

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y RENDIMIENTO DE 8 LÍNEAS DE
PRODUCCIÓN DE QUESO, MEDIANTE EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE
MONITOREO BASADO EN LA RECUPERACIÓN DE COMPONENTES,
PARA LA EMPRESA COLÁCTEOS LTDA.**

ROLANDO RIGOBERTO ROSERO BENAVIDES

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y RENDIMIENTO DE 8 LÍNEAS DE
PRODUCCIÓN DE QUESO, MEDIANTE EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE
MONITOREO BASADO EN LA RECUPERACIÓN DE COMPONENTES, PARA
LA EMPRESA COLÁCTEOS LTDA.**

ROLANDO RIGOBERTO ROSERO BENAVIDES

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agroindustrial**

**Asesor:
DIEGO MEJIA ESPAÑA
Ing. Agroindustrial**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en éste trabajo son responsabilidad exclusiva de su autor”

Artículo 1 del acuerdo 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma Presidente de Tesis

Jurado A.

Jurado B.

San Juan de Pasto, Agosto del 2011

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser la luz que siempre ha guiado mi camino.

A mis padres, hermanos y demás familiares que siempre han estado presentes en todo momento, gracias por su continuo apoyo.

A la universidad de Nariño, especialmente al equipo docente y administrativo de la facultad de Ingeniería Agroindustrial, quienes a través de los años amablemente tuvieron la voluntad y paciencia para compartir su conocimiento y experiencia.

A la Cooperativa de productos de Nariño (Colácteos Ltda). Por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos. La experiencia con Colácteos me ha enseñado que el trabajo en un aula no es diferente al de una industria, pero siempre habrá más cosas por aprender. Gracias a todas esas personas maravillosas que conocí quienes con su experiencia cerraron parte de esa brecha.

A todos mis compañeros y amigos porque constituyeron una parte importante en este esfuerzo por ascender un peldaño más en mi vida. Compartí con ellos momentos agradables.

RESUMEN

Con el presente estudio se evaluó el rendimiento de las 8 principales líneas de queso que procesa la Cooperativa de productos lácteos de Nariño COLACTEOS LTDA, las líneas evaluadas fueron: queso casero, campesino, cuajada campesina, doble crema, Holandés, papialpa, mozzarella y sanduchero.

Para realizar la evaluación se hizo un muestreo aleatorio de varios lotes por cada línea de queso, de cada uno de ellos se analizó la composición fisicoquímica de la materia prima utilizada, el lactosuero y el producto terminado. Con los datos recolectados se realizaron cálculos de balance de materia, determinando así el nivel de transferencia de sólidos y materia grasa.

Teniendo en cuenta el análisis fisicoquímico realizado, se utilizó valores teóricos de cifras de recuperación de componentes, como patrón de comparación con las cifras obtenidas en líneas que elabora la empresa, como resultado se pudo conocer líneas críticas con rendimientos anormales que presentan divergencia y por tanto aquellas que potencialmente podrían ser mejoradas.

Para aquellas líneas que presentaron cifras anormales, se hizo un estudio más detallado y se encontró las causas por las cuales no alcanzaban el rendimiento teórico o porque presentaban variación anormal.

Mediante el análisis de rendimiento de todas las líneas se pudo explicar las principales causas de variación, y por tanto aquellos factores que deberían ser monitoreados, si se busca la optimización de los mismos, para ello se diseñó cartas de control para la línea que presentó mayor variación y menor rendimiento respecto a su valor teórico.

Durante el proceso de análisis se diseñó un sistema de medición para determinar la transferencia de sal en queso, cuando se realiza el proceso de salado en una tina de cuajado. También se proponen ecuaciones para el control y optimización del rendimiento en la industria quesera mediante un sistema de monitoreo basado en ecuaciones de balance de materia.

ABSTRACT

The present study evaluated the performance of the 8 main lines of processed cheese dairy cooperative COLACTEOS LTDA Nariño, the lines evaluated were: cottage cheese, farmer, peasant curd, double cream, Dutch, papialpa, mozzarella and sanduchero .

To perform the evaluation was a random sampling of several batches for each line of cheese, each analyzed the chemical and physical composition of the raw material used, the whey and the finished product. The data collected were performed mass balance calculations, thus determining the level of transfer of solids and fat.

Given the physical and chemical analysis conducted, we used theoretical values of recovery figures of components such as a standard for comparison with figures obtained in lines that made the company as a result were able to learn critical lines with abnormal returns showing divergence and therefore those that could potentially be improved.

For those lines that showed abnormal figures, made a detailed study and found the causes which did not reach the theoretical or because they had abnormal variation.

By analyzing the performance of all lines could explain the main causes of variation, and therefore factors that should be monitored, if it seeks to optimize them, it was designed to control charts for the line had higher variation and lower performance compared to its theoretical value.

During the analysis we designed a measurement system to determine the transfer of salt in cheese, when performing the process of salt in a tub of curdled. Equations are also proposed for the control and performance optimization in the cheese industry through a system of monitoring based on material balance equations.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. MARCO DE REFERENCIA.....	22
4. OBJETIVOS	29
4.1 OBJETIVO GENERAL	29
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	29
5. METODOLOGÍA	30
5.1 IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBAS FISICOQUIMICAS PARA LA EVALUACIÓN DE TRANSFERENCIA DE COMPONENTES	30
5.2 DETERMINACION DEL NIVEL DE RECUPERACIÓN DE COMPONENTES REAL Y RENDIMIENTO TEÓRICO	31
5.2.1 Evaluación de la transferencia de sólidos totales.....	31
5.2.1.1 Determinación de pérdida de sólidos totales en suero.....	31
5.2.1.2 Determinación de la recuperación de sólidos totales en queso	33
5.2.2 Evaluación de la transferencia de materia grasa:	34
5.2.2.1 Determinación de pérdida de materia grasa en suero.	34
5.2.2.2 Determinación de la recuperación de materia grasa en queso.	35
5.2.3 Cálculo del coeficiente global.....	35
5.2.4 Cálculo del rendimiento teórico.	36
5.3 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE RENDIMIENTO	37
6. RESULTADOS Y DISCUSION.....	38

