 ± 0.4 y 10.1 ± 0.4 kg/100 kg respectively.

Because RQ values that predict these formulas are greater than the actual RQ an empirical formula termed "RQ Tybo Cordoba" was developed.

The RQ calculated with this formula when processing historical data was 9.5 ± 0.4 kg/100 kg y in the processes under controlled parameters was 9.0 ± 0.4 kg/100 kg. The developed formula predicts values closer to real than the others from the literature.

Keywords: Cheese, cheese yield, cheese yield prediction Tybo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DATOS GENERALES DE LA PRODUCCIÓN QUESERA DE ARGENTINA Y DE CÓRDOBA

1.1.1 LA ACTUALIDAD DEL SECTOR

La producción de leche en la República Argentina se desarrolla en las provincias de Buenos Aires; Córdoba, Entre Ríos; La Pampa; Santa Fé; Salta y de Tucumán [1].

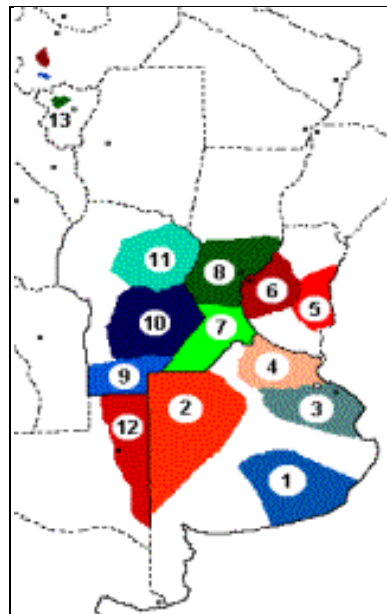


FIGURA 1: Ubicación y delimitación de las cuencas lecheras de la república argentina.

1. Mar y Sierras, 2. Oeste, 3. Abasto Sur, 4. Abasto Norte), Santa Fe (7. Sur, 8. Central), Córdoba (9. Sur, 10. Villa María, 11. Noreste), Entre Ríos (5. Cuenca "B", 6. Cuenca "A"), La Pampa (12. La Pampa) y Tucumán (13. Cuenca de Trancas) [2].

Según estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación [2], existen hoy en el país 14.000 tambos, que en conjunto produjeron en el 2010, 10.308 millones de litros. La evolución desde 1970 a 2010 puede apreciarse en el Figura 2 [2].

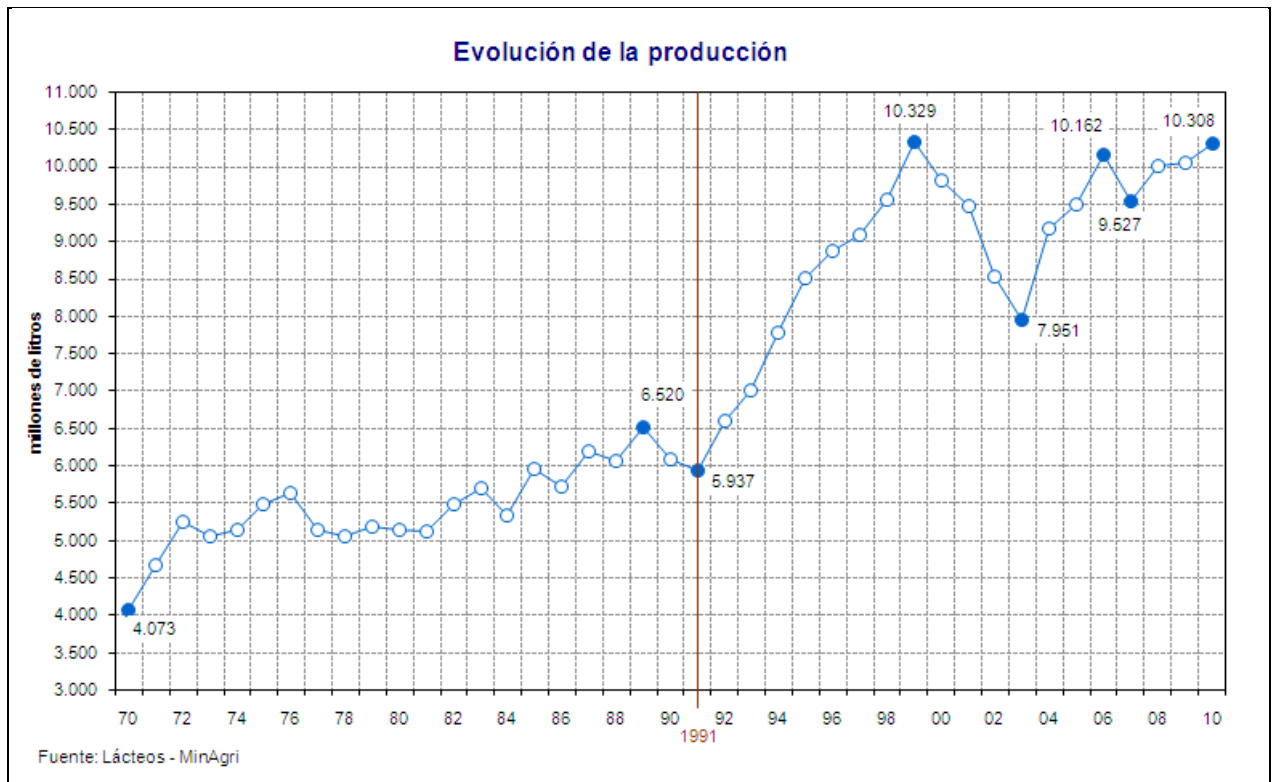


FIGURA 2: Evolución de la Producción Anual de Leche en la Argentina entre 1970 y 2010 en millones de litros [3].

Córdoba, es la segunda provincia productora de leche del país con el 36% de la producción total. Hay cuatro cuencas, Noroeste, Villa María, Central y Sur que aportan un tercio de la producción lechera nacional [2,3] es decir 3.351 millones de litros anuales durante 2009.

La más importante es la de Villa María, que se continúa con la cuenca Santa Fe Centro (Figura 1), constituyéndose en la zona lechera más importante del país. Para esta cuenca, la productividad promedio supera 850 millones de litros/año, es decir aproximadamente el 25% de la producción provincial [3,4].

El total de leche producida se industrializa en empresas de las cuencas mencionadas. El sector industrial lechero está compuesto por algo más de 1.100 empresas registradas. Los establecimientos industriales se agrupan en tres segmentos claramente identificados:

- Un grupo de unas 10 a 12 empresas con una recepción de más de 250.000 litros diarios, diversificadas en sus líneas de producción, con incorporación de tecnología de punta, y que procesan el 50-55 por ciento de la producción nacional.
- Un grupo de unas 90 a 100 empresas con una recepción de entre 20.000 y 250.000 litros diarios, con un perfil tecnológico diverso (desde muy tecnificada hasta proceso manual)

jugando un fuerte papel en el sector quesero, y que procesan el 25 por ciento de la producción nacional.

- Más de 1.000 empresas y tambos fábrica con menos de 20.000 litros diarios de recepción, con tecnología muy heterogénea, que se dedican casi en forma exclusiva a la fabricación de quesos proceso el 20-25 por ciento de la producción nacional [5].

1.1.2 PRODUCCIÓN ARGENTINA DE QUESOS

La producción total de quesos de la República Argentina se ha duplicado en los últimos 20 años, llegó a una cifra cercana a las 250.000 toneladas/año en 2009 consumiendo más de un tercio de la producción de leche del país. Ese crecimiento está dado principalmente por el incremento en la producción de quesos de pasta blanda y semidura que representan 170.000 toneladas/año [3].

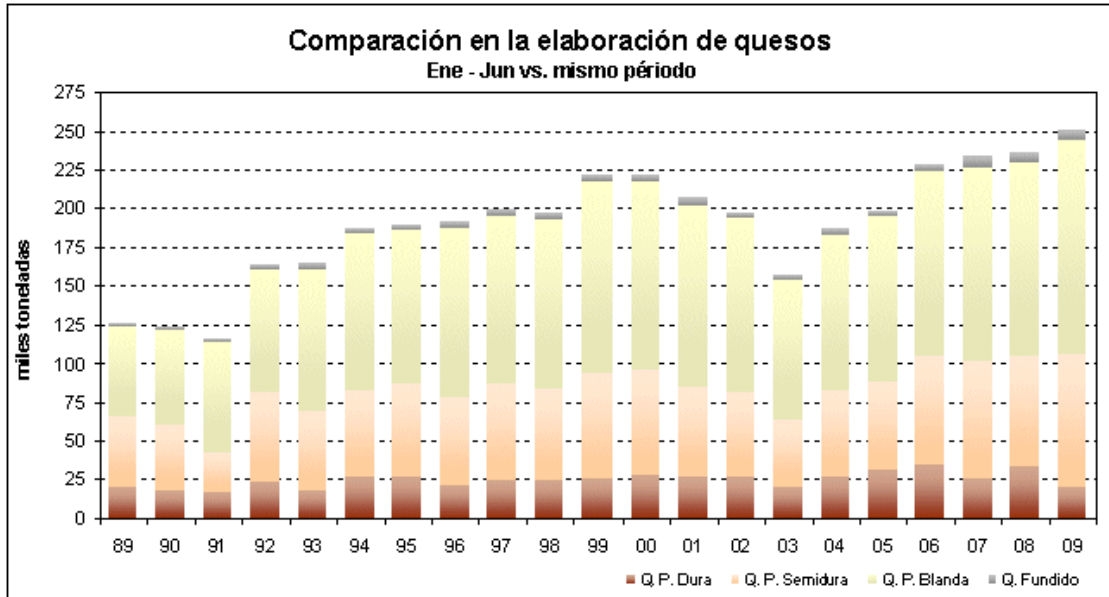


FIGURA 3: Evolución de la Producción Anual de Quesos en la Argentina entre 1989 y 2009 en miles de toneladas [2].

Este crecimiento en la producción se explica por la evolución del consumo interno per cápita para quesos de pasta semi dura entre los que se destaca por su gran proporción el Tybo, como puede observarse en la Figura 4 [2].

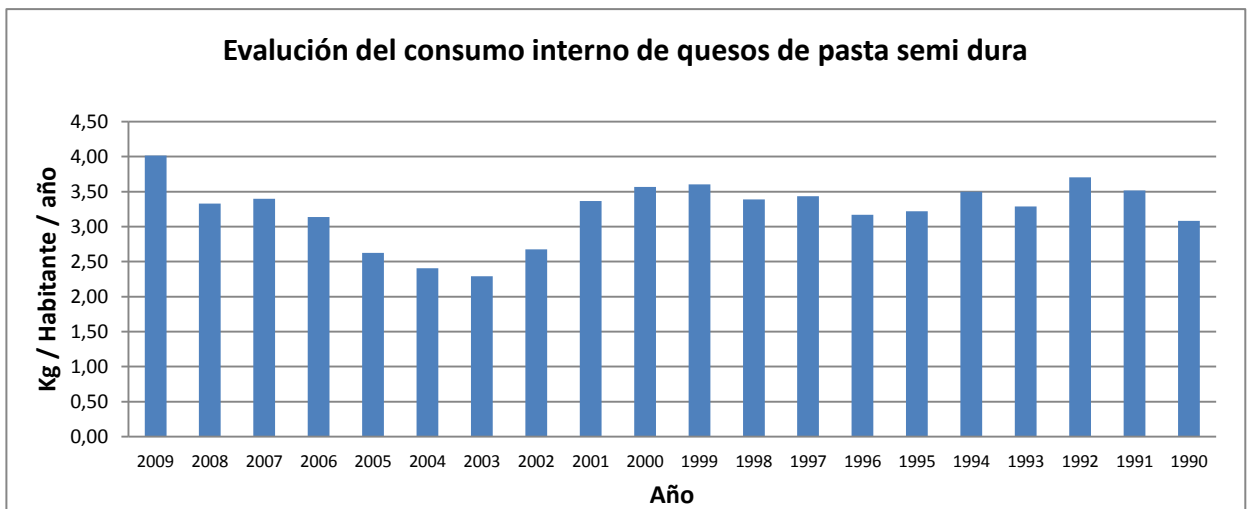


FIGURA 4: Evolución del consumo interno per cápita de Quesos de pasta semidura en la Argentina entre 1990 y 2009 kg por habitante al año [2].

En sintonía con el mercado interno, las exportaciones de quesos de pasta semidura, muestran también una tendencia creciente en la Figura 5 [2], donde el Tybo, representa el 55% de la producción total [6].

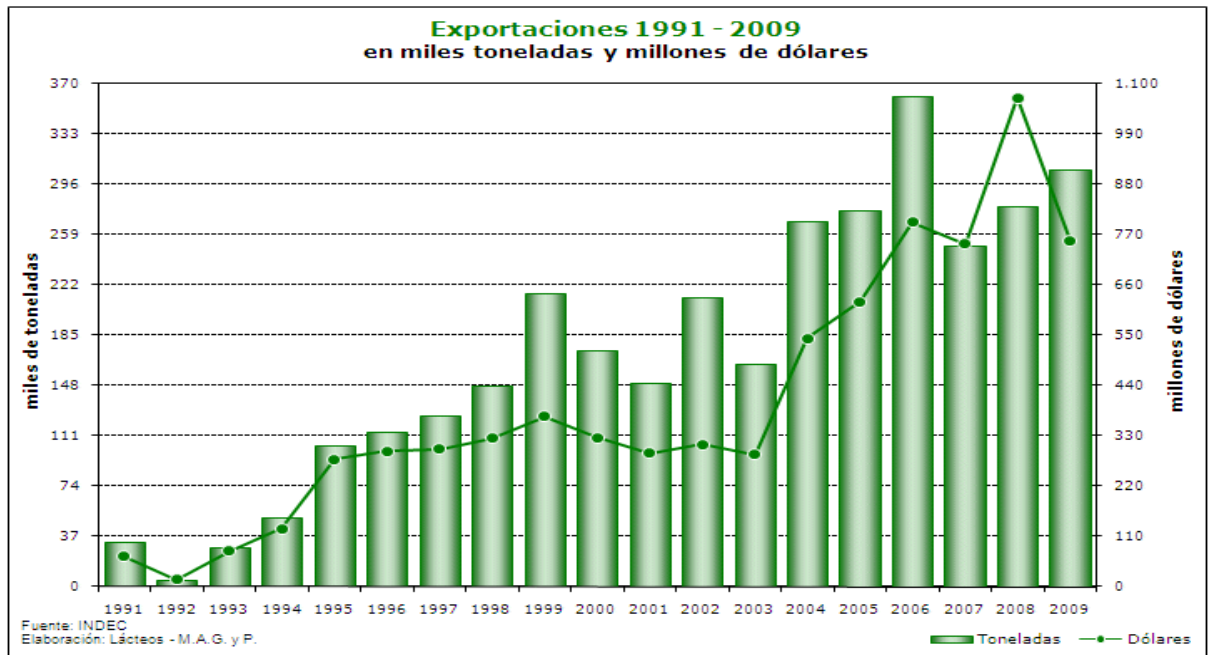


FIGURA 5 Evolución de las exportaciones de Quesos de pasta semidura entre 1991 y 2009 kg en miles de toneladas y millones de dólares[2].

La importancia socioeconómica de la producción quesera nacional y en particular para la provincia de Córdoba, se debe en parte a la gran cantidad de mano de obra que emplean estas pequeñas y medianas industrias, en un mercado interno y externo en franco crecimiento luego de la crisis del 2001.

1.1.3 QUESO: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Queso es “el producto fresco o madurado que se obtiene por separación parcial del suero de la leche o leche reconstituida (entera, parcial o totalmente descremada), o de sueros lácteos, coagulados por la acción física, del cuajo, de enzimas específicas, de bacterias específicas, de ácidos orgánicos, solos o combinados, todos de calidad apta para uso alimentario; con o sin el agregado de sustancias alimenticias y/o especias y/o condimentos, aditivos específicamente indicados, sustancias aromatizantes y materiales colorantes” [7].

El queso se debe elaborar con leche y/o leche reconstituida (integral o entera, semi desnatada o parcialmente descremada, desnatada o descremada y/o suero lácteo), y opcionalmente se puede agregar Cultivos de bacterias lácticas u otros microorganismos específicos, cloruro de Sodio, cloruro de calcio, caseína, caseinatos, sólidos de origen lácteo, especias y condimentos [7].

El queso fresco es aquel que está listo para el consumo poco después de su fabricación, mientras que el madurado es el que ha experimentado los cambios bioquímicos y físicos necesarios y característicos de cada variedad de queso.

El Código Alimentario Argentino [8] clasifica a los quesos, de acuerdo al contenido de materia grasa del extracto seco en: a) Extra Graso o Doble Crema: cuando contengan no menos del 60 %; b) Grasos: cuando contengan entre 45,0 y 59,9 %; c) Semigrasos: cuando contengan entre 25,0 y 44,9 % ; c) Magros: cuando contengan entre 10,0 y 24,9 %; d) Descremados: cuando contengan menos de 10,0 %. De acuerdo al contenido de humedad los clasifica en: a) Quesos de baja humedad - hasta 35,9 % ó pasta dura; b) Quesos de mediana humedad - entre 36,y 45,9 % ó pasta semidura; c) Quesos de alta humedad - entre 46,0 y 54,9 % - pasta blanca ó macíos; d) Quesos de muy alta humedad (generalmente conocidos como de pasta muy blanda o mole) humedad no menor a 55,0 %.