6.1	CAUSAS DE VARIACIÓN DE RENDIMIENTO ENTRE LINEAS DE QUESO	39
6.1.1	Efecto del porcentaje de de materia grasa en leche	39
6.1.2	Efecto del porcentaje de caseína en leche	42
6.1.3	Efecto del porcentaje de humedad en producto terminado	44
6.1.4	Efecto del porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso.....	46
6.1.5	Efecto de varios factores por análisis de regresión múltiple.....	48
6.2	EVALUACION DE TRANSFERENCIA DE COMPONENTES	50
6.2.1	Análisis de pérdida en lactosuero:	51
6.2.1.1	Análisis de pérdida de sólidos totales:	51
6.2.1.2	Análisis de pérdida de materia grasa:	53
6.2.2	Análisis de recuperación en queso	54
6.2.3	Correlación entre el análisis de transferencia por lactosuero y queso:	56
6.3	DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL RENDIMIENTO	57
6.3.1	Calculo de la transferencia de Sal.....	58
6.3.2	Calculo del rendimiento teórico.	64
6.4	ANÁLISIS DE QUESO DOBLE CREMA COMO LÍNEA CRITICA DE RENDIMIENTO	67
6.4.1	Análisis de transferencia de sólidos totales.....	67
6.4.2	Análisis de transferencia de materia grasa	73
6.4.3	Análisis de regresión múltiple para rendimiento.....	75
6.5	DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE RENDIMIENTO	77
6.5.1	Efecto de la humedad en el rendimiento quesero.	77
6.5.2	Efecto del coeficiente global en otras líneas de queso	82

6.6	ANÁLISIS DE VARIACIÓN PARA QUESO CASERO.....	83
7.	CONCLUSIONES	90
8.	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA	93

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Medias de rendimiento e intervalos LSD según línea.	21
Figura 2. Diagrama de balance general para la elaboración de queso	31
Figura 3. Medias de rendimiento e intervalos LSD.....	38
Figura 4. Parámetros de estandarización de materia grasa en materia prima por línea	40
Figura 5. Correlación de rendimiento según porcentaje de materia grasa en leche.....	40
Figura 6. Medias de porcentaje de caseína e intervalos LSD	42
Figura 7. Correlación de rendimiento según porcentaje de caseína en leche ...	43
Figura 8. Medias de humedad en queso e intervalos HSD	45
Figura 9. Correlación de rendimiento según porcentaje de humedad en queso	45
Figura 10. Correlación de rendimiento según porcentaje de recuperación de de sólidos totales en queso.....	47
Figura 11. Medias de porcentaje de sólidos totales en suero e intervalos HSD..	51
Figura 12. Medias de porcentaje de pérdida de sólidos totales en suero e intervalos HSD	52
Figura 13. Medias de porcentaje de materia grasa en suero e intervalos HSD..	53
Figura 14. Medias de porcentaje de pérdida de materia grasa en suero e intervalos HSD	54
Figura 15. Medias de porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso e intervalos HSD	55
Figura 16. Porcentaje de recuperación y pérdida de sólidos totales	56
Figura 17. Correlación de grados baumé según cantidad de sal presente en lactosuero.....	60

Figura 18. Correlación del porcentaje de sal en suero 2 según lectura de grados baumé	60
Figura 19. Diagrama de balance para líneas de queso con salado en tina de coagulación	62
Figura 20. Rendimientos reales y teóricos según línea.....	66
Figura 21. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de pérdida de sólidos totales en suero	67
Figura 22. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso	69
Figura 23. Distribución del porcentaje de sólidos totales en leche para queso doble crema	71
Figura 24. Correlación de rendimiento en queso doble crema según coeficiente global.....	72
Figura 25. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de materia grasa en queso	75
Figura 26. Diagrama de balance para pérdida y ganancia de humedad	77
Figura 27. Carta de control x para rendimiento (L/Kg)	80
Figura 28. Carta de control x para rendimiento ajustado a humedad constante ..	80
Figura 29. Carta de control x para coeficiente global	80
Figura 30. Carta de control x para porcentaje de recuperación de materia grasa en queso	81
Figura 31. Medias de rendimiento e intervalos HSD, para queso casero según Coordinador	84
Figura 32. Medias de rendimiento e intervalos HSD, de queso casero según volumen procesado.....	85
Figura 33. Medias de coeficiente global e intervalos HSD, de queso casero según volumen procesado	86
Figura 34. Medias de porcentaje de sólidos totales en suero e intervalos HSD de queso casero según Volumen procesado	87

Figura 35. Medias de porcentaje de humedad en queso e intervalos HSD, de queso casero según Volumen procesado	88
---	----

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis de varianza para rendimiento según línea.....	20
Tabla 2. Contraste de rango múltiple para rendimiento	39
Tabla 3. Correlación de rendimiento según porcentaje de materia grasa en leche.	41
Tabla 4. Análisis de varianza para porcentaje de caseína según línea	42
Tabla 5. Correlación del rendimiento según porcentaje de caseína en leche	44
Tabla 6. Correlación de rendimiento según porcentaje de humedad en queso. .	46
Tabla 7. Correlación de rendimiento según porcentaje de recuperación de sólidos.....	47
Tabla 8. Correlación múltiple de rendimiento, según cuatro variables independientes.....	48
Tabla 9. Correlación múltiple de rendimiento, según tres variables independientes.....	49
Tabla 10. Análisis de varianza para porcentaje de sólidos totales en suero según línea	51
Tabla 11. Análisis de varianza para porcentaje de materia grasa en suero según línea	53
Tabla 12. Relación de pérdida y recuperación de sólidos totales	57
Tabla 13. Correlación de porcentaje de sal en suero 2 según lectura de grados baumé	61
Tabla 14. Porcentajes de transferencia de sal a queso y pérdida en lactosuero ..	64
Tabla 15. Rendimientos teóricos y factores utilizados	65
Tabla 16. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de pérdida de sólidos totales en suero	68