En otra parte del Código Alimentario Argentino se indica que “todos los productos denominados queso, incluirán el nombre de la variedad si corresponde, siempre que responda a las características de la variedad de que se trate, especificadas en un Reglamento Técnico Individual Mercosur. El nombre podrá ser acompañado de las denominaciones establecidas en la clasificación.” [8]. Algunos Ejemplos son:

TABLA I Quesos típicos de argentina definidos en el C.A.A, su contenido de materia grasa sobre extracto seco y humedad.

| NOMBRE DE QUESOS | CONTENIDO DE MATERIA GRASA DEL EXTRACTO SECO | CONTENIDO DE HUMEDAD |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| POR SALUT, Graso, de alta humedad | entre 45,0 y 59,9 % | entre 46,0 y 54,9 % |
| CREMOSO Graso, de muy alta humedad | entre 45,0 y 59,9 % | no menor a 55,0 % |
| MOZZARELLA, Semigrasos, de muy alta humedad | entre 25,0 y 44,9 % | no menor a 55,0 % |
| TYBO Semigraso, de mediana humedad | entre 25,0 y 44,9 % | entre 36,y 45,9 % |
| GOUDA Grasos, de mediana humedad | entre 45,0 y 59,9 % | Quesos - entre 36,y 45,9 % |
| SARDO Semigrasos, de baja humedad | entre 25,0 y 44,9 % | hasta 35,9 % |
| REGIANITO Grasos-Semigrasos baja humedad | cuando contengan entre 45,0 y 59,9 % | hasta 35,9 % |

1.2 COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE VACA

El conocimiento de la composición química de la leche es importante para la industria elaboradora de quesos ya que sus modificaciones inciden en el rendimiento [9,10]. Esto es particularmente importante para la industria productora de quesos ya que el rendimiento quesero es una función de la concentración de los dos componentes mayoritarios de la leche: proteínas y materia grasa [9,11,12]. Además en la producción quesera incide la relación entre los distintos componentes de la leche [10,11,13].

La leche está compuesta por agua, proteínas (P), materia grasa (MG) y lactosa (L) y componentes minoritarios como minerales (M), ácidos orgánicos y vitaminas [13].

La leche de la cuenca lechera Argentina presenta valores diferentes de los indicados por la bibliografía internacional para la leche de otros países [14]. Las diferencias encontradas se atribuyeron a diversos factores como, genética bovina, calidad y cantidad de alimento y manejo del tambo [14]. De estos trabajos surge que la leche de producción Argentina es la más equilibrada en su relación MG/PT (desde un punto de vista tecnológico) ya que es la que genera menor excedente de MG [14,15]. Nuestro grupo ha estudiado la composición química promedio de la leche de la cuenca lechera de Villa María [16] (Figura 6) :

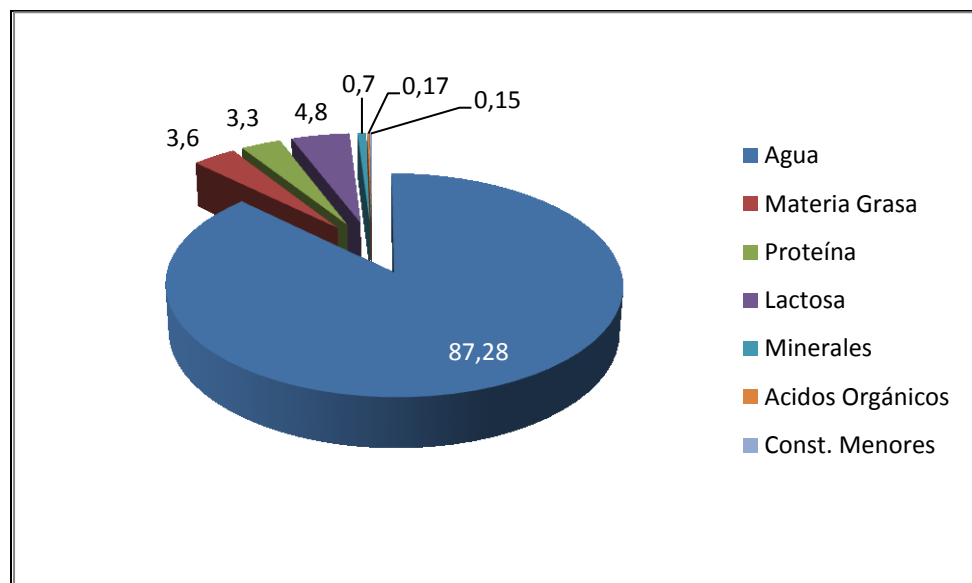


FIGURA 6: Composición de la leche de la cuenca lechera de Villa María.

Datos tomados de Pecora [16].

Las moléculas que forman la materia grasa (MG) de la leche son mayoritariamente triglicéridos y en menor cantidad fosfolípidos, colesterol y lípidos complejos. Las variaciones

mayores se observaron en el contenido de Materia Grasa, pero estas se equilibran con el de agua a fin de mantener una relación más o menos constante con los otros componentes mayores de la leche (proteínas y lactosa) [16].

1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DE LA LECHE

Históricamente se ha considerado al contenido de proteínas de la leche como el valor de nitrógeno total multiplicado por un factor de 6,38 [17,18].

La clasificación de los componentes nitrogenados de la leche fue propuesta por Rowland [19] siguiendo un concepto operacional de acuerdo al esquema de fraccionamiento por precipitación ácida. Las proporciones de los componentes nitrogenados de la leche se muestran en la Tabla II.

El 94% del nitrógeno es proteína verdadera que se divide en dos grupos, las caseínas y las proteínas séricas, el 6% restante corresponde a la fracción denominada nitrógeno no proteico compuesta por a urea, aminoácidos y péptidos.

Las caseínas son un grupo de proteínas de alto peso molecular cuya característica principal es la termoestabilidad, y la precipitación (coagulación) se produce por acción del cuajo, el calcio o la acidez. Las proteínas séricas, son termolábiles, y no coagulan por acción del cuajo, calcio ó acidez.

La concentración total y la composición de las proteínas de la leche varían según la raza, la etapa de lactancia, número de lactancia, temporada, alimentación y la salud de la vaca [20,21].

TABLA II: Esquema de Rowland de partición de las proteínas de la leche [19,22].

| PROTEÍNAS DE LA LECHE DE LA VACA | | |
|-----------------------------------------|-------------|-------------------|
| PROTEINAS | g/Kg | Porcentual |
| Proteínas Totales | 33 | 100% |
| CASEÍNAS TOTALES | 26 | 79.5% |
| <i>Caseína alfa_{s1}</i> | 10 | 30,6 % |
| <i>Caseína alfa_{s2}</i> | 2.6 | 8% |
| <i>Caseína beta</i> | 9.3 | 28,4% |
| <i>Caseína kappa</i> | 3.3 | 10,1% |
| PROTEÍNAS SÉRICAS | 6,3 | 19,3% |
| <i>Alfa lactoalbúmina</i> | 1.2 | 3,7 % |
| <i>Beta lactoglobulina</i> | 3.2 | 9,8% |
| <i>Albúmina sérica bovina (BSA)</i> | 0.4 | 1,2% |
| <i>Inmunoglobulinas</i> | 0.7 | 2,1% |
| <i>Proteosa peptona</i> | 0.8 | 2,4% |
| NITRÓGENO NO PROTEICO | 0,7 | 6% |

1.2.1.1 LAS CASEÍNAS DE LA LECHE

La leche de vaca contiene cuatro fracciones de caseínas (α_{s1} , α_{s2} , β y κ) que en conjunto representan 2,6 g% p/p de leche (Figura 7).

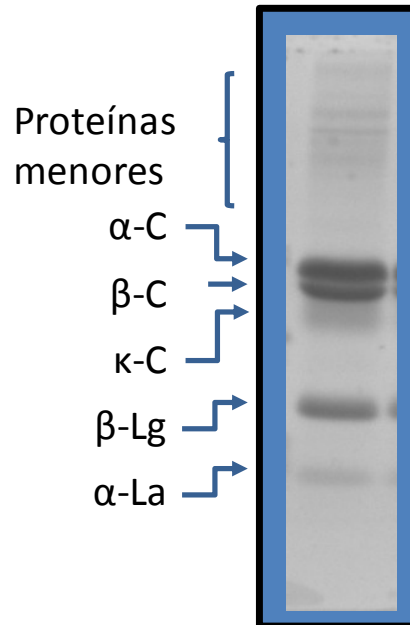


FIGURA 7: Fotografía de una separación de proteínas de leche entera por SDS-PAGE. Las proteínas se tiñeron con el colorante Coomassie Blue. Se indican las principales proteína. [16]

Las características particulares de la caseína, se deben a la estructura primaria y se describen brevemente a continuación [23].

a) Son fosfoproteínas, en las que algunas unidades de serina están substituidas con un grupo fosfato.

b) Las subunidades más importantes en cuanto a cantidad caseínas α_{s1} y β , no contienen cistina ni cisteína, por lo que no tienen la capacidad de formar enlaces disulfuro (-S-S-) inter o intramoleculares.

c) Las subunidades presentes en menor concentración, caseínas α_{s2} y κ , contienen un enlace disulfuro (-S-S-) intracadena y forman enlaces disulfuro (-S-S-) intercadena.

d) Las cuatro subunidades son hidrofóbicas, es decir, contienen muchos aminoácidos con cadenas laterales apolares o poco polares. La caseína κ , contiene una región nitrógeno terminal (restos 1 a 105) hidrofóbica y una región carboxilo terminal (residuos 106 a 169), hidrofílica que se denomina glicomacropéptido (GMP).

e) La caseína contienen cantidades relativamente altas de prolina, y por lo tanto son proteínas no estructuradas.

f) No han sido cristalizadas aún y no sufren desnaturalización térmica en el rango de temperaturas utilizadas en la industria láctea.

Estas propiedades explican en parte como se asocian las subunidades para formar el complejo macromolecular tal como se encuentra en la leche (la llamada micela de caseína), así como el comportamiento de la caseína en la leche y a los distintos procesos que se la somete. También explican la capacidad de la caseína para asociarse a los lípidos de la leche y la partición de la materia grasa en el coágulo [24].

1.2.1.2. LA MICELA DE CASEÍNA

La mayoría (alrededor del 95%) de las moléculas de caseínas se encuentran formando grandes estructuras coloidales, conocidas como micelas. No se conoce acabadamente la organización de las moléculas en las micelas y se han sugerido varios modelos [25]. Los cuatro más conocidos son:

- El modelo de submicela [26],
- El modelo de la capa pilosa [27],
- Modelo de doble enlace [28],
- Modelo de interacciones duales [29].

Todos los modelos mencionados explican la coagulación de la caseína por acción del cuajo, paso fundamental para la elaboración de quesos [28].

Se ha podido establecer que las micelas de caseína son partículas con un diámetro en el rango entre 50 nm y 250 nm. En la figura 8 se puede observar una micela de caseína fotografiada por microscopia electrónica de barrido [30].

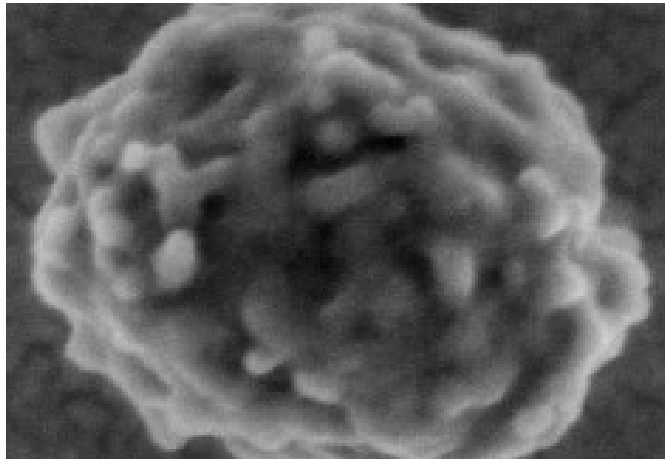


FIGURA 8: Micela de Caseína - Micrografía por microscopía electrónica de barrido de alta resolución de emisión de campo [30].

1.2.1.3 LAS PROTEÍNAS SÉRICAS

Las principales proteínas del lactosuero son la α -lactoalbúmina y β -lactoglobulina. En términos de masa, la β -lactoglobulina constituye cerca del 50 % de las proteínas séricas y es la más hidrofóbica de las mismas, pero es muy soluble en agua debido a que la mayoría de los componentes no polares están en el interior de la proteína mientras que los componentes polares están en la superficie. La α -lactoalbúmina es una molécula formada por 123 aminoácidos, contiene cuatro puentes disulfuro y es una glicoproteína que tiene cantidades variables de carbohidratos y constituye cerca del 20 % de la masa de las proteínas del lactosuero. En estas proteínas de la leche no se observan entrecruzamientos intermoleculares [20].

Las proteínas séricas se pierden parcialmente durante los tratamientos térmicos previos a la coagulación, pero afectan el rendimiento quesero ya que una fracción permanece en solución en el suero retenido por la cuajada, y otra parte, parcialmente desnaturizada, permanece asociada a las caseínas. Ésta propiedad y la capacidad de retener agua influyen en el rendimiento quesero [31].

1.2.2 LA MATERIA GRASA DE LA LECHE

La materia grasa de la leche se presenta en forma de glóbulos cuyo diámetro promedio varía entre 2,5 y 5 micrones. La mayoría de la grasa (98%) está constituida por triglicéridos (éster de glicerol y ácidos grasos).

La composición ácida de la MG de la leche, puede variar en función de factores Fisiológicos (ej: raza, edad, etc) y Ambientales (ej: alimentación, clima, época del parto) [20]. A título ilustrativo se presenta el perfil de ácidos grasos de leches producidas en la cuenca lechera central argentina en la Tabla III.

TABLA III: Perfil de ácidos grasos de la leche producida en la Cuenca Lechera Central de la Argentina [14].

| PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS | CONCENTRACIÓN (G/100G DE ÁCIDOS GRASOS TOTALES) |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Cadena corta saturados (C4-C12) | 9,41 |
| Cadena media y larga saturados (C14-C18) | 51,75 |
| Insaturados (un doble enlace) | 28,08 |
| Poliinsaturados (más de un doble enlace) | 4,17 |

La concentración de la materia grasa de la leche y su composición están sujetas a importantes variaciones, explicadas en gran medida, por factores alimenticios, fisiológicos, sanitarios y genéticos.

La cantidad de MG retenida en el queso está relacionada con el proceso de fabricación: temperatura de tratamiento de la leche, firmeza del coágulo, condiciones de corte, agitación, entre otros.

El rendimiento quesero [32] expresado en función del contenido de materia grasa está influenciado por la relación de caseína/materia grasa (C/MG) de la leche de allí que leches con contenidos de MG diferentes pero con la misma relación C/MG muestran igual retención de MG [33,34].

La relación de C/MG es tecnológicamente importante para asegurar la producción de un queso de calidad uniforme [35].

1.2.3 LA LACTOSA

La lactosa es un disacárido compuesto por glucosa y galactosa que se encuentra exclusivamente en la leche de los mamíferos. Su contenido es muy poco variable (menor que los otros macrocomponentes). Es sintetizada en la ubre a partir de la glucosa sanguínea. En el queso se encuentra vestigios de lactosa que provienen del suero retenido.

1.2.4. MINERALES

El contenido de minerales en la leche es uno de los componentes más estables a través del año, siendo levemente superiores en invierno [36].

Los minerales representan un 0,7% de la materia seca de la leche. Esta fracción tiene una gran importancia nutricional y tecnológica, en particular por los aportes de calcio y fósforo.

En una leche sin alteraciones el 65% del calcio, el 60% del magnesio y el 50% del fósforo se encuentran asociados a las caseínas (en forma coloidal). El sodio, el potasio y el cloruro están totalmente en solución.

Por otra parte las sales de calcio solubles son esenciales para el proceso de coagulación [36]. La adición de cloruro de calcio en la leche aumenta el rendimiento quesero [20], no obstante este aumento será pequeño siendo afectado por la correlación negativa entre el calcio en la cuajada y la retención de humedad.

1.3. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE DE LA CUENCA DE VILLA MARÍA

La composición de la leche está sujeta a variaciones causadas por factores ligados a la alimentación y al medioambiente. Los componentes que más cambian son las proteínas y la materia grasa, siendo esta última la que mayor variación estacional presenta [16]. Los estudios realizados por nuestro grupo mostraron que las variaciones a lo largo del año que no se relacionan únicamente con la estación [16]. Los cambios más significativos se dieron en los valores de MG, mientras que el resto de los componentes se mantuvieron sin variaciones significativas a lo largo del año. Las relaciones entre MG/PT, L/MG y L/PT tampoco presentaron modificaciones significativas a lo largo del año lo que indicaría que los máximos y mínimos que se observan en PT y L se producirían a fin de mantener más o menos constantes los valores de ST y STNG. Además fue importante el hallazgo de una relación MG/PT cercana a 1 y con valores altos de PT, lo que redundaría en una mejor retención de MG en la masa quesera [16].

En la Tabla 4 se puede observar el promedio anual y valores mínimos y máximos del contenido de: Materia Grasa, Proteína Totales, Lactosa, Sólidos Totales y Sólidos Totales no Grasos de la leche de la región de Villa María a lo largo del año 2007 [16].

TABLA IV: Promedio anual y valores mínimos (Mín) y máximos (Máx) de Materia Grasa, Proteína Totales, Lactosa, Sólidos Totales y Sólidos Totales no Grasos de leche de la cuenca lechera de la región de Villa María [16].

| COMPONENTE | PROMEDIO (%) ± DS | % MÍN | % MÁX |
|---------------------------|-------------------|-------|-------|
| Materia Grasa | 3,6 ± 0,2 | 2,9 | 4,1 |
| Proteínas Totales | 3,3 ± 0,2 | 2,6 | 3,7 |
| Lactosa | 4,8 ± 0,2 | 4,0 | 5,1 |
| Sólidos Totales | 12,5 ± 0,3 | 9,3 | 13,3 |
| Sólidos Totales No Grasos | 9,0 ± 0,2 | 7,9 | 11,0 |

La estabilidad de composición de la leche utilizada en Argentina es una consecuencia del llamado “modelo industrial quesero” que utiliza como materia prima una mezcla de leche

proveniente de numerosos transportes y tambos [37]. Esto genera una materia prima (leche fresca) que reúne una serie de atributos y aptitudes equilibrados que permite la eficaz transformación en los distintos productos lácteos [37,38].

1.4. LA ELABORACIÓN DE QUESO Y SUS ETAPAS

Existe una definición de tipo tecnológica de queso: producto obtenido por la concentración de la mayor parte de los sólidos de la leche que separados luego de una coagulación. Esta definición contiene los aspectos tecnológicos más relevantes de la producción del queso (separación y concentración).

Desde el punto de vista físico-químico, la elaboración de queso es la transición del estado natural de la leche de “sol a gel”. Este proceso continúa con la rotura de la estructura del gel y la separación, en mayor o menor grado, de las fases sólida (cuajada) y líquida (lacto suero). La cuajada así obtenida da lugar a un queso fresco que se somete a un proceso de salado y maduración para su terminación. En éste caso sólo se distinguen cuatro etapas: coagulación, desuerado, salado y maduración [39].

1. **Coagulación.** Modificaciones físico-químicas de las micelas de caseína, bajo la acción de enzimas proteolíticas o de ácidos, que producen la desestabilización de dichas partículas, dando lugar a la transición sol-gel.
2. **Desuerado.** Sinéresis de la cuajada y exudado del lacto suero con separación de la fase sólida y la fase líquida. Se inicia tras la rotura mecánica del coágulo (lirado), facilitado por tratamiento térmico (cocción) y/o mecánico (agitación), moldeado, aplicación de presión, el pH último al que llega durante el prensado y oreo.
3. **Salado.** Fenómenos de difusión, con el objetivo de incorporar sal a la cuajada por inmersión en salmuera. Adicionalmente se logra una ligera pérdida de agua.
4. **Maduración.** Transformaciones bioquímicas de los componentes de la cuajada, bajo la acción de enzimas (principalmente microbianas) y lactobacilos. La digestión enzimática de la cuajada modifica su estructura y composición, confiriendo a la cuajada nuevas características organolépticas.

Para comprender el proceso de coagulación de la leche, es importante tener en cuenta los tamaños relativos de los componentes de la leche, tal como se muestran en la Figura 9, las micelas de caseína son muy pequeñas en relación a los glóbulos de grasa que se deben retener en la cuajada.

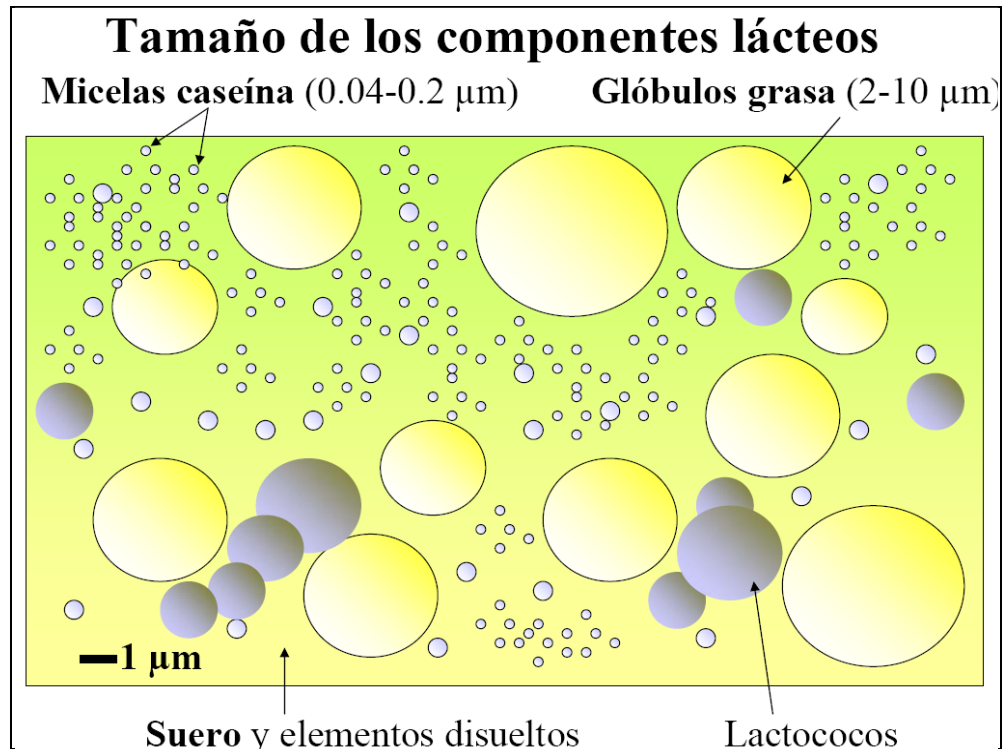


FIGURA 9: Esquema ilustrativo del tamaño relativo de los componentes de la leche. Tomado de [40].

El cuajo actúa sobre la κ -caseína rompiendo el enlace peptídico entre fenilalanina y metionina (Phe 105 – Met 106), liberando el glicomacropéptido (GMP) (Figura 10 a). La eliminación de esta cadena hidrofílica, de la superficie de la κ -caseína, permite que las micelas se asocien principalmente por interacciones hidrofóbicas, formando una red tridimensional estable que retiene a los glóbulos de grasa y al resto de los componentes (Figura 10 b,c y d). Por esta razón, la etapa más importante de las cuatro mencionadas anteriormente es la coagulación.

Posteriormente esta red se estabiliza aún más, por fenómenos físico químicos donde intervienen el calcio, el fósforo y las caseínas con una retracción de la estructura y exudación del suero (Figura 10 e). Esta etapa se denomina sinéresis del coágulo y es la que ayuda al desuerado de la cuajada, el cual se puede modificar por tratamiento térmico y mecánico (cocción y corte). Este proceso se puede observar esquematizado en la Figura 10.

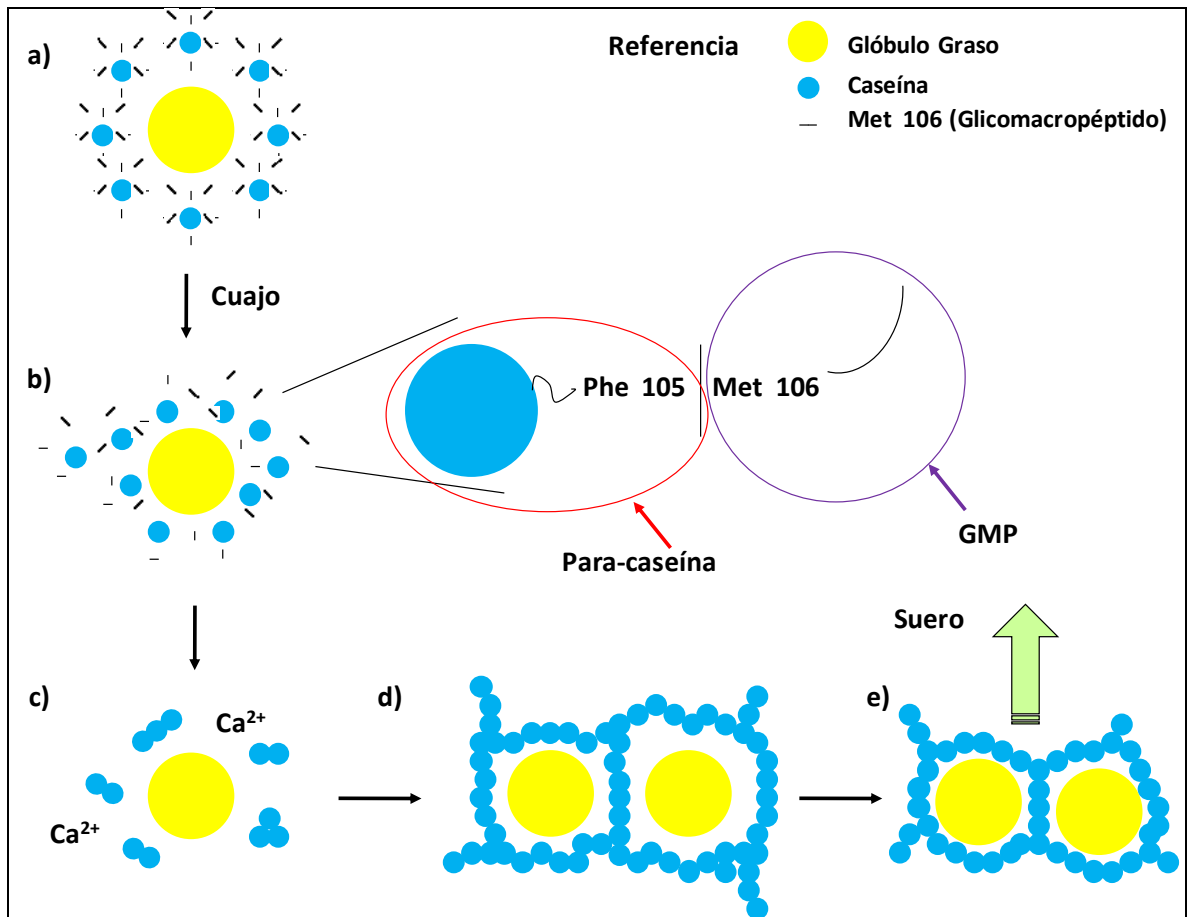


FIGURA 10: Esquema del proceso de coagulación de la leche.

a) Caseína rodeando un glóbulo de grasa b) Glóbulo de grasa rodeado de para-caseína c) Paracaseína comienza a coagular en presencia de calcio d) Formación de la red de para-caseinato que atrapa materia grasa e) Retracción del coágulo y expulsión del suero.

La cuajada obtenida y convenientemente moldeada, prensada y oreada se sumerge en salmuera en donde se produce, por difusión, el ingreso de cloruro de sodio y una salida de suero. El cloruro de sodio actúa como un regulador de la actividad microbiana y enzimática, favoreciendo el desarrollo de las características organolépticas correspondientes a un queso madurado.

1.5. LOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE LA ELABORACIÓN DEL QUESO

Desde el punto de vista tecnológico el proceso es más complejo y presenta varias operaciones unitarias. La transformación de la leche en queso se divide en las siguientes etapas, Según el tipo de queso, las etapas y su orden pueden variar [20,33].

1. **Tratamientos previos:** Conjunto de operaciones a las que se somete la materia prima desde el tambo hasta la estandarización de la leche destinada básicamente a la conservación (refrigeración), limpieza de sustancias extrañas (filtrado), higienización mediante centrifugación (bactofugado) y normalización o estandarización, mediante centrifugado también, de la materia grasa.
2. **Pasteurización:** tratamiento térmico donde mediante una combinación de tiempo y temperatura aplicada a la leche en un intercambiador de de placas permite destinado a la eliminación de los microorganismos patógenos y la reducción de la flora microbiana total.
3. **Coagulación.** Desestabilización de las proteínas de la leche por la acción de enzimas proteolíticas y Cl_2Ca , que determinan el pasaje de la leche de sol a gel.
4. **Lirado de la Cuajada:** Operación mecánica por al cual se corta la cuajada en granos para facilitar el desuerado.
5. **Cocción:** Tratamiento térmico del gránulo destinado a regular el desuerado.
6. **Desuerado.** Operación donde se separa la cuajada del suero. No se da en una sola operación, comienza en el lirado, continúa en la cocción, se acentúa durante el Pre-prensado bajo suero, se profundiza con el desuerado propiamente dicho y concluye en el salado y la maduración.
7. **Moldeado.** Llenado de los moldes con la cuajada obtenida tras la separación de la mayor parte del suero con la finalidad de darle una forma regular al producto.
8. **Prensado.** La cuajada, en el interior de los moldes, es sometida a presión externa, que proporciona la forma definitiva al queso, permite un desuerado complementario y facilita la estabilización del pH.
9. **Salado.** Inmersión de la cuajada prensada en la salmuera con la finalidad de incorporar, mediante un proceso de difusión, cloruro de sodio y completar el desuerado.
10. **Oreado:** Secado superficial con estabilización de los componentes del queso en cámaras con temperatura y humedad controlada.

11. **Envasado:** Cobertura con un film de PVC de baja permeabilidad al vapor de agua.
12. **Maduración:** Almacenamiento en cámara con parámetros de temperatura y humedad controlados con la finalidad de favorecer las características organolépticas propias del queso.

1.5.1 DESCRIPCIÓN DE UNA PLANTA QUESERA

Los equipos, maquinarias e infraestructura que se utilizan en la fabricación de quesos son muy variadas y se describen a continuación:

- Planchada para la recepción de leche con bombas y mangueras de descarga, tanque refrigerado de almacenamiento y conservación, equipo automatizado para la limpieza y desinfección para el lavado de los camiones y los tanques de almacenamiento.
- Adicionalmente algunas plantas cuentan con un sistema de filtración, a veces asociada también a una bactofugadora.
- Pasteurizador de placas de 2, 3 o 4 efectos, control digital de temperatura y termo registrador.
- Desnatadora centrífuga convencional que en plantas más modernas pueden ser del tipo continuo y autodeslodante. Respecto a la extracción de materia grasa, algunas plantas cuentan con una desnatadora parcial y otras con una desnatadora total.
- Tinajas de elaboración, es donde se observa mayor diversidad en la tecnología. Se pueden encontrar las tinajas tradicionales de 1.000 L, con camisa calefaccionada con vapor, agitación mecánica y lirado manual; y las tinajas llamadas “doble cero” con calefacción por doble camisa de vapor, agitada y lirado mecánico incorporado en el equipo con capacidad de 3.000 hasta 20.000 L.
- Mesas desueradoras: Asociados al volumen de la tina disponible, encontramos desde pequeñas mesas de operación manual a mesas totalmente automatizadas.
- El moldeado, en general es manual, en moldes que pueden ser de material plástico micro perforado o de acero inoxidable.
- El prensado se realiza apilando los moldes y sometiendo a una presión controlada.
- El salado se realiza en piletas de salado que pueden ser estáticas o dinámicas.
- El oreo y la maduración se realizan en cámaras de humedad y temperatura controlada.
- En envasado se realiza manualmente en bolsas de PVC termo contraíble.

La Planta de la ESIL (<http://www.esil.org.ar>) cuenta con una planta de elaboración a pequeña escala (8.000 a 10.000 L/día), y la tecnología láctea avanzada en equipamiento productivo.

En esta planta la ESIL capacita y actualiza a la mayor parte de los profesionales y técnicos que se desempeñan en las plantas de la República Argentina. Los procesos y la tecnología con los que cuenta la planta, son los estándares para la región y son representativos de los utilizados por la industria regional.

1.6. EL RENDIMIENTO QUESERO

Rendimiento es la relación entre la masa de producto formado y la de reactante consumido. El rendimiento es el parámetro estequiométrico más importante y usado en la industria. En las reacciones enzimáticas y bioquímicas este cálculo, que es sencillo para las reacciones de la química orgánica e inorgánica, es complejo dado que hay varias reacciones que se producen simultáneamente y estados físicos (fases) intervinientes. Una consecuencia de esta complejidad es, según lo señalado por la mayoría de los autores del área bioquímica o biológica, la necesidad de distinguir los rendimientos teóricos de los observados o reales.

El “rendimiento quesero” [32] corresponde a la expresión matemática de la cantidad de queso obtenida a partir de una determinada cantidad de leche y normalmente es expresada como kg de queso por 100 kg de leche [41].

En la industria láctea es importante poder calcular de antemano el rendimiento quesero de las producciones; es decir la cantidad de queso que se puede fabricar teóricamente con un volumen y calidad de leche determinada. Este cálculo permitirá prever los materiales, mano de obra y equipamientos que se utilizarán en la elaboración. Además será posible el cálculo anticipado de la rentabilidad del proceso de elaboración y, también como resultado de esto, el control del funcionamiento y rentabilidad de la fábrica [42].

Además de conocer si el queso producido se ajusta cuantitativamente a un rendimiento económico beneficioso y si consigue la utilidad financiera perseguida, es necesario que las relaciones entre los diversos componentes de la leche sea la adecuada para poder maximizar el rendimiento manteniendo los estándares y la calidad del queso. Por esto es importante contar con una fórmula que permita calcular un rendimiento quesero teórico lo más cercano al observado.

El rendimiento quesero es un problema que ha sido investigado desde hace casi un siglo por muchos autores, siendo Babcock [43], Van Slyke y Publow [44,45] los primeros en

realizar una publicación sobre el tema. Estos autores han desarrollado diferentes tipos de ecuaciones, permitiendo así predecir el rendimiento teórico del queso. Estas ecuaciones utilizan principalmente la composición de la leche (reactante principal) incluyendo uno o varios parámetros como: contenido de proteína o caseína, materia grasa, sólidos totales y sólidos no grasos; como también contenido de humedad, sal y materia grasa del queso [10].