Tabla 17. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso	70
Tabla 18. Correlación de porcentaje de rendimiento en queso doble crema según coeficiente global	72
Tabla 19. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de pérdida de materia grasa en suero	73
Tabla 20. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de materia grasa en queso.....	74
Tabla 21. Correlación múltiple de rendimiento en queso doble crema según 2 variables independientes	76
Tabla 22. Incidencia del coeficiente global sobre el rendimiento de las líneas de proceso	82
Tabla 23. Análisis de varianza para rendimiento según Coordinador de proceso	83
Tabla 24. Análisis de varianza para rendimiento según volumen de leche procesado	84
Tabla 25. Análisis de varianza para coeficiente global de queso casero según volumen procesado.....	85
Tabla 26. Análisis de varianza para porcentaje de sólidos totales en suero de queso casero según volumen procesado	86
Tabla 27. Análisis de varianza para porcentaje de humedad en queso casero, según volumen procesado	88
Tabla 28. Tabla de medias para rendimiento de queso, según volumen procesado	89

INTRODUCCIÓN

La leche es uno de los alimentos más importantes para el hombre desde la domesticación de los animales y el comienzo de la agricultura para pastoreo. Por otra parte es el alimento más versátil presentándose en la dieta bajo diferentes formas entre las que se encuentra el queso. Este es un producto obtenido por coagulación de leche de la crema de leche, de la crema de suero, del suero de la mantequilla o de la mezcla de algunos o todos estos productos, por la acción del cuajo u otros coagulantes aprobados.¹

En Nariño el sector lechero es uno de los sectores más representativos. Desde la década de 1980 se observa una disminución en la participación de la agricultura dentro del PIB agropecuario departamental, mientras la ganadería de leche incrementó su participación del 25% al 45% entre 1980 y 1990. Esto consolidó la actividad como la de mayor dinamismo en la economía regional. Una de las causas de esta tendencia se atribuye al desplazamiento de las áreas cultivadas en trigo, cebada y papa a la actividad ganadera. En efecto, a partir de las políticas de apertura económica impulsadas desde la década de 1990 el área sembrada de trigo y cebada ha venido disminuyendo, en la medida en que han aumentado las importaciones.²

La coyuntura económica actual de la región, con mercados cada vez más competitivos, exigentes en calidad y diferenciación de los productos, determina que sea prioritario para las empresas adelantar procesos de mejora que permitan optimizar la producción, para la industria quesera, maximizar rendimientos y tenerlos bajo control es fundamental para su crecimiento y estabilidad en el mercado.

Optimizar los rendimientos, significa disminuir las desviaciones entre la cantidad y la composición del queso obtenido y los que deberían obtenerse según el potencial de la leche y los deseos de los clientes. La diferencia entre ambos conjuntos de datos es una medida de la eficiencia de los procesos de quesería en la empresa.³

Tener los procesos variando fuera de control o variando en el sentido de estar alejados de su valor óptimo, le imparte grandes pérdidas económicas a la empresa misma. Más aún, dichas pérdidas no son una función lineal de la brecha entre valor real y valor óptimo sino que, en la mayoría de los casos, como puntualiza

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 02310 de 1986, Santa Fé de Bogotá. 1986

² VILORIA DE LA HOZ, Joaquín. Economía del departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico. San Juan de Pasto: Banco de la República, Centro de Estudios económicos Regionales, 2007. p 60.

³ INDA CUNNINGHAM, Arturo. Optimización de Rendimiento y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria de la Quesería. Bogotá: Organización de los estados Americanos (OEA), 2000.

Deming, son una función no lineal y asimétrica. Las pérdidas crecen más que las variaciones.

COLACTEOS LTDA es una empresa dedicada a la producción y comercialización de productos lácteos, como una de las empresas más grandes de Nariño, contribuye con la generación de empleos tanto directos como indirectos. Desde sus inicios COLACTEOS se ha enmarcado dentro de un proceso de mejora continua y calidad en sus productos, es así como COLACTEOS ha adelantado varios procesos de certificación en calidad desde diferentes perspectivas, pero con un objetivo común; garantizar seguridad y confianza tanto para los consumidores, como para miembros de la empresa. Entre las certificaciones con las que cuenta se encuentra, HACCP, BASC e ISO: 9001.

Actualmente la empresa elabora diferentes productos entre ellos:

- Quesos: queso Mozzarella, queso Campesino, queso Fundido, Queso parmesano, Queso Holandés, Queso sandwichero, Queso doble crema, Cuajada, Cuajada Campesino, Papialpa.
- Bebidas: Yogur en diferentes tipos y presentaciones, Jugos, Bebida láctea a base de suero, Agua, Kumis.
- Otros: Arequipe, mantequilla, crema de leche.

En el presente proyecto se evaluó el rendimiento de 8 principales líneas de queso que elabora COLACTEOS LTDA en sus dos plantas procesadoras, para planta Guachucal se estudió las líneas de queso holandés, casero, papialpa, campesino y cuajada campesina, en planta Pupiales se evaluó tres líneas, queso doble crema, mozzarella y sandwichero.

Existen varios estudios donde se plantea modelos matemáticos para predecir el rendimiento, a partir de la composición de la leche y de la composición deseada en el queso, bajo condiciones determinadas de procesamiento, sin embargo no existe un consenso acerca de una manera única y correcta para hacerlo. Una de las recopilaciones más completas de rendimientos fue realizado por la federación internacional de lechería (International Dairy Federation, 1991), donde se mencionan diferentes ecuaciones desarrolladas por varios investigadores, la gran mayoría con diseño para quesos específicos tales como Cheddar y Gouda, pero otras de aplicación general.