Diferentes métodos de expresión de rendimiento tienen diferentes propósitos para ayudar a los productores de queso a controlar el rendimiento y asegurar la eficiencia de la transformación de la leche en queso [45]. El rendimiento teórico se formula en cada caso atendiendo a los reactantes limitantes (los más costosos o los más deficitarios en masa) que varían de región en región. En el caso de la leche estos factores pueden llegar a variar estacionalmente como se aclaró anteriormente (páginas 8 y 17) ya que la composición química del reactante principal, la leche, varía estacionalmente.

El queso denominado genéricamente como “barra” representa una parte importante de la producción de quesos en la Argentina [2,3]. 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, particularmente el Tybo por su volumen de producción (RQ Tybo) y determinar los coeficientes aplicables en plantas de la región.

1.6.1. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO QUESERO

En general el rendimiento depende de la variedad específica de queso elaborado, proceso involucrado (tratamientos previos de la leche, tratamiento de la cuajada, maduración, entre otros) y composición de las diferentes variedades (quesos duros, semiduros, blandos) [44].

Los factores que influyen sobre el rendimiento quesero son: la composición de la leche particularmente el contenido de caseína y materia grasa, humedad final del queso y las pérdidas de constituyentes de la leche durante del proceso de elaboración [44, 45]. Dentro de la pérdida de constituyentes de la leche se encuentran factores del proceso técnico como: control de la velocidad de agitación, tamaño y control de la velocidad de corte de los granos, temperatura de cocción y eficiencia en la separación del suero y prensado del queso, entre otros [45,46].

Otros factores que inciden en el RQ, son: composición y estandarización de la leche, homogeneización, enzima coagulante, firmeza de la cuajada, método de salado y pérdida de humedad durante la maduración, entre otros [33].

Las variaciones que pueden afectar el rendimiento observado pueden dividirse en dos grupos:

- **Directas:** composición de la leche, tiempo de coagulación, tamaño de grano al lilar, salado, tiempo de maduración, entre otros;
- **Indirectas:** pH de la leche previo a la coagulación, temperatura de pasteurización de la leche, concentración de la salmuera, condiciones higiénicas de la leche y estado sanitario la vaca, época del año en que la leche es obtenida, frecuencia de ordeño, grado de proteólisis en la etapa de maduración, cantidad de cloruro de calcio presente en la leche, fundamental para la coagulación, entre muchas otras.

Estos factores no solo afectan el rendimiento, sino también la calidad final del producto, a veces aumentan el rendimiento pero pueden disminuir la calidad o inversamente. Por ejemplo: el pH inicial de la leche altera significativamente el rendimiento quesero debido a que juega un papel fundamental en la sinéresis (desuerado). pH muy bajos pueden significar en una excesiva pérdida de agua y por consecuencia en una pérdida en el rendimiento final [45].

Es conocido que el rendimiento quesero depende fundamentalmente de la concentración de proteína en leche (principalmente las caseínas) ya que es la que coagula formando una red tridimensional y atrapa los glóbulos de grasa. Por esto, en la literatura hay fórmulas de rendimiento quesero teórico que incluyen la concentración de grasa en la leche [41]. Estos son estudios en los que se busca predecir matemáticamente con la mayor exactitud posible el rendimiento en la elaboración de quesos teniendo en cuenta las condiciones específicas de

cada proceso y producto. Es parte de la tarea del ingeniero saber elegir los parámetros necesarios de la fórmula de rendimiento quesero teórico para que ésta sea calculable en la planta y su resultado se ajuste al rendimiento observado. Por todo lo antes indicado queda claro que una materia prima equilibrada y la estandarización del proceso son las herramientas claves en la optimización del rendimiento y por lo tanto para el estudio de la predicción del rendimiento quesero.

1.6.2. EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN EL RENDIMIENTO QUESERO

La composición de la leche destinada a la elaboración de queso es de suma importancia para el cálculo del rendimiento quesero [10]. Dentro de los componentes de la leche son de particular relevancia la cantidad de proteína o caseína, el contenido de materia grasa, relación entre materia gras y caseína (MG/Caseína), como también el contenido de sustancias minerales [10,33,45].

A mayor extracto seco, principalmente caseína y materia grasa, el rendimiento quesero aumenta; no obstante este aumento no es proporcional al contenido de materia grasa de la leche sino al de caseína [10,20]. Esto se debe a que la única fuente de paracaseína que forma el elemento estructural del queso es la caseína [47], principal responsable de la estructura de la cuajada y de retener el resto de los componentes químicos.

De las proteínas de la leche aproximadamente un 79,5 % son caseínas pudiendo variar desde el 68 al 84 % entre los animales dependiendo de las condiciones del animal tales como estado de lactación, edad y especie [48] dentro de los más importantes.

La capacidad de retener agua libre en el queso, por parte de los componentes insolubles del extracto seco no es la misma, siendo la caseína la que retiene una mayor cantidad de agua (~ 55 % del agua ligada). Por su parte los fosfolípidos de la membrana del glóbulo graso tienen una gran capacidad de ligazón con el agua retenida, pero al estar en cantidades limitadas, los glóbulos grasos en total solo retienen un máximo de un 15 % del agua ligada de la leche [20].

El efecto de las proteínas y en particular la caseína es fundamental debido a que cada gramo de caseína proporciona al producto un peso que es muy superior al que proporciona un gramo de grasa, debido a la gran capacidad de absorción de agua de la caseína, lo que corresponde a varias veces su propio peso [20,33].

Teóricamente el rendimiento se puede incrementar simplemente aumento la proporción de humedad por unidad de caseína; no obstante hay restricciones sobre los rangos o máximos

aceptados para cada variedad específica de queso, ya que esto ocasiona cambios en las características sensoriales (aroma y textura, entre los más importantes) [34].

El efecto de la materia grasa en el rendimiento para todas las variedades de queso es la misma y depende sólo de las pérdidas de grasa durante la elaboración, en contraste con el efecto de la caseína el cual no es el mismo debido a que la tasa óptima de humedad/sólidos no grasos es diferente para cada tipo de queso [34].

El rendimiento en grasa está relacionado con las particularidades tecnológicas que concurren en la fabricación, específicamente con el tipo de trabajo que se le dé a la cuajada como la temperatura de tratamiento de la leche, firmeza del coágulo, condiciones de corte, agitación, entre otros. Muchos fabricantes de queso prefieren utilizar leches con glóbulos de grasa más pequeños ya que así aparentemente es más fácil la incorporación de grasa a la cuajada. Por otra parte [34,36], indican que un más alto contenido de materia grasa presente en la leche ayuda a la incorporación de otros constituyentes, la cual varía con la alimentación y estado de lactación del ganado.

La relación materia grasa/caseína es importante para asegurar la producción de un queso de calidad uniforme y un rendimiento con una óptima recuperación de materia grasa y proteína; además de cumplir con las regulaciones y prevenir defectos estructurales en la maduración [33]. En la elaboración de quesos siempre se ajusta la relación materia grasa proteína como paso tecnológico obligado.

Una leche con concentraciones altas de materia grasa y caseína resultan en un rendimiento quesero teórico mayor.

Por otra parte las sales de calcio solubles son esenciales para el proceso de coagulación y los iones de calcio en particular juegan un rol principal en la agregación de las micelas de caseína [20,33], mencionan que la adición de cloruro de calcio en la leche aumenta el rendimiento quesero, presumiblemente mediante la incorporación de fosfato de calcio coloidal en la cuajada. No obstante tan importante es la influencia del calcio que el mismo se agrega siempre en exceso para asegurar características óptimas de cuajada.

La lactosa y las sales son componentes que tienen efecto en el rendimiento quesero pero al ser estos menos afectados por los cambios fisiológicos del animal no tiene un impacto importante en el rendimiento quesero [48].

1.7. MODELOS TEÓRICOS Y EMPIRICOS EN EL DESARROLLO DE FORMULAS DE RENDIMIENTO QUESERO

Los modelos teóricos se basan en una propuesta o teoría de entendimiento del fenómeno en estudio. Sin embargo, algunos fenómenos, principalmente de naturaleza biológica, no han sido estudiados con suficiente detalle, por lo que estos modelos requieren para su elaboración, de personal entrenado en varias ramas de la ciencia. El modelo teórico, puesto que se basa en una teoría, será correcto siempre y cuando la teoría lo sea y sólo para el ámbito de condiciones para el cual ella sea propuesta.

Los modelos empíricos son aquellos que predicen cómo una variable afecta una respuesta y no por qué la afecta, por lo que no se logra entender la totalidad de un sistema, además de que puede tener menor capacidad predictiva. Son modelos que se basan en aproximaciones empíricas producto de la observación o experimentación y se pueden considerar como un conjunto de ecuaciones heurísticas; cada una de esas ecuaciones es usualmente la descripción estática de una relación entre el proceso considerado y las condiciones ambientales. Con estos nunca se tendrá la certeza de que el modelo desarrollado será útil para describir a otro sistema; la ventaja es que estos modelos están disponibles y pueden usarse con éxito en la toma de decisiones industriales, lo cual no tienen los modelos teóricos [49].

Los modelos empíricos se determinan a través de técnicas de regresión y establecen la relación entre el rendimiento de un sistema y los factores que lo afectan. Dentro del enfoque empírico puede considerarse que la especificación de un modelo debería establecerse en la observación de la forma de la relación entre una variable de respuesta y los factores que la afectan [49].

No existe consenso acerca de una manera única y correcta para predecir el rendimiento quesero, a partir de la composición de la leche y de la composición deseada en el queso, bajo condiciones determinadas de procesamiento. Se han desarrollado modelos teóricos y empíricos y sus correspondientes fórmulas. El modelo teórico más utilizado es el de Van Slyke [50], si bien hay otras fórmulas más complejas como las de Lolkema [51], Posthamus et al. [52], Emmons et al. [41], Melilli y Jimenez-Marquez [53], resumidas y analizadas exhaustivamente y con gran acierto en el review de Emmons [41]. Aunque algunas de las fórmulas fueron desarrolladas para quesos específicos, tales como Cheddar y Gouda, otras son de aplicación general [41].

Hay trabajos experimentales que basándose en una fórmula de rendimiento quesero preexistente como la de Van Slyke [50], realizan procesos con modificaciones directas en la composición de la leche o en algún factor que indirectamente pueda afectar la misma, y con los resultados se ajustan las constantes de la fórmula [41]. Esto es debido a que las primeras fórmulas diseñadas para la predicción teórica del rendimiento, son como indica la palabra,

teóricas, y por lo tanto se basan en un comportamiento ideal de los componentes, lo cual no suele ocurrir en la industria. La manera en que los componentes de la leche se separan y distribuyen entre el queso y el suero ha dado lugar a diferentes interpretaciones que permitieron modelar esta transferencia y de ese modo comprender el proceso. Esto ha dado lugar a diferentes expresiones matemáticas derivados de la interpretación del proceso de elaboración y de cómo se realiza la transferencia de los componentes de la leche al queso [41].

Los modelos teóricos y empíricos son una forma de expresar un balance de masa ya que concluyen con expresiones que relacionan los kilogramos obtenidos de queso con los kilogramos de leche utilizada [41,54].

Las fórmulas de predicción del RQ se pueden agrupar en dos clases generales según sean generadas por modelos teóricos o empíricos [41]:

- **Clase I** - Ecuaciones teóricas basadas en el conocimiento detallado de los cambios físico-químicos y biológicos implicados en los procesos de elaboración del queso.
- **Clase II** - Ecuaciones empíricas, desarrolladas a partir de datos obtenidos de elaboraciones en condiciones controladas. Estas comprenden las Fórmulas Tipo E basadas en los datos reales de la elaboración del queso.

Las ecuaciones de clase I requieren una parametrización y estandarización del proceso para llegar a quesos de composición predefinida. Hay cuatro tipos generales de las fórmulas denominadas Tipos A, B, C y D. Cada tipo de ecuación parte de un modelo conceptual de una distribución diferente de las tres fases presentes en el queso (Red de para-caseína, MG y Sólidos solubles) como se indica a continuación:

- A: consideran a la humedad, los sólidos de suero y la sal; distribuidos proporcionalmente entre la para-caseína y la grasa del queso.
- B: consideran a la humedad, distribuida proporcionalmente entre el extracto graso seco y los sólidos no grasos (SNG) (los sólidos de suero, la sal y la para-caseína).
- C: consideran solo al extracto graso seco uniformemente distribuida entre la humedad y los SNG, (sólidos de suero, la sal, y la paracaseína).
- D: consideran solo a la grasa uniformemente distribuida entre una fase acuosa (que incluye los sólidos solubles, la sal y la paracaseína).

1.8. MODELO MATEMÁTICO PARA PREDECIR EL RENDIMIENTO QUESERO EN LA REGION DE VILLA MARIA, CORDOBA

Los Profesionales y Técnicos consultados por el autor, refieren a Van Slyke como la fórmula patrón para la predicción del rendimiento quesero en la Región de Villa María. La industria local utiliza esta fórmula sin que haya datos publicados de su ajuste a las materias primas, ingredientes, procesos y equipamiento disponibles; su aplicación presenta dificultades ya que se requieren datos de composición de leche, suero y queso que no siempre están disponibles en la industria y la parametrización y estandarización de los procesos con una uniformidad que no todas las industrias pueden lograr.

Trabajar en la planta de elaboración de quesos de la ESIL nos permitió obtener una gran cantidad de datos de producción así como la posibilidad de estandarizar el proceso, dentro de las condiciones de una planta que trabaja como una industria quesera de mediana escala.

Para esta tesis se trabajó con un queso de pasta semidura, mediana humedad y semigraso denominado en nuestra legislación como Queso Tybo [55]. Se seleccionó este queso ya que es el más consumido de los quesos de pasta semidura en nuestro país.

El objetivo fue encontrar una ecuación que se adapte a los datos para desarrollar una fórmula a partir de la de Van Slyke [45], recalculando los coeficientes a partir de datos obtenidos en elaboraciones estandarizadas.

El modelo propuesto originalmente por Van Slyke y Publow [45], fundamentaron su cálculo en una relación de los sólidos más importantes de la leche (Materia Grasa y Caseína) con los sólidos totales del Queso. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$Y = \frac{(0.93 F + C - 0.1) \times 1.09}{1 - M}$$

ECUACION 1: Modelo de Van Slyke y Publow para la determinación de rendimiento quesero[41]. Y = rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), F = materia grasa (Fat), C = caseína (Casein), M = humedad (Moisture)

2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

La hipótesis planteada es que las fórmulas de predicción de rendimiento quesero desarrolladas por distintos autores y la utilizada en las industrias de la región de Villa María Córdoba son inadecuadas para predecir el rendimiento quesero de quesos de pasta semidura.

Los objetivos generales y específicos de la Presente Tesis de Maestría son:

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el rendimiento quesero real y teórico de queso Tybo y desarrollar un modelo empírico de predicción de rendimiento quesero para la leche de la región de Villa María.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el rendimiento quesero real de queso Tybo a partir de los datos de una planta modelo de elaboración de quesos durante el periodo de 2007 a 2009.
2. Estudiar la relación del RQ real de queso Tybo con la composición química de la leche y su estacionalidad.
3. Efectuar cálculos de RQ teórico de queso Tybo aplico las fórmulas de la bibliografía.
4. Determinar si las fórmulas de RQ descritas en la bibliografía predicen el rendimiento quesero de queso Tybo.
5. Proponer una fórmula de predicción de RQ de queso Tybo.
6. Comparar el RQ real de queso Tybo con el RQ teórico calculado a partir del modelo empírico propuesto.
7. Comparar el RQ teórico calculado a partir del modelo empírico con un método de predicción de referencia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIAS PRIMAS

1. **Leche:** Para este estudio se procesó leche cruda refrigerada que recibió la Planta Piloto de la Escuela Superior Integral de Lechería (Villa María, Córdoba, Argentina) provenientes de distintos tambos de la zona, en un radio inferior a 20 km de la Planta durante el período febrero de 2007 a diciembre de 2009.
2. **Fermento Láctico:** Semidirecto vivolac Bio 607. pH 4.06 a 82 °D.
3. **Cuajo:** Quimosina 200 genética, marca GENEC de 170 IMCU/ml. Dosis: 180 ml/1000 L de leche.
4. **Cloruro de calcio:** Grado alimentario. Dosis: 200 g/ 1000 l de leche.
5. **Colorante Annato:** Marca Hansen 131. Dosis: 40 ml/ 1000 l de leche.
6. **Sal gruesa industrial:** Grado alimentario

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS DE PLANTA

Durante las elaboraciones realizadas en la planta piloto de la ESIL se utilizaron los siguientes equipos:

- Tina de elaboración de queso de acero inoxidable, capacidad 1.000 L, con camisa calefaccionada con vapor, agitación mecánica y lirado manual. Descarga manual.
- Tinas doble cero desde 3.000 L, con calefacción por doble camisa de vapor, agitado y lirado mecánico incorporado en el equipo. Descarga manual.
- Mangas de lona de PVC para acoplamiento y descarga.
- Implementos: liras y agitadores de acero inoxidable, moldes de teflón y acero inoxidable, termómetros, Baldes plásticos de 20 L de capacidad.
- Pasteurizador 5.000 L/h, de placas, de 3 pasos, continuo, VDF automática, alarma, set de controles y en línea.
- Higienizadora-desnatadora no autodeslodante.
- Mesa desueradora con capacidad equivalente a la tina descrita.
- Prensas neumáticas de acero inoxidable.

- Piletas saladeros en inmersión y recirculación de fluidos con bomba, de mampostería estucada y de Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
- Cámaras con control de temperatura y humedad.

3.3. ELABORACIÓN DE QUESO TYBO

Las 863 elaboraciones de queso Tybo se llevaron a cabo en la Planta de la ESIL. El diagrama de flujo del proceso utilizado se puede observar en el Anexo I. Brevemente consistió en:

- a) recepción de la leche cruda, su almacenamiento y refrigeración;
- b) estandarización
- c) pasteurización
- d) adición de fermento, cuajo, CaCl_2 y colorante
- e) coagulación
- f) lirado de la cuajada
- g) cocción
- h) pre-prensado (bajo suero)
- i) desuerado, moldeado, prensado
- j) salado
- k) oreado
- l) envasado al vacío
- m) rotulado
- n) maduración en cámara.

Las doce elaboraciones de queso Tybo se realizaron en la Planta de la ESIL de acuerdo al diagrama de flujo indicado y con las variables de proceso estandarizadas y parametrizadas según se indica en la Tabla V.

TABLA V: Parámetros de procesos utilizados en las 12 elaboraciones de queso Tybo

| Paso / Etapa Proceso | Parámetros |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Relacion Materia Grasa/Proteina: | 0,9 ± 0.1 |
| Pasteurizacion Leche Cruda: | 75° C ± 2° C durante 20 seg |
| Fermento: | Vivolac_Bio - SEMIDIRECTO |
| Cloruro de Calcio Industrial (90 %) | 200 g/1000 L leche |
| Colorante: Anatto liquido | 40ml/1000 L leche |
| COAGULACION | |
| Coagulante: quimosina genetica diluida | 170ml/1000 L leche |
| Floculacion: | 13' ± 1' |
| Endurecimiento: | 50% mas del tiempo requerido para floculacion |
| Temp. Coagulacion: | 36° C |
| COCCION | |
| Temperatura | 43° C hasta dureza final |
| Cinetica de calefaccion: | 50% del tiempo 2° C/min. Luego a 1° C/min |
| Lirado: | Tamaño Lenteja |
| Secado: | 6' ± 2' |
| PRENSADO | |
| Pre-Prezado (bajo suero): | 10 min. Presion: 1Kg/cm2 |
| Prezado | hasta pH: 5,25 ± 0,5 |
| Primer prezado | 40' a 1,5 Kg/cm2 |
| Primer Volteo | 40 minutos (2 Kg/cm2) |
| Segundo Volteo | 40 minutos (2,5 Kg/cm2) |
| pH final: | 5,25 ± 0,5 |
| Timepo en Camara: | 14 horas ± 2 |
| Temperatura: | 4° C ± 2° C |
| Humedad Relativa Ambiente de Cámara: | 90% |
| SALADO | |
| Salado: | 24 hs |
| Salmuera | 20° Be |
| MADURACIÓN | |
| Tiempo en cámara | 3 días y luego se envasa |
| Temperatura: | 4° C ± 2° C |
| Maduracion: | 15 días |

3.4. DETERMINACIONES DE LABORATORIO

Se efectuaron determinaciones de materia grasa (MG), proteínas totales [5], caseína (C) y lactosa (L), Sólidos No Grasos (SNG), Cenizas (Cz) y Sólidos Totales (ST) por espectrofotometría de infrarrojo con un Espectrofotómetro IR s/Milkoscan 133B o un Espectrofotómetro IR s/Milkoscan 4000 calibrados con técnicas de referencia.

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS.

LECHE CRUDA Y ESTANDARIZADA:

- Determinación de pH. IRAM 14072:2003. [56].
- Determinación de acidez titulable. IRAM 14005-2:2006. [57]
- Determinación de materia grasa. ISO 17678|IDF 202:2010. [58]
- Determinación de proteínas totales. ISO 8968-5|IDF 020-5:2001. [59]
- Determinación de Caseína. ISO 17997-2|IDF 029-2:2004. [60]
- Determinación de sólidos totales. ISO 6731|IDF 021:2010. [61]
- Determinación de Lactosa. ISO 22662|IDF 198:2007. [62]
- Determinación de cenizas. IRAM 14065:2006. [63]
- Determinación de Densidad. ISO 8967|IDF 134:2005. [65]
- Determinación de Temperatura. (Termómetro digital calibrado).

CUAGULACIÓN:

- Determinación de pH. IRAM 14072:2003. [56].
- Determinación de acidez titulable. IRAM 14005-2:2006. [57]

SUERO:

- Determinación de pH. IRAM 14072:2003. [56].
- Determinación de acidez titulable. IRAM 14005-2:2006. [57]
- Determinación de materia grasa. ISO 17678|IDF 202:2010 [58]
- Determinación de proteínas totales. ISO 8968-5|IDF 020-5:2001 [59].
- Determinación de sólidos totales. ISO 6731|IDF 021:2010. [61]
- Determinación de Lactosa. ISO 22662|IDF 198:2007. [62]
- Determinación de cenizas. IRAM 14065:2006. [63]

CUAJADA

- Determinación de pH. IRAM 14072:2003. [56].
- Determinación de temperatura. (Termómetro digital calibrado).

QUESO:

- Determinación de pH. IRAM 14072:2003. [56].

- Determinación de materia grasa. ISO 17678|IDF 202:2010 [58].
- Determinación de proteínas totales. ISO 8968-5|IDF 020-5:2001 [59].
- Determinación de Caseína. ISO 17997-2|IDF 029-2:2004. [60]
- Determinación de Lactosa. ISO 22662|IDF 198:2007. [62]
- Determinación de cenizas. IDF 027:1964. [64]
- Determinación de Cloruros. ISO 5943|IDF 088:2006. [66]
- Determinación de Humedad. ISO 2920|IDF 058:2004. [67]
- Determinación de Peso (Balanza analítica calibrada)

SALMUERA:

- Determinación de pH. IRAM 14072. [56]
- Determinación de acidez titulable. IRAM 14005-2. [57]
- Determinación de SAL. Método Aerómetro Baumé Calibrado.

CAMARA:

- Determinación de Humedad. (Higrómetro calibrado)
- Determinación de temperatura. (Termómetro digital calibrado).

3.6. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO QUESERO REAL

En cada una de las elaboraciones de queso controladas, se midió el rendimiento quesero real como los kilos de queso obtenidos en relación al peso (volumen x densidad) de leche procesada. Los resultados se expresaron en kg de Queso al final de la maduración (15 días) por cada de 100 kg de leche.

3.7. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO QUESERO TEÓRICO APLICANDO LAS FORMULAS DE LA BIBLIOGRAFÍA

El rendimiento quesero teórico se calculó a partir de las ecuaciones publicadas por diferentes autores. La ecuación de Van Slyke y Publow [41] es una ecuación genérica aplicable a distintos tipos de quesos. Dado que no hay fórmulas específicas para queso Tybo en la bibliografía internacional, se aplicaron fórmulas descriptas para queso un queso (Gouda*) con características de humedad similares a Tybo. La Tabla VI resume las ecuaciones utilizadas.

TABLA VI: Ecuaciones utilizadas para el cálculo del rendimiento quesero teórico descriptas por Emmons y aplicadas a queso Tybo elaboradas con la leche de la cuenca de villa María [41]. Y = rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), F = materia grasa (Fat), C = caseína (Casein), M = humedad (Moisture) expresados en % (P/P).

| AUTOR | ECUACIONES | CITA BIBLIOGRÁFICA |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
| Van Slyke y Publow (Tipo A) | $Y = \frac{(0.93 F + C - 0.1) \times 1.09}{1 - M}$ | [45] |
| Tipo A Van Slyke (Gouda)* | $Y = 1.702 \times F + 1.871 \times C$ | [41] |
| Tipo B (Gouda)* | $Y = 1.596 \times F + 2.005 \times C$ | [41] |
| Tipo C (Gouda)* | $Y = 0.936 \times F + 2.837 \times C$ | [41] |

3.8. DESARROLLO MATEMÁTICO PARA PREDECIR EL RENDIMIENTO QUESERO TEÓRICO DE QUESO TYBO EN CORDOBA

A partir de la ecuación Van Slyke y Publow [41], se desarrolló una ecuación similar, que considere los datos composicionales de leche y del queso, disponibles en una planta elaboradora de mediana escala. Los parámetros considerados fueron, PT, MG, L y Cz, humedad y cloruro de sodio del queso, con lo que la ecuación resultante puede expresarse de la siguiente manera:

$$Y = \frac{(KG \times MG + KP \times PT + KL \times L + KCZ \times Cz)}{\text{Solidos Totales}} \times 100$$

ECUACION 2: Modelo teórico para la determinación de rendimiento quesero de Queso Tybo de la Leche de la cuenca lechera de Villa María, Córdoba. Y: Rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), MG: contenido porcentual de materia grasa de la leche (% P/P), P: contenido porcentual de proteína de la leche, L: es el contenido porcentual de lactosa de la leche (% P/P), Cz: contenido porcentual de ceniza de la leche (% P/P), KG, KP, KL y KCZ) : coeficientes de transferencia de los componentes de la leche a queso.

Sólidos totales: En denominador de la fórmula (Sólidos del Queso) Se determina restando a 100 la humedad final del queso y la cantidad de sal incorporada en el proceso parametrizado y estandarizado. Al valor de Cloruros se restó el aporte proveniente del cloruro de calcio agregado durante la elaboración y fue transferido al queso.- Todas las variables se determinaron analíticamente.

Para poder establecer los coeficientes de transferencia (**KG, KP, KL, KCZ**) de los componentes de leche a queso, el contenido de humedad final de queso y el contenido de cloruro de sodio, se realizaron doce elaboraciones de queso Tybo bajo las condiciones del proceso parametrizadas y estandarizadas.

Se tomaron muestras de leche estandarizada, suero y queso y se realizaron las determinaciones mostradas en el Tabla IV.

TABLA VII: Resultados de las determinaciones de MG, Hum, PT, C, Cl₂Na, L, ST, SNG. En Leche, suero y queso. Los resultados son el valor promedio \pm SD obtenido de las determinaciones en las muestras provenientes de las 12 elaboraciones estandarizadas y parametrizadas, \pm su SD.

| | MG | Hum | PT | C (% p/p) | Cl ₂ Na | Lactosa | ST | SNG |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| LECHE PAST. | 2,86 \pm 0,07 | nd | 3,03 \pm 0,07 | 2,12 \pm 0,12 | nd | 4,99 \pm 0,08 | 11,56 \pm 0,16 | 8,70 \pm 0,14 |
| SUERO | 0,67 \pm 0,11 | nd | 0,84 \pm 0,04 | nd | nd | 5,09 \pm 0,21 | 7,09 \pm 0,26 | 6,41 \pm 0,24 |
| QUESO | 25,40 \pm 2,28 | 43,59 \pm 2,01 | 24,43 \pm 1,38 | 1,86 \pm 0,02 | 2,00 \pm 0,25 | 0,06 \pm 0,02 | nd | nd |

A partir de estos datos se determinaron los coeficientes de transferencia (K), para cada componente mediante el cociente entre la concentración del componente en el queso y la concentración del componente en la leche. Los coeficientes de transferencia calculados se muestran en la Tabla VIII.

TABLA VIII: Coeficientes de transferencia de los componentes de la leche al queso calculados a partir de los datos analíticos de las muestras provenientes de las 12 elaboraciones estandarizadas y parametrizadas.

| COMPONENTE | COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Materia Grasa (MG) de leche a queso | 0,7652 |
| Proteína de Leche a queso | 0,7218 |
| Lactosa de leche a queso | 0,0583 |
| Cenizas de leche a queso | 0,175 |

Se reemplazaron los coeficientes de transferencias determinados por la Fórmula 2, obteniéndose la ecuación denominada “**RQ Tybo**” que es nuestro modelo para la predicción del rendimiento quesero de queso Tybo para la leche de la región de Villa María.

$$Y = \frac{(0.7652 \times MG + 0.7218 \times PT + 0.0583 \times L + 0.175)}{100 - Hum\% - 1.93} \times 100$$

ECUACION 3: Fórmula RQ Tybo para la predicción del rendimiento quesero la leche de la cuenca de Villa María. Y: es el rendimiento quesero (kg de Queso/100 kg leche), MG: es el contenido porcentual de materia grasa de la leche (g%), PT: es el contenido porcentual de proteína total de la leche (g%), L: es el contenido porcentual de lactosa de la leche (g%), Hum%: Es el porcentaje de humedad del queso. 1.93 constante calculada que incluye todos sólidos no lácteos incorporados al queso (sal, cloruro de calcio, etc)

3.9. DATOS DE ELABORACIONES DE QUESO TYBO

Los datos utilizados para evaluar la aplicabilidad de las distintas fórmulas de rendimiento quesero se obtuvieron de los registros del laboratorio de control de calidad y de la planta de la ESIL, correspondientes a las 863 elaboraciones de queso Tybo entre Enero 2007 a Diciembre de 2009.

4. RESULTADOS

4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE Y RENDIMIENTO QUESERO REAL

Se analizaron 863 procesos de elaboración de queso Tybo realizados en la planta piloto de la Escuela Superior de Lechería (Villa María, Córdoba) durante el periodo comprendido entre Enero de 2007 y Diciembre de 2009. Se registraron los datos de rendimiento quesero, proteína, materia grasa, sólidos totales y lactosa de la leche cruda y la empleada en el proceso.

Los valores promedios de materia grasa, proteínas, lactosa y sólidos totales muestran un nivel de desviación estándar porcentual menor al diez por ciento, indicó que la materia prima que ingresa a la planta tiene una composición química muy estable. Sin embargo la amplia diferencias entre el valor máximo y mínimo indica que hay muestras aisladas que se alejan del valor medio Tabla IX.

TABLA IX: Valores promedios de materia grasa, proteínas, lactosa y sólidos totales en leche estandarizada con sus desviaciones estándar y los valores máximos y mínimos.

| | Promedio g/100ml | desviación estándar | rango mínimo-máxima |
|-----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Materia grasa | 3,1 | 0,2 | 2,30 – 3,60 |
| Proteínas | 3,3 | 0,1 | 2,10 – 3,72 |
| Lactosa | 4,9 | 0,1 | 4,04 – 5,62 |
| Sólidos totales | 12,3 | 0,4 | 9,75 – 14,1 |

Nuestro grupo publicó los datos del año 2007 [16] agrupados estacionalmente. No se observó, en aquella oportunidad, diferencias significativas entre las estaciones. Por lo tanto se decidió realizar el análisis agrupando los parámetros por mes del año. En la Figura 11 se grafica la evolución mensual de los valores de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales en función del mes del año.

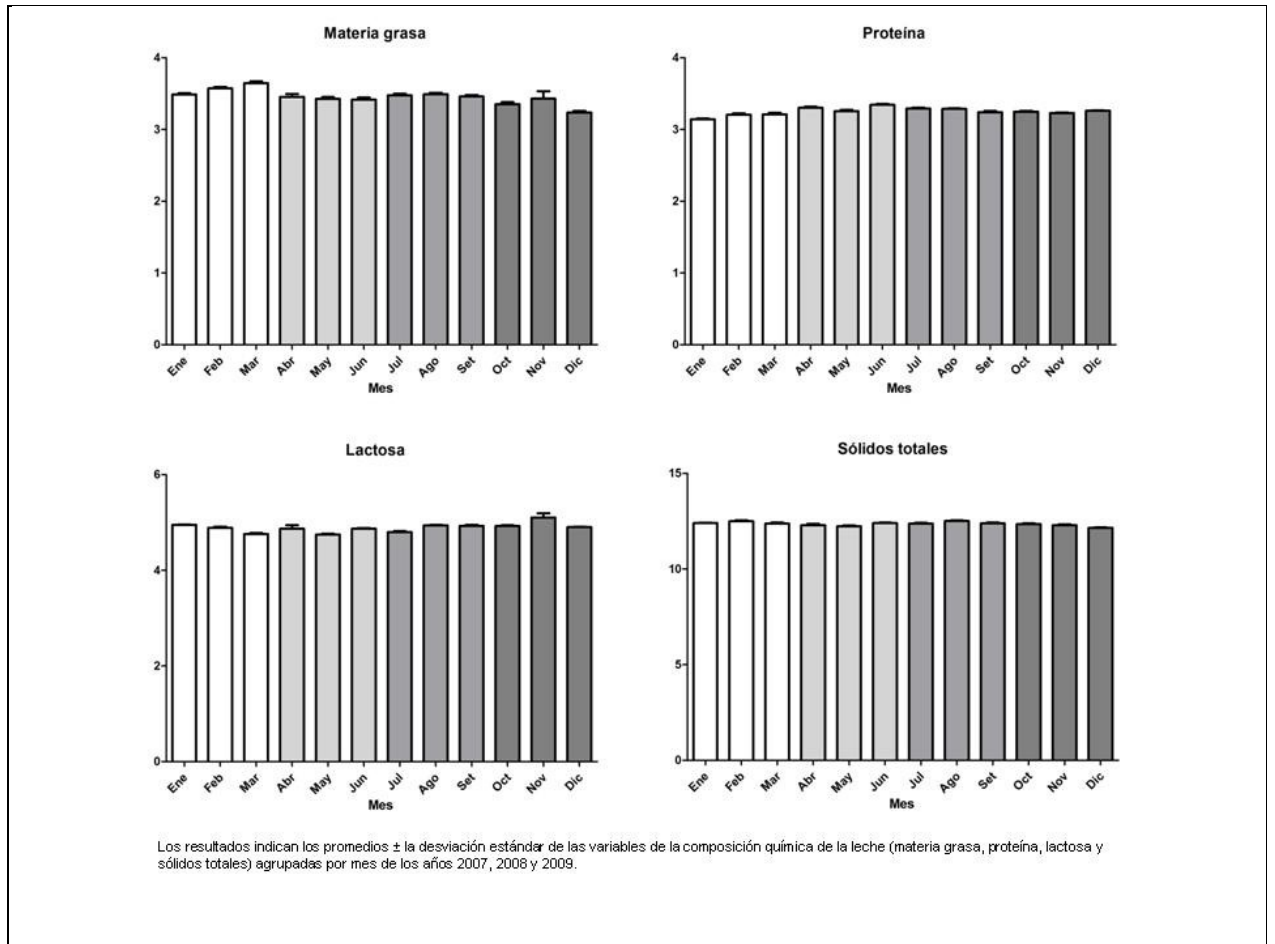


FIGURA 11: Evolución mensual de los valores de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales

Los valores de materia grasa y proteínas presentaron variaciones mes a mes mientras que las variaciones de lactosa y sólidos totales fueron no significativas.