Se concluye en dicho estudio que las fórmulas más útiles y prácticas para empresas pequeñas y medianas que desean consolidar esfuerzos hacia la optimización, son aquellas de aplicación general, cuyo principio es un balance general de componentes. Una de ellas es la ecuación G, esta es una formula iterativa, en la que se predice el rendimiento a partir de la composición de la leche,

de las eficiencias de recuperación de la materia grasa, de las caseínas, contenido de humedad y sal en el queso. Además de predecir el rendimiento teórico, ésta ecuación permite predecir con facilidad la composición del queso y lactosuero.

Emmons Et al, sugiere que el uso adecuado de ecuaciones teóricas de rendimiento, pueden servir como objetivo para las empresas queseras, sino se está alcanzando dichos niveles, puede revelar posibles pérdidas durante el proceso, con la investigación de dichas causas se puede contribuir al mejoramiento general de la producción.⁴

Considerando que los rendimientos entre líneas de queso de la empresa COLACTEOS LTDA. presentan diferencias estadísticamente significativas, con el estudio realizado se dió una respuesta técnica a las causas significativas que provocaban dicha variación, se las evaluó en términos de eficiencia y se pudo conocer que líneas pueden ser mejoradas y su magnitud.

⁴ EMONS, D.B; ERNTROMS C.A. y LACROICS, C. Predictive Formulas for Yield of Cheese from Composition of Milk: A Review, Journal of Dairy Science Vol. 73, No. 6. (Ene – Mar 1990); p. 1379.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa COLACTEOS (Cooperativa de productos lácteos de Nariño Ltda.), dentro de sus líneas de producción, elabora diferentes tipos de quesos, las cuales difieren significativamente en su rendimiento, expresado como una relación entre el volumen de leche y los kilogramos de producto obtenido (L.Leche/Kg de producto), considerando que el rendimiento influye en el margen de utilidades para la empresa, las diferencias en el rendimiento ha generado el interés por conocer las causas de variación entre líneas y determinar si estos cambios se pueden considerar normales o atípicos con respecto a valores óptimos, en la elaboración de quesos.

Actualmente la empresa COLACTEOS LTDA, no ha adelantado un estudio para investigar el grado de eficiencia con que están trabajando las líneas de proceso, por tanto se desconoce si las líneas están trabajando óptimamente o si por el contrario hay que trabajar sobre algunas de ellas para mejorarla.

Por tanto el problema radica en que la empresa COLACTEOS LTDA, desconoce la eficiencia en rendimientos con respecto a valores teóricos, teniendo en cuenta la composición fisicoquímica de la materia prima y del producto obtenido, esto debido a la ausencia de un sistema de monitoreo que considere las cifras de recuperación de componentes, así como la calidad fisicoquímicas de los quesos obtenidos.

El único control de rendimientos que lleva la empresa actualmente está basado en la relación volumen de leche-kg de queso producido y su control se hace con el indicadores en formato ISO:9001, a pesar de este control no se ha determinado la calidad de los rendimientos obtenidos, donde fácilmente un línea con baja recuperación de sólidos puede ser enmascarada con un alto contenido de humedad en el producto terminado, aparentando así un buen rendimiento, cuando realmente la capacidad fisicoquímica de la materia prima permitiría obtener un rendimiento mayor.

La evaluación y control de rendimiento basada únicamente en los kilogramos de queso obtenido y la leche empleada en el proceso, no es forma adecuada de controlar el rendimiento, porque se desconoce las causas vitales que ocasionan los cambios, si no se analiza el nivel de transferencia de componentes de la leche hacia el queso o de pérdida que se dan en los sueros, la variación que se presenta en las líneas no es posible explicarla y por lo tanto difícilmente se puede intervenir los procesos para ser mejorados.

2. JUSTIFICACIÓN

El rendimiento quesero tiene un impacto económico muy importante para la empresa, se han realizado estudios donde desviaciones de rendimiento aún siendo pequeñas, al acumularse en el tiempo, pueden llegar a significar diferencias importantes en la rentabilidad de la operación. Consciente de ello, La empresa COLACTEOS LTDA. ha considerado de vital importancia adelantar un estudio donde se investigue la calidad de sus rendimientos en las principales líneas de queso. Con la evaluación de las líneas de queso, se encontró el nivel de eficiencia al que están trabajando respecto a valores óptimos. El resultado obtenido dio una garantía de la calidad y competitividad de los procesos, con otras industrias queseras, o si por el contrario alguna línea específica requería atención para un plan de mejoramiento.

Para indicar la magnitud y la importancia del proyecto, inicialmente se analizó el rendimiento de las 8 líneas de queso.

✓ Doble crema	DC
✓ Sanduchero	SW
✓ Papialpa	PAP
✓ Holandés	HOL
✓ Campesino	CAMP
✓ Casero	CAS
✓ Cuajada campesina	CCAMP
✓ Mozzarella	MZ

El rendimiento fue expresado como el consumo de leche requerido para la producción de un kg de queso (L/Kg). En promedio se tomaron 18 lotes por cada línea y los resultados fueron procesados en statgraphics 5,1 mediante un diseño completamente al azar, siendo el factor tipo de línea y la variable de respuesta rendimiento (L/kg). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1