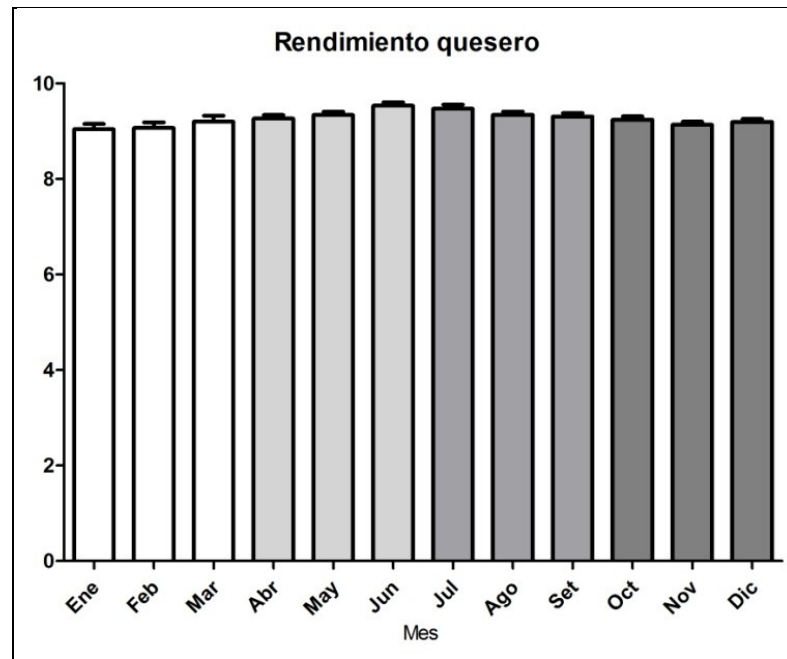


FIGURA 12: Evolución mensual de los valores de rendimiento quesero

En la Figura 12 se observa que las variaciones mensuales del rendimiento quesero presentaron valores máximos en los meses de junio y julio ($9,49 \pm 0,05$ kg/100kg $n=115$) y mínimos en diciembre enero ($9,19 \pm 0,05$ kg/100kg $n=178$) estas diferencias fueron estadísticamente muy significativas ($p < 0,0001$).

4.2. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO QUESERO EN FUNCIÓN DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS DE LA LECHE

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

TABLA X: Variación del rendimiento queso 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.

| | a | b kg/100kg | p |
|------------------------|-------------------|-----------------|------------|
| RQ vs. materia grasa | $-0,06 \pm 0,11$ | $9,46 \pm 0,34$ | n.s. |
| RQ vs. proteínas | $0,89 \pm 0,18$ | $6,37 \pm 0,57$ | $< 0,0001$ |
| RQ vs. lactosa | $0,037 \pm 0,053$ | $9,08 \pm 0,26$ | n.s. |
| RQ vs. sólidos totales | $0,22 \pm 0,05$ | $6,6 \pm 0,7$ | $< 0,0001$ |

En la Figura 13 se puede observar que la distribución de los valores de rendimiento queso se ajusta a una función gaussiana simétrica, es decir siguen una distribución normal. Las variables independientes materia grasa, proteínas y lactosa también siguen una distribución normal, en un rango estrecho de valores; para sólidos totales el rango de la distribución es mayor. Estos datos están en concordancia con las desviaciones estándares informadas en la Tabla X.

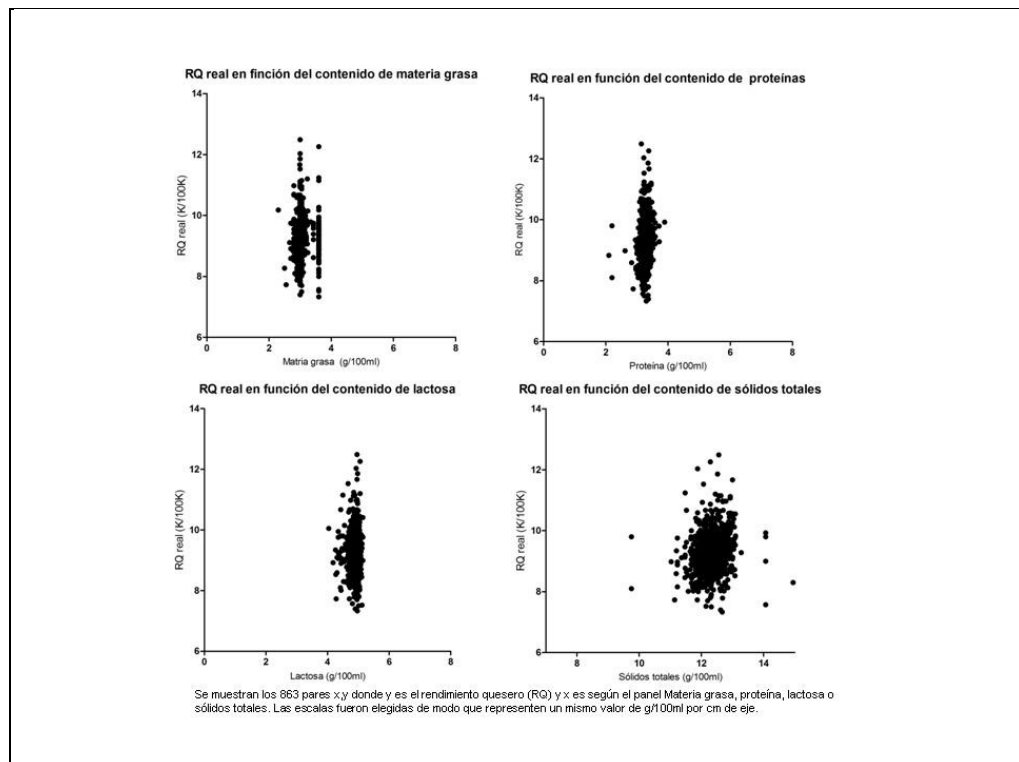


FIGURA 13: Rendimiento queso en función de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales

4.3. AGRUPACIÓN DE RENDIMIENTOS QUESEROS BAJOS, MEDIOS Y ALTOS: RELACIÓN CON LOS COMPONENTES QUÍMICOS DE LA LECHE

El rendimiento quesero real promedio de todas estas elaboraciones fue de $9,26 \pm 0,66$ kg/100kg. Debido a que el rendimiento quesero varía siguiendo una distribución normal, entre valores mínimos alrededor de 7,3 kg /100 kg y valores máximos cercanos a 12,5 kg /100 kg, se decidió analizar los parámetros agrupándolos según estuviesen asociados a valores de rendimiento quesero \pm una desviación estándar. De acá en adelante, denominaremos valores medios a aquellos comprendidos dentro del intervalo definido por el promedio de RQ real \pm 1 desviación estándar. Los valores altos son aquellos por encima de los valores medios (mayor que 9,92 kg /100 kg) y los valores bajos (menores a 8,60 kg /100 kg) aquellos menores a los medios. Se analizaron los contenidos de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales agrupándolos según los tres grupos de rendimiento quesero (bajo, medio o alto) en la Tabla XI.

TABLA XI: Contenidos de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales agrupándolos según los tres grupos de rendimiento quesero (bajo, medio o alto).

| | RQ bajo (n=171) | RQ medio (n=517) | RQ alto (n=175) |
|----------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Materia grasa (g/100 ml) | $3,1 \pm 0,2$ | $3,1 \pm 0,2$ | $3,1 \pm 0,2$ |
| Proteína Total (g/100 ml) | $3,2 \pm 0,1$ | $3,3 \pm 0,1$ | $3,3 \pm 0,1$ |
| Lactosa (g/100 ml) | $4,9 \pm 0,4$ | $4,9 \pm 0,4$ | $4,9 \pm 0,5$ |
| Sólidos totales (g/100 ml) | $12,2 \pm 0,5$ | $12,3 \pm 0,4$ | $12,4 \pm 0,4$ |

En la Tabla 12 y la Figura 14 se muestran que los rendimientos queseros bajos correspondieron a muestras de leche que se distinguieron por un menor contenido de proteínas totales. También se observa una tendencia que indicaría que mayor RQ Real se relaciona con mayor cantidad de sólidos totales en la leche.

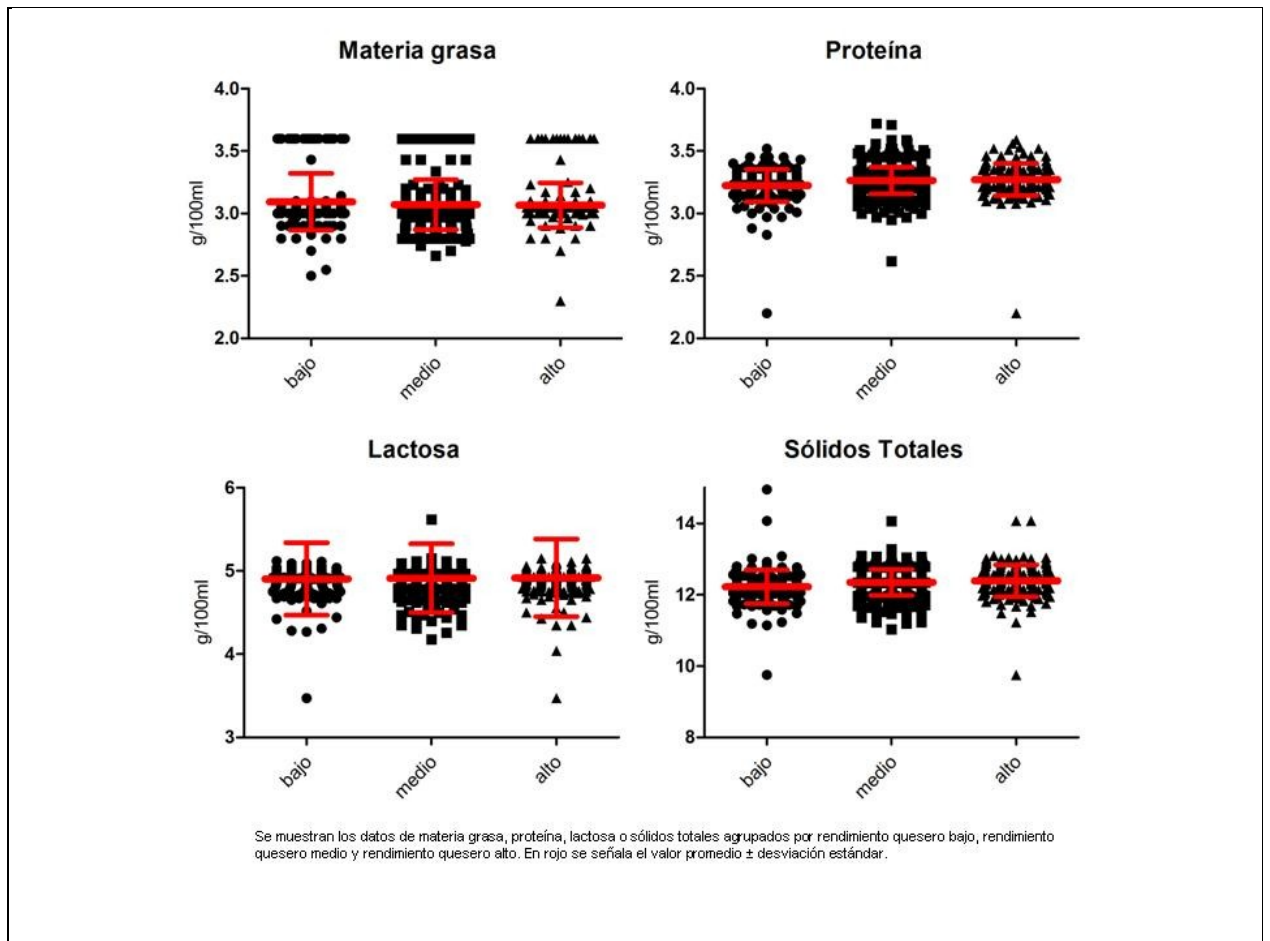


FIGURA 14: Materia grasa, proteína, lactosa o sólidos totales agrupados por rendimiento queso bajo, rendimiento queso medio y rendimiento queso alto

4.4. EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE LAS FÓRMULAS DE RENDIMIENTO QUESERO AL PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESO TYBO

Se examinaron cinco modelos numéricos que describen la dependencia del rendimiento queso con la composición química. Los valores obtenidos se resumen en la Tabla XII.

TABLA XII: Rendimiento queso real y calculado con los modelos matemáticos de Tipo A Van Slyke, Tipo A Van Slyke, Tipo B (Gouda), Tipo C (Gouda), Lolkema.

| | Promedio kg/100kg | desviación estándar | rango mínimo-máxima |
|--------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| RQ real | 9,26 | 0,7 | 7,33 – 12,50 |
| Tipo A Van Slyke | 10,24 | 0,43 | 8,00 – 11,49 |
| Tipo A Van Slyke (Gouda) | 9,99 | 0,41 | 7,83 – 11,18 |
| Tipo B (Gouda) | 10,00 | 0,40 | 7,75 - 11,16 |
| Tipo C (Gouda) | 10,09 | 0,36 | 7,27 - 11,42 |
| Lolkema | 10,08 | 0,40 | 7,87 – 11,25 |

En la tabla XII se comparan los rendimientos queseros teóricos (promedio, desviación estándar y rango de los valores) predichos por estas fórmulas con el obtenido para el rendimiento queso real. Se puede observar que los promedios predichos por todas las fórmulas fueron superiores al RQ real. Lo mismo se observa para los valores mínimos (excepto para la fórmula tipo C). Los valores máximos son inferiores denotando que los valores predichos se encuentran en un rango más acotado. Esto es concordante con los valores de desviación estándar. Es interesante que la fórmula de Van Slyke para Gouda predijera valores más cercanos al RQ real que Van Slyke. Todos los valores para fórmulas de Gouda son similares entre sí.

Debido a las discrepancias entre los valores predichos por estos modelos y el RQ real u observado, se hace necesario desarrollar un modelo que se contemple el proceso de la planta y que sea aplicable con las variables de composición química disponibles por los productores de la región. Por esto, la estrategia utilizada se basó en calcular el rendimiento queso empírico relacionando materia grasa, proteínas, lactosa y sólidos totales para predecir el RQ. El procedimiento para desarrollar la ecuación final se describió en Materiales y Métodos. Esta fórmula fue denominada RQ Tybo Córdoba y los resultados se resumen en la Tabla XIII.

TABLA XIII: Rendimiento queso promedio real y calculado con la ecuación RQ Tybo Córdoba con sus desviaciones estándar y los valores máximos y mínimos.

| | Promedio kg/100kg | desviación estándar | rango mínimo-máxima |
|-----------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| RQ real | 9,26 | 0,66 | 7,33 – 12,50 |
| RQ Tybo Córdoba | 9,47 | 0,37 | 7,55 – 10,76 |

En la Tabla XIII se observa que el promedio de los valores calculados por RQ Tybo Córdoba es levemente superior al del promedio de los RQ reales, la diferencia es significativa ($p < 0,001$).

Para poder evaluar si alguno de estos modelos predice mejor los valores de RQ agrupados en bajo, medio o alto se realizó un análisis con las fórmulas de Van Slyke y RQ Tybo Córdoba utilizando los datos agrupados según estas categorías. En la Tabla 15 se informan los valores de la pendiente de los datos así agrupados y graficando los pares x,y donde “ x ” es RQ real e “ y ” el valor que devuelve el modelo aplicado. El modelo cuya pendiente sea más cercana a 1 es el que mejor se ajusta de acuerdo a la prueba de identidad. Para los valores de rendimiento queseros Bajos y Medios RQ Tybo Córdoba es el modelo que más se ajusta ($p < 0,0001$) y para el grupo de rendimientos queseros altos Van Slyke acierta con precisión los valores reales ($p < 0,0001$).

TABLA XIV: Valores de la pendiente de los datos agrupados en RQ alto, medio, bajo; graficando los pares x,y donde x es RQ real e y el valor que devuelve el modelo aplicado.

| | RQ Real Bajo prom. ± desv. est. | RQ Real Medio prom. ± desv. est. | RQ Real Alto prom. ± desv. est. |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|
| Van Slyke | 1,226 ± 0,007 | 1,110 ± 0,002 | 0,983 ± 0,005 |
| RQ Tybo Córdoba | 1,134 ± 0,006 | 1,020 ± 0,002 | 0,910 ± 0,005 |

Una alternativa confiable para estudiar el comportamiento entre los métodos de predicción de RQ según Van Slyke (VS) y Tybo Córdoba es la regresión lineal como modelo matemático. Este tipo de análisis es el que se utiliza para validar cualquier método que se desee implementar frente a un método de referencia como Van Slyke.

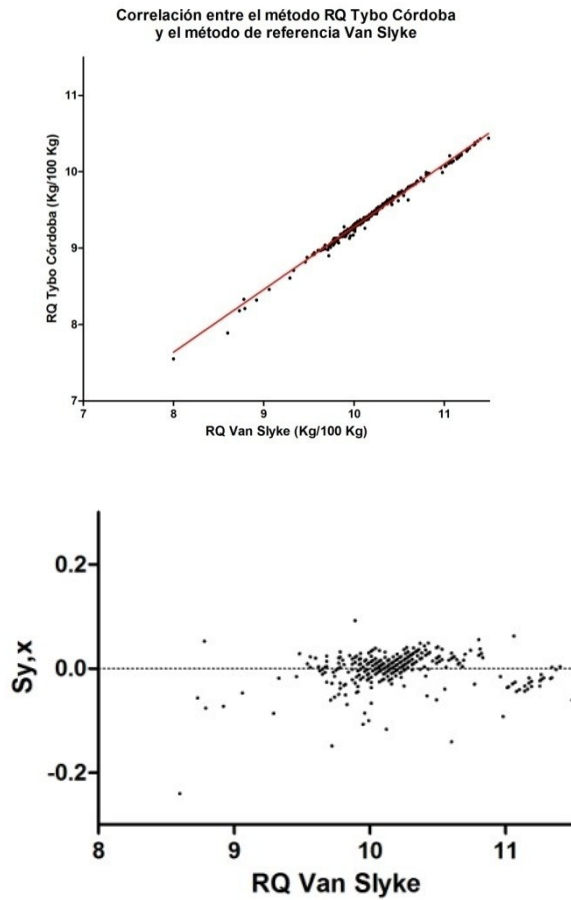


FIGURA 15: Correlación lineal entre los resultados de RQ Tybo Córdoba en función del método de referencia [41]

La Figura 15 explica en forma gráfica el comportamiento lineal de los resultados de RQTybo Cba en función de los de referencia [41]. Se observa en el comportamiento de los residuales, en relación a la línea de regresión, una dispersión homogénea incluso en los valores extremos de la curva (exactitud).

Un estudio de las cualidades de la ecuación de regresión lineal obtenida se presenta en la Tabla XV.

TABLA XV: Cualidades de la correlación lineal entre los resultados de RQ Tybo Cba en función del método de referencia [50]

| Modelo lineal | $Y = a + bX$ |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| Ec. Regresión lineal | RQ Tybo Cba =0,82VS-1,31 |
| Coef. Correlación de los métodos (r) | 0,997 |
| Coef. de Determinación entre métodos (R2) | 0,994 |
| D.E. de Estimación (Residual) SY,X | 0,0513 |

Una primera observación del presente trabajo es que cuando se realiza una predicción de RQ en la planta en estudio debe aplicarse la fórmula RQ Tybo Córdoba ya que el 60% de las elaboraciones corresponde a los valores de RQ Real medio (Figura 14) y a que el ajuste con el método de referencia es excelente (Figura 15).

Cuando se analizó las fracción de valores de rendimiento quesero Bajo, Medio y Alto respecto del total de valores de cada mes del año (Figura 16) se observó que los meses invernales presentaron pocos procesos con valores de RQ Real Bajo y presentaron los niveles mayores de RQ Real Alto, por el contrario los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero tuvieron la mayor fracción de RQ Real Bajo y la menor de RQ alto.

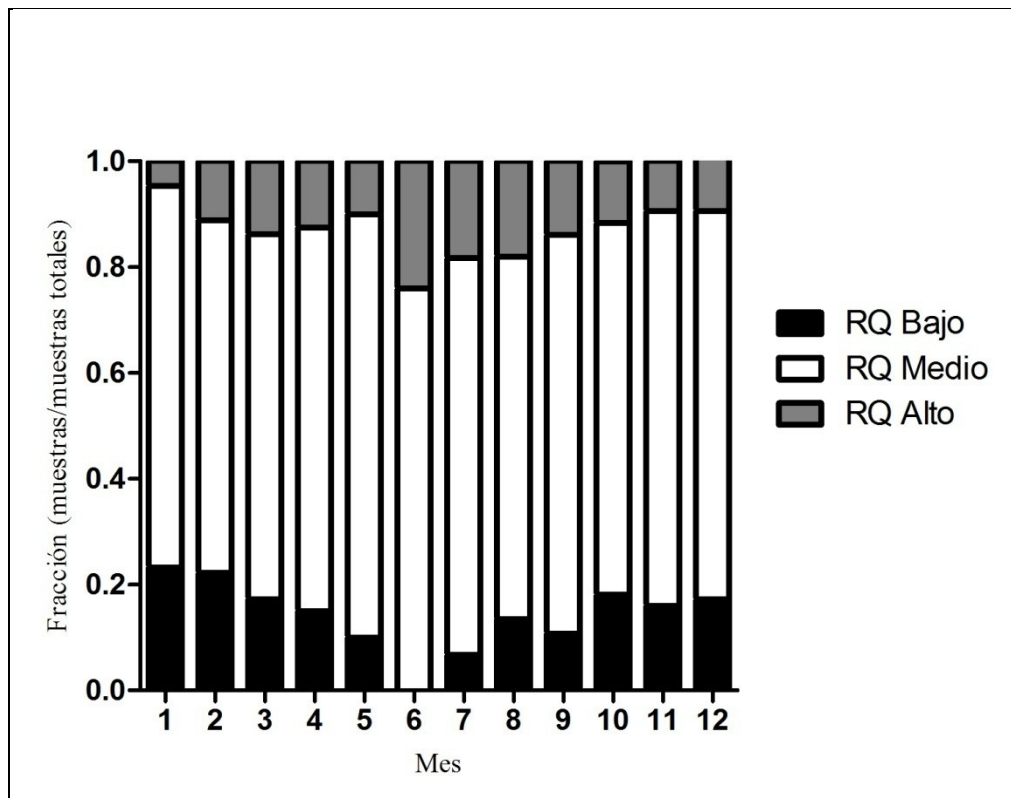


FIGURA 16: Distribución mensual de los valores de rendimiento queso bajo, medio y alto calculado como fracción de las muestras totales por mes

Es por esto que parece indicado analizar si hay relación entre los RQ reales y los valores de materia grasa, proteína o sólidos totales. Para esto se eligió agrupar los datos correspondientes a los meses de diciembre y enero, a los de junio y julio y los datos de las 12 elaboraciones modelo parametrizadas y estandarizadas. Los datos de la relación materia grasa a proteína y de rendimiento queso real muestran que aplicando un test de Kruskal-Wallis se pueden apreciar diferencias muy significativas de la relación MG/P entre diciembre-enero vs junio-julio y diciembre-enero vs las 12 elaboraciones ($P < 0.0001$). También para el RQ real entre diciembre-enero vs junio-julio hay una diferencia pequeña pero significativa ($P < 0,0001$) y entre junio-julio vs 12 elaboraciones ($P < 0,05$). Sin embargo no hay relación evidente entre la relación materia grasa a proteína con el RQ real ya que valores altos de RQ (junio-julio) no corresponde a los valores más altos de MG/P (diciembre- enero) ni a los más bajos (12 elaboraciones) Figura 17.

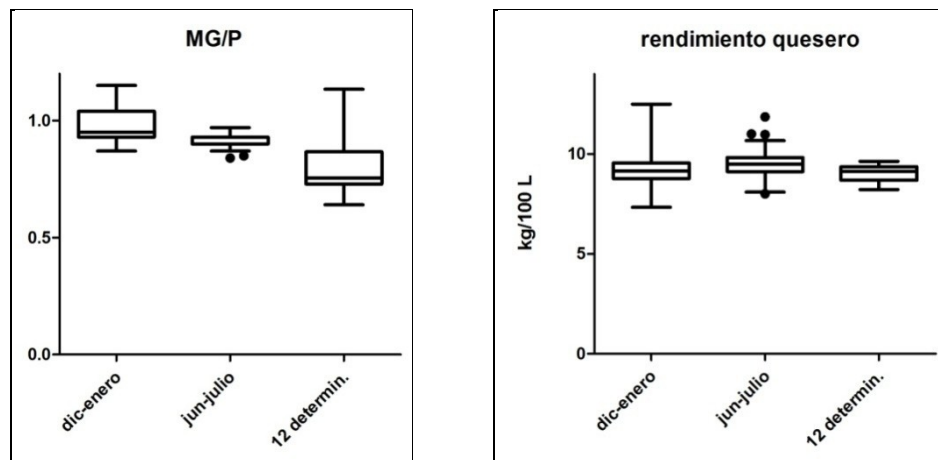


FIGURA 17: Comparación de los valores promedios de la relación MG/P y el RQ en los meses de Dic-En, Jun-Jul y las 12 elaboraciones controladas.

En la sección Materia Grasa, Proteína, Lactosa o Sólidos Totales Agrupados por Rendimiento Quesero Bajo, Rendimiento Quesero Medio y Rendimiento Quesero Alto no se puede observar una buena correlación entre los valores de RQ real y MG o proteína (datos mostrados en Tabla XII). Por lo tanto se procedió a analizar si existe relación entre los valores de RQ Real y los valores de sólidos totales que contienen los valores de Materia Grasa, Proteínas, Lactosa y Sales. Utilizando, nuevamente, el modelo lineal se observó una

dependencia significativa del RQ Real con los Sólidos Totales como se puede observar en la Figura 18.

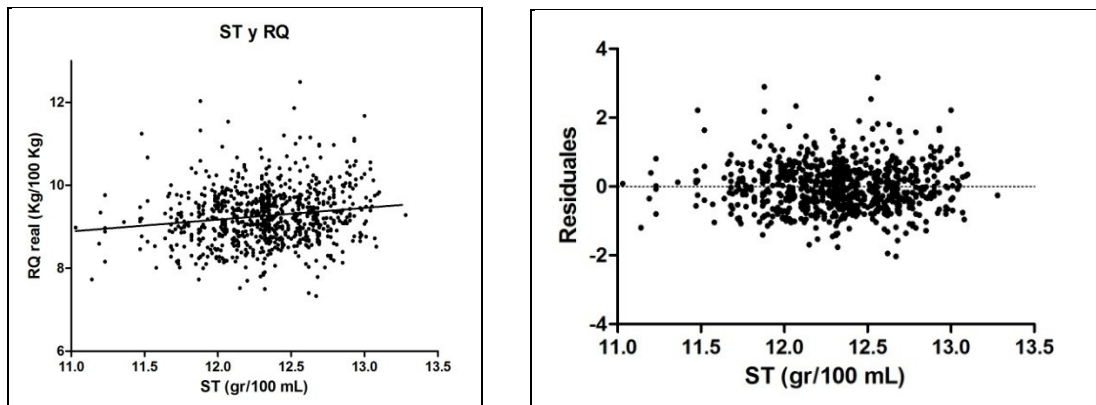


FIGURA 18: Dependencia en un modelo lineal de los ST respecto del RQ Real y sus residuales

Se observa en el comportamiento de los residuales, en relación a la línea de regresión, una dispersión homogénea incluso en los valores extremos de la curva, indicando que el modelo de relación lineal entre la variable independiente (ST) y la dependiente (RQ Real) es correcto. Es interesante que la relación entre ambas variables (pendiente) es altamente significativa como lo muestra la desviación estándar de este valor (Tabla XVI).

TABLA XVI: Parámetros obtenidos por ajuste lineal entre ST y RQ

| Modelo lineal | $Y = a + bX$ |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Ec. Regresión lineal | $RQT \text{ real} = 0.28 \text{ ST} - 5.76$ |
| Pendiente | 0.28 ± 0.06 |
| Coef. de Determinación entre métodos (R^2) | 0,024 |
| D.E. de Estimación (Residual) $S_{Y,X}$ | 0,6495 |

Este análisis está de acuerdo con el hecho de que en la fórmula RQ Tybo Córdoba los datos que se incluyen son una representación con pesos diferentes (coeficientes) de todos los componentes que forman los sólidos totales y no un único componente.

5. DISCUSIÓN

Nuestros resultados están en consonancia con los de otros investigadores que ya han señalado que las razones de rendimientos queseros mayores estarían relacionados con la mayor cantidad de proteína de la leche [41,31] pero este único factor por sí solo, no explica este comportamiento [13]. Otros autores afirman que factores ligados al proceso y relacionados con la estacionalidad, podrían influir en el rendimiento quesero real [11,10].

El autor está convencido que factores ligados al proceso que guardan relación con la estacionalidad también influyen en el rendimiento quesero real. Estos factores no son tenidos en cuenta por ningún modelo predictivo (Van Slyke o RQ Tybo Córdoba) y podría mejorarse la eficiencia de éstas incluyendo esta variabilidad determinando los coeficientes en distintos periodos del año: a) verano, b) otoño y primavera y c) invierno.

Es importante tener en cuenta que la composición proteica de la leche de la región es muy estable por lo tanto cambios en las PT están ligados a cambios en igual sentido de las caseínas, sugiriendo que la variable independiente caseína que se utiliza en las ecuaciones de predicción de RQ, podría ser reemplazada por PT y así simplificar las determinaciones necesarias para la aplicación de las mismas.

Otros autores han señalado que la fórmula de Van Slyke sobrestima [41] los rendimientos y han desarrollado fórmulas que sean capaz de predecir el rendimiento de un proceso específico [44].

La fórmula de Van Slyke parece ser adecuada para aquellos países donde la leche es principalmente utilizada como materia prima para la manufactura de queso, la cual tiene un valor de proteínas totales cercano al 3,3% [31,44]. De acuerdo a los resultados de esta tesis, la leche utilizada contiene un 70% de caseínas, valor 10% inferior al reportado por otros autores, y que es el valor asumido originalmente por Van Slyke [51,50]. De estos y nuestros datos se deduce que la leche utilizada tenía un contenido absoluto de caseína inferior al de la literatura internacional.

La formula 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 la eficiencia en el rendimiento quesero estándar a través del cual distintas plantas pueden compararse [41].

En la literatura, no hay estudios sobre la aplicabilidad de las distintas fórmulas de rendimiento quesero para ser utilizadas en Sud América, y por lo tanto es un trabajo pionero en esta área.

Para que la fórmula desarrollada en esta tesis sea de aplicabilidad regional deberá ser probada en otras plantas de la cuenca central de la Argentina y así reemplazar a la de Van Slyke, ya que fue superior a la de Van Slyke RQ en el 70 % de las muestras.

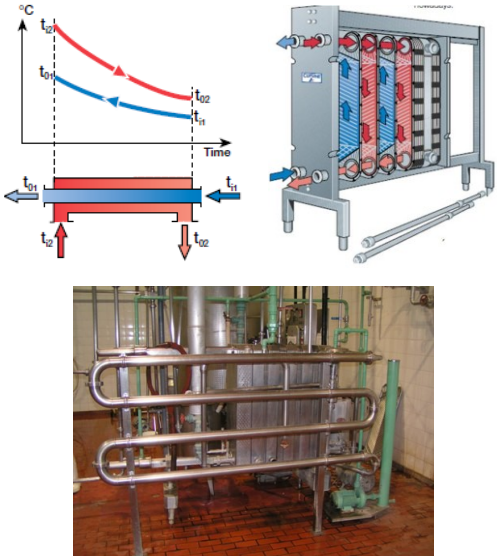




6. CONCLUSIONES




- ❖ El rendimiento quesero real promedio fue de 9,26 kg/100kg con una desviación estándar de 0,66 para los 863 procesos analizados. La variación (desviación estándar) porcentual del rendimiento quesero resultó 7,1%.
- ❖ La evolución mensual del rendimiento en relación a las de materia grasa, proteína, lactosa y sólidos totales no presentó correlación (Figura 11 y Figura 12).
- ❖ El rendimiento quesero mostró una correlación significativa con proteínas y con sólidos totales (Tabla X).
- ❖ La leche con valores proteicos inferiores a 3,24 g/100 ml produjo rendimiento quesero bajo, mientras que la leche con un contenido de proteínas igual o superior a 3,27 g/100ml produjo rendimiento quesero alto.
- ❖ El rendimiento quesero real fue significativamente mayor en los meses de junio-julio y significativamente menor para los meses de diciembre-enero.
- ❖ La fórmula desarrollada utiliza datos disponibles en cualquier planta ya que no es necesario contar con el valor de caseínas de la leche.
- ❖ La ecuación RQ Tybo Cba es un 8,3% más precisa que el método de referencia (Van Slyke).