Tabla 1. Análisis de varianza para rendimiento según línea

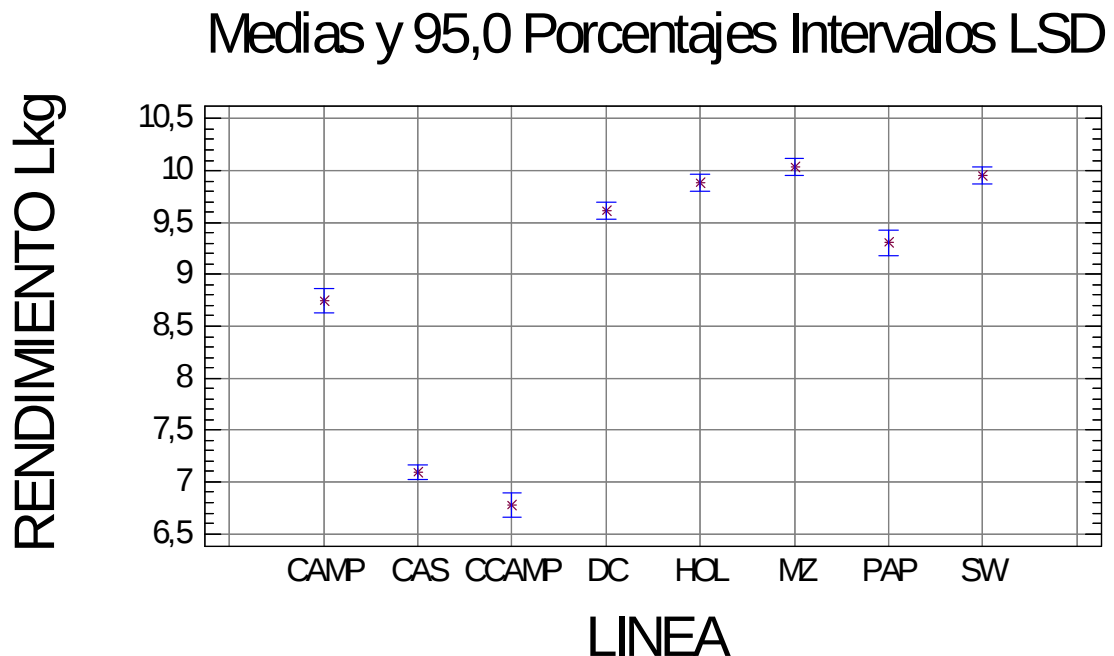
Tabla ANOVA para RENDIMIENTO Lkg según LINEA

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	221,836	7	31,6908	459,23	0,0000
Intra grupos	9,04022	131	0,0690093		
Total (Corr.)	230,876	138			

Fuente. Este estudio

Dado que el p-valor es inferior a 0,05 hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de rendimiento (L/Kg) entre las líneas de queso. para saber que líneas son significativamente diferentes se puede observar el gráfico de intervalos LSD, aquellas líneas que no se solapan son aquellas que realmente son diferentes con una confiabilidad del 95%.

Figura 1. Medias de rendimiento e intervalos LSD según línea.



Fuente. Este estudio

Como se puede observar, la mayoría de las líneas presentan diferencias significativas en su rendimiento. De acuerdo al test de rango múltiple de Duncan, de las 28 posibles comparaciones, 25 son diferentes con un 95% de confiabilidad.

Debido a esta diferencia que presentan las 8 líneas de queso, es vital llevar a cabo un análisis de eficiencia, considerando la composición de la materia prima utilizada, la transferencia de sus componentes al queso y la pérdida generada en los lacto sueros. La comparación de estos valores respecto a cifras de alta eficiencia desarrollados en otras industrias e investigaciones similares, puede dar una idea del nivel que se encuentran las líneas antes mencionadas.

Encontrar las causas de variación que ocasionan diferencias tan marcadas en el rendimiento quesero, es vital para implementar un proceso de optimización, el análisis de esos factores, su control y monitoreo continuo, puede reflejarse en una mejora de la actividad económica que se desarrolla en la industria quesera.

3. MARCO DE REFERENCIA

Debido a varias consideraciones, no existe en la industria latinoamericana de quesería una manera única de definir el significado de rendimiento óptimo. Tradicionalmente, el rendimiento se expresa como la cantidad de queso, en kilogramos, que se obtiene a partir de una cierta cantidad de leche, en litros, y en algunos países el rendimiento se expresa a la inversa; es decir como la cantidad de litros de leche que se requiere para producir un kilogramo de queso. Si bien estas definiciones son sencillas, tienen la gran desventaja de ser incompletas pues no dicen mucho acerca del potencial de la leche ni de la calidad del queso. Esta forma de expresión del rendimiento se conoce comúnmente como rendimiento económico puesto que se utiliza para evaluar los costos de producción.⁵

Estas definiciones no permiten saber con certeza por qué se está obteniendo un cierto rendimiento. Saber por qué, es esencial para poder intervenir en el proceso con eficacia, para mejorarlo. Por lo anterior, una mejor definición es aquella que expresa el rendimiento en función del potencial de la leche y la composición del queso, esta forma de expresar los rendimientos se conoce como rendimiento técnico o análisis de recuperación de componentes.

El rendimiento técnico depende del nivel de transferencia de sólidos desde la leche al queso, cuanto mayor sea dicha transferencia el rendimiento se incrementará, ya sea debido a un aumento en la recuperación de proteína, grasa, lactosa o minerales. El seguimiento continuo de estas variables mediante un sistema de monitoreo permanente, permite identificar deficiencias en el proceso, toma de acciones correctivas y seguimiento a los resultados obtenidos.

A pesar de los gastos y esfuerzos la mayoría de las veces, muchos de los datos de producción sólo se recogen, pero no se utiliza, para el análisis y control de procesos. Cuando los registros de queso se estudian, por ejemplo, para identificar la relación entre la calidad del queso final o rendimientos de queso y las condiciones de proceso, se puede identificar la presencia de resultados atípicos o tendencias, lo que puede conducir a un mejoramiento continuo de la actividad.⁶

Una empresa productora de queso, debe llevar una base de datos de las variables de producción de elaboración de quesos, esta debería utilizarse para controlar la recuperación de grasa, sólidos, el rendimiento y la composición. Debido al gran impacto de estos factores sobre la calidad del queso y la rentabilidad de la planta, es muy importante la utilización de datos fiables para el análisis, modelado y control del proceso.

⁵ INDA CUNNINGHAM. Op. cit., p. 22.

⁶ Ibíd.