7. ANEXOS

7.1.1. ANEXO I DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACION DE QUESO TYBO EN LA PLANTA MODELO

| Tarea | Descripción | Foto Ilustrativa |
|-------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Recepción de Leche Cruda |  |
| 2 | Almacenamiento Refrigerado |  |
| 3 | Estandarización de la Materia Grasa |  <p data-bbox="1070 1957 1299 2007">Corta que permite observar el paso de la leche a través de los discos y su separación en globulos de grasa y leche descremada.</p> |

| | | |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | Pasteurización |  |
| 5 | Coagulación Adición de Fermento, Cuajo, Cloruro de Calcio , Colorante |   |
| 6 | Lirado de la cuajada |   |

| | | |
|----|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | Cocción |  |
| 8 | Pre-Prensado (bajo suero) |  |
| 9 | Desuerado |  |
| 10 | Moldeado |   |
| 11 | Prensado |   |

| | | |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | |  |
| 12 | Salado |  |
| 13 | Oreado |  |
| 14 | Envasado al vacío y rotulado |  |
| 15 | Madurado |  |
| 16 | Expedición |  |

8. GLOSARIO

| <u>ABREVIATURA</u> | <u>SIGNIFICADO</u> |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| °Be: | Grados Baumé |
| °C: | Grados Celsius |
| a: | pendientes de la recta |
| AATA: | Asociación Argentina de Tecnólogos de Alimentos |
| B.S.I.: | <u>British Styards Institution</u> |
| b: | ordenada al origen |
| BRC: | British Retail Consortium |
| C.A.A.: | Código Alimentario Argentino |
| C: | Caseína |
| C/MG | Relación caseína/materia grasa |
| CAA: | Código Alimentario Argentino |
| Cz: | Cenizas de la leche |
| CIP: | Cleaning in place |
| Cl ₂ Ca: | Cloruro de Calcio |
| cm ² : | Centímetros cuadrados |
| Coef.: | Coefficiente |
| CONICET: | Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas |
| CYTAL: | Ciencia y Tecnología de Alimentos |
| DS ó DE: | Desviación estándar |
| ESIL: | Escuela Superior Integral de Lechería |
| FCEFYN: | Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales |
| Fig: | Figura |
| FIL- IDF: | Federación Internacional de Lechería |
| FUNESIL | Fundación Cultural de Profesores y Amigos de la Escuela Superior Integral de Lechería |
| g: | Gramo |
| g%: | Gramo por ciento |
| GMP | Glicomacropéptido |
| Hum | Humedad |
| Hum%: | Humedad por ciento |
| IAPCBA | Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas |

| | |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IR: | Infra Rojo |
| IRCA: | International Register of Certificated Auditors (International Organization for Standardization) Organización Internacional de Normalización |
| ISO: | Normalización |
| K: | Coefficiente de transferencia. |
| KG: | coeficiente de transferencia de la materia grasa de leche a queso |
| KP: | coeficiente de transferencia de la proteína de leche a queso |
| KL: | coeficiente de transferencia de la lactosa de leche a queso |
| KCZ: | coeficiente de transferencia de la ceniza de leche a queso |
| kg: | kilogramo |
| Lac: | Lactosa |
| L: | Litros |
| M | Minerales |
| Max: | Máximo |
| MG: | Materia Grasa |
| Min: | Mínimo |
| MinCyT: | Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba |
| ml: | Mililitro |
| n.s.: | No significativa |
| n: | Número de muestra |
| NCh: | Norma Chilena |
| p: | Valor de significancia de la pendiente |
| pH: | Potencial de Hidrógeno |
| PRFV: | Plástico reforzado con fibra de vidrio |
| P: | Proteína |
| PT: | Proteína Totales |
| PVC: | Policloruro de Vinilo |
| r: | Coefficiente Correlación de los métodos |
| R ² : | Coefficiente de Determinación entre métodos |
| RQ Tybo: | Rendimiento quesero del queso Tybo |
| RQ: | Rendimiento Quesero |
| SAGPyA: | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación |
| SeCYT: | Secretaría de Ciencia y Tecnológica de la UNC |
| seg: | Segundo |

| | |
|-------|-------------------------------------------------|
| SEU: | Secretaría de Extensión Universitaria de la UNC |
| ST: | Sólidos Totales |
| STNG: | Sólidos Totales No Grasos |
| UNC: | Universidad Nacional de Córdoba |
| UNVM: | Universidad Nacional de Villa María |
| VDF: | Válvula Diversora de Flujo |
| vs | Versus |
| x: | Valor de la variable |
| y: | Valor de la ordenada a la origen |

9. BIBLIOGRAFIA

1. ORDOQUI M.S, MOGNI F., y H. D., *Características de la producción lechera argentina*. Apuntes agroeconómicos, Facultad de Agronomía (UBA), 2003. Año 1, N° 2 .
2. LÁCTEOS, DIRECCIÓN DE INDUSTRIA ALIMENTARIA, Y S.A.G.P.Y. A. *Producción Argentina de Leche - serie mensual*. 2010; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Disponible en World Wide Web :
<http://www.minagri.gob.ar/site/_subsecretaria_de_lecheria/lecheria/07_Estad%C3%ADsticas/_01_Nacional/serie/Prod_Anuual.htm>.
3. DIRECCIÓN DE INDUSTRIA ALIMENTARIA, S.A.G.P.Y.A.-L.-. *Indicadores lácteos 2010*. 2010; Disponible en World Wide Web :
<http://www.minagri.gob.ar/site/_subsecretaria_de_lecheria/lecheria/07_Estad%C3%ADsticas/_01_Nacional/indica/Indica09_07.htm>.
4. SCHALLER, A., *Los Ciclos en el Complejo Lácteo Argentino. Análisis de Políticas Lecheras en Países Seleccionados*. Lácteos, Alimentos argentinos, 2010. 48: p. 1-3.
5. TERÁN, J.C., *Caracterización de la Cadena Láctea en la Argentina*, en *IDIA XXI*. 2007, INTA.
6. DANIEL LEMA, A.G., VANINA LOYATO, *Estimación de la elasticidad de la demanda de quesos por segmentos y niveles de marcas mediante la utilización de datos de scanner*. 2005(Documento de Trabajo N° 33).
7. Código Alimentario Argentino, C.A.A.L., Dto. reglamentario 2126/71- Anexo I - Cap VIII - RESOLUCIÓN GMC N° 079/94 Incorporada por Resolución MSyAS N° 110 del 4.04.95. , *Reglamento técnico general Mercosur de identidad y calidad de quesos*. 1994.
8. Código Alimentario Argentino, C.A.A.L., Dto reglamentario 2126/71- Anexo I), *Cap VIII - ALIMENTOS LÁCTEOS, Art: Art ículo 633 - (Resolución Conjunta S P Ry RS y SAGPyA N° 33/2006 y N° 563/2006)*. 2006.
9. SKEIE, S., *Characteristics in milk influencing the cheese yield y cheese quality*, *Journal of Animal y Feed Sciences*. 2007. 16(Suppl. 1): p. 130–142.
10. FIL-IDF, F.I.D.L., *Cheese yield y Factors Affecting its control*. Proceedings of the IDF Seminar, 1993b. Cork Irely: p. 540 p.
11. SWEENEY, P.L.H.M., *Cheese problems solved*. Woodhead Publishing Limited y CRC Press LLC, 2007.
12. VERDIER-METZ, I., J.-B. COULON, Y P. PRADEL, *Relationship between milk fat y protein contents y cheese yield*. *Anim. Res.*, 2001. 50(5): p. 365-371.
13. BANKS J.M. , B.W., MUIR D.D. , WILSON A.G. , *Cheese yield: composition does matter*. *Dairy Ind. Int*, 1981. 46: p. 15–22.
14. TAVERNA M. , C.V., CUATRÍN A. ,GAGGIOTTI M. , PÁEZ R. , CHÁVEZ M. , *Composición química de la leche producida en la Cuenca Lechera Central de la Argentina*. *Rev. Arg. Prod. Anim*, 2001. 21(supl.1): p. 271, 2001.
15. TAVERNA M. , C.A., QUAINO O. , *Estudio del comportamiento de la concentración de la materia grasa y la proteína de la leche producida en Argentina*. *Rev. Arg. Prod. Anim*, 2002. 22(1): p. 39.
16. PECORA R. P., GON G., DALLA COSTA C. A., HANTIS D. y KIVATINITZ S. C., *Variación anual de la composición química de la leche de vaca de la cuenca lechera de Córdoba, Argentina*, in *CESIA-CIBSA*, M.R.y.J. ZALAZAR, Editor. 2008, CIMNE.

17. HARDING, F., *Bases y Experiencias of Expressing de protein content of milk - Engly y Wales*. Journal of dairy science, 1992. 75(11): p. 3218-3220.
18. TAVERNA, M., *Composición química de la leche*. Proyecto Nacional de Lechería del INTA, 2002.
19. ROWLAND, S.J., *The presipitation of de proteins in milk*. Journal of dairy research, 1938. 9(30).
20. ALAIS, C., *Ciencia de la leche : principios de técnica lechera*, ed. E. Reverté. 1985, Barcelona. 884.
21. LIMSOWTIN, G.K.y POWELL I.B., *Milk quality for cheesemaking*. The Australian Journal of Dairy Technology, 1996, vol. 51, p. 98-100.
22. GOFF, P.D. *Dairy Chemistry y Physics*. Disponible en World Wide Web: <<http://www.foodscience.uoguelph.ca/dairyedu/chem.html>>, 2009. p 1-8.
23. DALGLEISH, D.G., *Structure-Function Relationships of Caseins*. Food proteins y their applications, ed. S.y.A.P. Damodaran. Vol. Cap- 7. 1997: Marcel Dekker, Inc., New York, NY, EUA.
24. RASMUSSEN, L.K., HOJRUP, P. y T. E. PETERSEN, *Disulfide Arrangement in Bovine Caseins: Localization of Intrachain Disulphide Bridges in Monomers of κ - y α ₂-Casein from Bovine Milk*. Journal of dairy science, 1994. 61: p. 485-493.
25. WEDHOLM, A., *Variation in Milk Protein Composition y its Importance for the Quality of Cheese Milk*, in *Faculty of Natural Resources y Agricultural Sciences, Department of Food Science*. 2008, Swedish University of Agricultural Sciences: Uppsala.
26. SCHMIDT, D.G., *Association of caseins y casein micelle structure*. Developments of Dairy Chemis, 1982. 1: p. 61-68.
27. HOLT, C., *Structure y stability of bovine casein micelles*. Advances Protein Chemistry, 1992. 43: p. 63-151.
28. WALSTRA, P., *Casein sub-micelles: do they exist?* International Dairy Journal, 1999. 9: p. 189-192.
29. HORNE, D.S., *Casein interactions: Casting light on the black boxes, the structure in dairy products*. International Dairy Journal, 1998. 8: p. 171-177.
30. DALGLEISH, D.G., SPAGNUOLO, P.A. & GOFF, H.D. , *A possible structure of the casein micelle based on high-resolution field-emission scanning electron microscopy*. International Dairy Journal 2004. 14: p. 1025-1031.
31. EMMONS, D.B., DUBÉ C., y MODLER H.W., *Transfer of Protein from Milk to Cheese1*. Journal of dairy science, 2003. 86(2): p. 469-485.
32. JIMENEZ-MARQUEZ, S.A., C. LACROIX, y J. THIBAUT, *Statistical Data Validation Methods for Large Cheese Plant Database*. Journal of dairy science, 2002. 85(9): p. 2081-2097.
33. LAWRENCE, R.C., *Processing conditions. Factors affecting the yield of cheese*. IDF Special Issue 9301, 1993: p. 197.
34. GILLES, J.y.R.C.L., *The yield of cheese*. New Zealy of Dairy Science y Technology, 1985. 20: p. 205-214.
35. Mc ILVEEN, H.y.C.S., *Styardization y its influence on the recovery of fat y protein into Cheddar cheese*. Dairy Industries International, 1990. 55: p. 11-18.
36. LAWRENCE, R.C., *Cheese yield potential of milk. Factors affecting the yield of cheese*. IDF Special Issue 9301, 1991a: p. 197 p.
37. ROMANO, A.C.R.y.J.C., *¿hacia un cambio del modelo productivo?*, in *Mundo Ganadero*. 2008. p. 62-66.
38. GAUNA, A., *Mejora de la eficiencia y de la competitividad de la economía argentina: Capacitación de técnicos y/o profesionales de laboratorios y de las PYMEs y sus asociaciones en Elaboración de quesos de pasta semidura con ojos*, in *Informe Técnico INTI*. 2005.

39. BRULE, G.y.L.J., *La coagulación de la leche* El Queso, 1989: p. 3-20.
40. CAJA, G., *Naturaleza y composición de la leche*, P. Leche, Editor. 2006, Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinària, Llicenciatura de Veterinària, Producció Animal II.
41. EMMONS, D.B., et al., *Predictive Formulas for Yield of Cheese from Composition of Milk: A Review I*. Journal of dairy science, 1990. 73(6): p. 1365-1394.
42. VEISSEYRE, R., *Lactología Técnica*, ed. Acribia. 1980, Zaragoza, España.
43. BABCOCK, S.M., *Experiments in the manufacture of cheese*. Eleventh Annual Report, Wisconsin State Agricultural Experiment Station, 1894. 1.
44. EMMONS, D.B., et al., *Further Considerations in Formulas for Predicting Cheese Yield from the Composition of Milk I*. Journal of dairy science, 1993. 76(4): p. 914-920.
45. FIL-IDF, F.I.D.L., *Factors Affecting the yield of cheese*. IDF Special Issue 9301, 1991: p. 197 p.
46. BRITO, C., et al., *Evaluation of mathematical equations to predict the theoretical yield of Chilean Gouda cheese*. International Journal of Dairy Technology, 2002. 55(1): p. 32-39.
47. SOLORZA, F.y.A.B., *Effect of calcium on the minerals retention y cheesemaking parameters of milk*. International Journal of Dairy Technology, 1998. 51(2): p. 37-43.
48. CHAVEZ M., C.E., ROMERO L., TAVERNA M. y ARONNA S. , *Respuesta productiva de vacas de raza Jersey y Holando sometidas a dos sistemas de alimentación. Aptitud tecnológica de la leche producida por vacas Holando Argentino y Jersey*. Rev. Arg. Prod. Anim, 2002. 22(1): p. 398-399.
49. ALEXYER G., TOPAJ, R.A.P., *Simulation of plant phenology in complex agroecosystem models as an optimal control problem*. 2008, "Continuous Optimization y Knowledge-Based Technologies" International Conference 20th EURO Mini Conference: Neringa, LITHUANIA.
50. VAN SLYKE, L.L., *Investigation relating to the manufacture of cheese*. New York Agric. Exp. Stn. Bull, 1894. 65.
51. LOLKEMA, H., *Factors affecting the yield of cheese.*, in *Factors affecting the yield of cheese*, D.B. Emmons, Editor. 1993, Inter. Dairy Federation: Brussels. p. 156.
52. POSTHUMUS, G., C.J. BOOY, y C.J. KLIJN, *The relation between the protein content of milk y cheese yield*. Neth. Milk Dairy J., 1964. 18: p. 155-164.
53. MELILLI, C., et al., *An Empirical Method for Prediction of Cheese Yield I*. Journal of dairy science, 2002. 85(10): p. 2699-2704.
54. MORISON, K.R., *Cheese manufacture as a separation y reaction process*. Journal of Food Engineering, 1997. 32(2): p. 179-198.
55. C.A.A., L., Decreto Reglamentario 2126- Anexo I), *Cap VIII - Alimentos Lácteos, Art: Artículo 633 - (Resolución Conjunta S P Ry RS y SAGPyA N° 33/2006 y N° 563/2006)*. 2006.
56. IRAM 14072. Productos Lacteos. Determinación de pH. Buenos Aires: IRAM, 2003.
57. IRAM 14005-2. Leche. Determinación de la Acidez titulable. Parte 2: Valoración alcalimétrica con dilución de la muestra. Buenos Aires: IRAM, 2006.
58. ISO 17678|IDF 202:2010 - Milk and milk products - Determination of milk fat purity by gas chromatographic analysis of triglycerides (Reference method). Ginebra, Suiza : ISO, 2010.
59. ISO 8968-5|IDF 020-5:2001 - Milk - Determination of nitrogen content - Part 5: Determination of protein-nitrogen content.). Ginebra, Suiza : ISO, 2001.
60. ISO 17997-2|IDF 029-2:2004 - Milk - Determination of the casein-nitrogen content - Part 2: Direct method.). Ginebra, Suiza : ISO, 2014.

61. ISO 6731|IDF 021:2010 - Milk, cream and evaporated milk - Determination of total solids content (Reference method). Ginebra, Suiza : ISO, 2010.
62. ISO 22662|IDF 198:2007 - Milk and milk products - Determination of lactose content by high-performance liquid chromatography (Reference method). Ginebra, Suiza : ISO, 2007.
63. IRAM 14065:2006. Leche fluida. Determinación de cenizas. Buenos Aires: IRAM, 2006.
64. IDF 027:1964 - Determination of the ash content of processed cheese products. Ginebra, Suiza : ISO, 1964.
65. ISO 8967|IDF 134:2005 - Dried milk and dried milk products - Determination of bulk density. Ginebra, Suiza : ISO, 2005.
66. ISO 5943|IDF 088:2006 - Cheese and processed cheese products - Determination of chloride content - Potentiometric titration method. Ginebra, Suiza : ISO, 2006.
67. ISO 2920|IDF 058:2004 - Whey Cheese - Determination of dry matter (Reference method). Ginebra, Suiza : ISO, 2004.