“El principal factor que determina el rendimiento es el contenido de caseínas, estas son proteínas coagulables mediante la acción del cuajo o la acidez, y son las que retienen prácticamente toda la humedad del queso”.⁷

“Cuando la leche se transforma en queso, la caseína y la grasa se concentran, mientras que otros componentes de la leche, en especial el agua, se separan con el lactosuero. Ninguno de los componentes de la leche queda totalmente retenido en la cuajada, aunque si lo hacen otras sustancias que suelen añadirse”.⁸

Cuando la leche se cuaja utilizando renina, las caseínas pierden en forma natural e inevitable un fragmento (llamado glicomacropéptido) que constituye el 4% de su masa. Este fragmento se transfiere en forma soluble al lactosuero. Esto significa que un proceso ideal de quesería sería capaz de recuperar el 96 % de las caseínas; o sea, cerca del $79 \times 0.96 \approx 76$ % de la proteína total presente en la leche.⁹

En la práctica industrial en países como Holanda, EUA, Irlanda, Canadá, Alemania, Argentina y Uruguay se recupera entre el 70 % y el 77 % de la proteína, usando los métodos clásicos de quesería. Este porcentaje incluye la proteína de lactosuero presente en la humedad del queso. Para fines de comparación entre fabricantes de distintas plantas y países, se ha adoptado la convención de que 100% de eficiencia industrial significa recuperar el 75% de proteína, entonces en un proceso 100 % eficiente, el queso retiene el 75 % de las proteínas de la leche y el suero o lactosuero contiene el 25 % restante.¹⁰

En cuanto a grasa, usando métodos clásicos de quesería, es factible recuperar entre el 88 % y el 92 y, con atención cuidadosa, lo más que se puede recuperar es el 93 %. Entonces, es razonable considerar este nivel de recuperación como correspondiente a un proceso 100 % eficiente, en cuanto a recuperación de grasa. De nuevo, esto significa que, en un proceso industrial 100 % eficiente, el queso retiene el 93 % de la grasa de la leche y el lactosuero contiene el 7 % restante.

Los minerales de la leche, principalmente calcio, potasio y fósforo, constituyen, en forma prácticamente constante, muy cerca del 0.9% de la masa de la leche. El porcentaje que se retiene en el queso depende de la acidez o pH durante el proceso de quesería.

⁷ JIMENEZ MARQUEZ, S.A. Statistical Data Validation Methods for Large Cheese Plant Database, University of Ottawa, Canada, J. Dairy Sci. 85:2081–2097, American Dairy Science Association, 2002.

⁸ WALSTRA, Pieter. Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos. Bogotá: s.n. 2001. p. 145.

⁹ *Ibíd.*, p. 245.

¹⁰ INDA CUNNINGHAM. Op. cit., p. 17.

En quesos elaborados solamente con cuajo, sin el uso de fermentos o cultivos lácticos, a partir de leche fresca, se retiene cerca del 60 % de las sales y minerales. En quesos elaborados con leche ácida, ya sea que se trate de acidez natural o de acidez inducida mediante cultivos o fermentos lácticos, se retiene entre el 40 % y el 50 %.¹¹

En base a las anteriores cifras de recuperación se han diseñado muchas ecuaciones para predecir un rendimiento óptimo, aunque algunas se han modelado para quesos específicos otras son de aplicación general, una de ellas denominada ecuación G por la Federación Internacional de Lechería, es una de las más prácticas y de fácil aplicación, cuyo fundamento es un balance de materia y cuyo cálculo es iterativo.

$$R = (G \cdot K_g) + (C \cdot K_c) + \left[S + H + \frac{H_{fes} \cdot SL}{1 - SL} \right] \cdot R \quad Ec. G$$

Donde:

R = Rendimiento, (kg de queso/100 kg de leche)

G = Contenido de grasa en leche, (%)

K_g = Factor de conversión, kg de grasa en leche a grasa en el queso

C = Contenido de caseínas en leche, (%)

K_c = Factor de conversión, de caseína en la leche a paracaseinato de fósforo y calcio en el queso. Este termino incluye la retención de minerales de la leche en el queso, la pérdida de "finos" de queso en el lactosuero y la pérdida del glicomacropéptico en el lactosuero.

S = Fracción de sal añadida (cloruro de sodio) en el queso

H = Fracción de Humedad en el queso

H_{fes} = Fracción de humedad en el queso, menos la humedad no disponible como solvente, que está unida a la proteína.

SL = Fracción de sólidos de lactosuero, en lactosuero libre de grasa y de caseína.

En términos sencillos, lo que la fórmula G significa es que el rendimiento es la suma de: materia grasa en el queso, más complejo de paracaseína, calcio y fosfato en el queso, mas sal añadida al queso más sólidos de lactosuero en el queso, mas agua en el queso. En conclusión un balance de materia.

Al hacer la predicción teórica de rendimiento, y compararlo con datos reales de líneas de queso, permite conocer el desempeño del proceso como porcentaje del rendimiento óptimo, junto con el análisis de cifras de recuperación de

¹¹ Ibíd., p. 18.

componentes, se tendrá información útil para saber con poca incertidumbre donde intervenir el proceso para mejorarlo.

Desde la perspectiva del rendimiento técnico en quesería, el indicador inmediato de baja recuperación de sólidos, es la composición anormal del lactosuero. El seguimiento cuidadoso, en tiempo real, de la composición del lactosuero es la principal fuente de realimentación para averiguar las causas más probables de las desviaciones en el rendimiento y tomar las medidas pertinentes.¹²

Una de las forma más efectivas para hacer control de procesos y encaminarlos en la mejora continua es un sistema de monitoreo estadístico con cartas de control o también conocidas como cartas de Shewhart.

Estas cartas son series de tiempo, en las que la gente en el proceso hace un mapeo de la variable de interés a través del tiempo, se trata de cartografía o elaboración de mapas de la voz del proceso, de su comportamiento dinámico.

El principal objetivo de las cartas de control es ayudar a distinguir entre las causas comunes y asignables o especiales, Las causas comunes son aquellas que son parte inherente del proceso o sistema y que afectan a todos los que están trabajando dentro de él. La variación debida a estas causas es aleatoria y refleja las variaciones de todo tipo que provienen del diseño del proceso o sistema y de su forma normal de operar. La clave es que no es posible averiguar la causa de una variación debida a causas comunes.¹³

La variación aleatoria proviene de un número muy grande de interacciones de todos los factores, tangibles e intangibles, que intervienen normalmente en el proceso. Entonces, cuando el proceso solamente se ve afectado por causas comunes, se dice que es estable, o que está en estado de control estadístico. De hecho, esta es la definición operacional que Shewhart hizo de estabilidad o estado de control.

Las causas especiales son aquellas que no son parte del proceso o sistema, sino que ocurren debido a circunstancias específicas; no ocurren todo el tiempo ni necesariamente afectan a todos. *“Esta variación no es aleatoria, sino que sigue patrones específicos reconocibles. Su causa se puede averiguar, o asignar mediante una investigación”*.¹⁴

¹² Ibid., p. 19.

¹³ Ibid., p. 51.

¹⁴ Ibid., p. 52

La elaboración del queso es un proceso complejo en el que intervienen varias etapas y diversas transformaciones bioquímicas. Todas estas variables influyen sobre el rendimiento, la composición y la calidad del queso. En consecuencia, la optimización del proceso de fabricación de un queso resulta extremadamente compleja, incluso el control de la composición del producto final, que es algo sencillo en la mayoría de los productos lácteos, no resulta fácil en el queso. Además la técnica de elaboración tiene una gran influencia sobre los costes de producción. Por ello, es necesario comprender perfectamente las distintas transformaciones físicas y químicas y conocer con exactitud los factores que influyen sobre ellas para poder basar el proceso de fabricación del queso en principios científicos y no en normas meramente empíricas.¹⁵

Además del contenido de agua, el resto de los factores que influyen sobre el rendimiento, son los que modifican el contenido en caseína en la leche, algunos de ellos son los siguientes.

*Recuento de células somáticas: “Si la leche tiene conteo de células somáticas del orden de 400,000 cel/ml o mayor, la recuperación de proteína y de grasa disminuye en forma creciente, es posible que sólo se recupere menos del 73 % de las proteínas y menos del 92 % de la materia grasa”.*¹⁶

*“En 1998, KLEY, Linda, et al encontró que un incremento desde 83.000 cel/ml a 872.500 cel/ml afecta significativamente, la composición de leche, del queso y en consecuencia el rendimiento quesero.”*¹⁷ Tiempo de exposición de la materia prima a temperatura ambiente: Si el enfriamiento de la leche en la finca es lento o inexistente, y el transporte de la leche a la planta procesadora es lento y tardado, la población microbiana aumenta aceleradamente.

Tiempo de almacenamiento de la leche fría: Si el enfriamiento de la leche en la finca es lento y luego ésta se almacena fría en un silo durante más de tres días, a temperaturas entre 3 °C y 7 °C, aumentan significativamente las cuentas microbianas, particularmente de bacterias que crecen a bajas temperaturas (Lawrence, 1991a), tales como las de la especie *Pseudomonas* y, como consecuencia, aumentan la concentración de enzimas extracelulares proteolíticas y lipolíticas el contenido de nitrógeno soluble y la concentración de ácidos grasos libres. De esta manera, el daño enzimático causado por enzimas de origen bacteriano puede agravar las pérdidas causadas por la mastitis. El efecto final es que disminuye la cantidad de proteína y grasa que se puede recuperar en forma de queso. La combinación de enfriamiento

¹⁵ WALSTRA. Op. cit., p. 210.

¹⁶ INDA CUNNINGHAM. Op. cit., Pp. 46-47.

¹⁷ KLEY, Linda. et al. Effects of Milk Somatic Cell Count on Cottage Cheese Yield and Quality. Journal of Dairy Science Vol. 81, No. 5 (Ene 1998); p 30.

prolongado y cuentas somáticas del orden de un millón/ml puede hacer que disminuya el rendimiento de queso hasta en 4 %.

Agitación y bombeo de la leche: Estos factores, además de acelerar la oxidación (rancidez) de la leche, promueven fuertemente la separación de la grasa de la leche. La gran mayoría de esta grasa separada pasará al lactosuero, en lugar de contribuir al rendimiento del queso. Este solo factor puede hacer que la recuperación de grasa sea menor del 90 %. Siempre se debe buscar la forma de que la leche sufra la mínima agitación mecánica, desde el ordeño hasta la coagulación en la tina de quesería.¹⁸

Cantidad de cloruro de calcio: El cloruro de calcio tiene como función darle mayor firmeza mecánica a la cuajada. Esto es particularmente importante cuando se trata de leche pasteurizada porque, durante la pasteurización, se da un proceso normal de descalcificación parcial de las caseínas.

Dilución del cuajo: El cuajo se debe diluir en aproximadamente 40 veces su volumen, usando siempre agua microbiológicamente limpia, pero nunca agua clorada porque el cloro inactiva al cuajo en cuestión de unos cuantos minutos. La dilución se debe hacer justo antes de añadir el cuajo a la leche.

Corte de la cuajada: Es importante no cortar la cuajada antes de que tenga su firmeza óptima, la cuajada debe tener una firmeza óptima, que depende del tipo de queso. Además, la velocidad de corte, el programa de agitación de la cuajada y el programa de Calentamiento o cocción, cuando están bien diseñados y se ejecutan de acuerdo a diseño, constituyen la esencia de un buen proceso de quesería, tanto en cuanto a calidad como en cuanto a rendimiento.

Diseño o estado de las liras: Para tener rendimientos razonables de queso, es indispensable cortar la cuajada, y nunca romperla. Para cortar una cuajada, se requiere una lira especial, diseñada especialmente para este propósito. La lira debe tener un bastidor que sea rígido pero no demasiado grueso; de otra manera, el arista frontal del bastidor romperá la cuajada a medida que la lira avanza a lo largo y ancho de la tina de quesería (en lugar de cortarla) una y otra vez, día tras día, acumulando pérdidas innecesarias de rendimiento y de utilidades.

Contenido de humedad en el queso: Todo queso tiene un diseño en cuanto a su contenido óptimo de humedad. Ese contenido debe ser el que prefiere el cliente. Entonces, toda desviación respecto a la humedad óptima representa para el quesero un aumento en el costo. Peor aún, el aumento en costo no es directamente proporcional a la desviación, sino que es más que directamente proporcional, es una función cuadrática.¹⁹

¹⁸ INDA CUNNINGHAM. Op. cit., p. 49.

¹⁹ Ibíd.

Pasteurización: una alta temperatura de calentamiento se traduce en un aumento de los rendimientos, debido a la precipitación de proteínas lactoséricas que se han desnaturalizado, sin embargo este efecto no siempre es deseable por algunos queseros, debido a la inestabilidad de la caseína por descalcificación parcial lo que se traduce en pérdidas de finos durante el corte, si este no es realizado adecuadamente.²⁰

²⁰ WALSTRA. Op. cit., p. 128.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia y variación en el rendimiento de 8 líneas de queso, mediante el diseño de un sistema de monitoreo basado en la recuperación de componentes.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Implementar pruebas de laboratorio que permitan elaborar un análisis técnico de rendimientos.
- ✓ Determinar el nivel de recuperación de componentes real y rendimiento teórico de las principales líneas de queso.
- ✓ Diseñar un sistema de monitoreo para el control de rendimientos.

5. METODOLOGÍA

5.1 IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBAS FISICOQUÍMICAS PARA LA EVALUACIÓN DE TRANSFERENCIA DE COMPONENTES

En el análisis técnico de rendimiento, se plantea evaluar el nivel de transferencia de componentes los cuales aportan peso al queso y en consecuencia pueden afectar su rendimiento.

Para poder determinar el grado de recuperación de componentes se realizó pruebas fisicoquímicas, tanto a la materia prima, suero y producto terminado, estas fueron llevadas a cabo dentro de los laboratorios internos de las dos plantas queseras ubicadas en los municipios de Guachucal y Pupiales. Parte de las pruebas requeridas para evaluar rendimientos ya se llevaban a cabo en las dos plantas, en cumplimiento a la normatividad Colombiana y políticas internas de los sistemas de calidad implementados por la empresa, como ISO 9001:2008 y HACCP (hazard analysis and critical control points).

Las pruebas fisicoquímicas fueron realizadas a cada una de las 8 líneas principales de queso; queso casero, papialpa, Mozzarella, Holandés, campesino, cuajada campesina, los cuales son procesados en la planta ubicada en el municipio de Guachucal, para planta pupiales se evaluó las líneas de queso doble crema, mozzarella y sanduchero.

Con los sistemas de calidad implementados, COLACTEOS LTDA. ha logrado que sus procesos se encuentren estandarizados y bajo control, brindando así seguridad y calidad a sus clientes. Bajo este criterio, se puede considerar que los diferentes lotes de una línea específica, se elaboran con variables fijas y propias de esa línea de proceso. Por lo tanto se va a encontrar bajo control estadístico y su variabilidad es debido a causas comunes.

Al hacer seguimiento de varios lotes por línea, estos se pueden considerar como replicas, porque manejan el mismo nivel de las variables de proceso, por tanto una línea puede ser evaluada y comparada con otras, empleando técnicas y conceptos de diseño experimental.

El numero de lotes evaluados por cada línea como mínimo fue de 9 para aquellas con baja frecuencia de producción y máximo de 30 para aquellas de alta frecuencia, con un promedio de 17,5 lotes por línea.

5.2 DETERMINACION DEL NIVEL DE RECUPERACIÓN DE COMPONENTES REAL Y RENDIMIENTO TEÓRICO

5.2.1 Evaluación de la transferencia de sólidos totales. Para evaluar la transferencia de sólidos totales (ST) se planteó las siguientes ecuaciones de balance de materia.

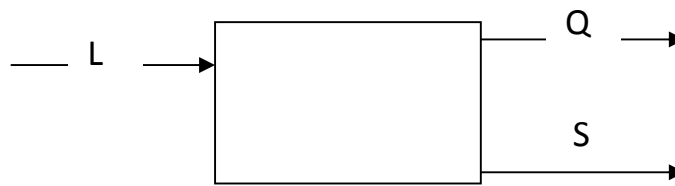
5.2.1.1 Determinación de pérdida de sólidos totales en suero. La ecuación básica que debe considerar un porcentaje de pérdida en suero (S) a partir de los sólidos contenidos en la leche (L) está indicada en *Ec. 0*

$$PST = \frac{Kg \text{ de } ST \text{ en } S}{Kg \text{ de } ST \text{ en } L} \times 100 \quad Ec. 0$$

Para poder encontrar los *Kg de ST en S* y *Kg de ST en L* se requiere hacer un balance de materia con variables indicadas.

El diagrama de balance correspondiente se indica en la figura 2

Figura 2. Diagrama de balance general para la elaboración de queso



Fuente. Este estudio

$$Kg \text{ de } ST \text{ en } L = \frac{\% ST \text{ en } leche \times V L}{100} \quad Ec. 1$$

$$Kg \text{ de } ST \text{ en } S = \frac{\% ST \text{ en } S \times VS}{100} \quad Ec. 2$$

Donde

$$V = Volumen$$

$$VS = \frac{MS}{\rho S} \quad Ec. 3$$

Donde:

$MS = \text{masa de suero (kg)}$

$\rho S = \text{densidad del suero } \left(\frac{kg}{L}\right)$

$$MS = ML - MQ \quad Ec.4$$

Donde:

$ML = \text{Masa de Leche (kg)}$

$MQ = \text{Masa de Queso (Kg)}$

$$ML = \rho L \times VL \quad Ec.5$$

Donde:

$\rho L = \text{densidad de leche}$

$VL = \text{Volumen de leche}$

Reemplazando ecuación 5 en ecuación 4

$$MS = \rho L \times VL - MQ \quad Ec.6$$

Reemplazando ecuación 6 en ecuación 3

$$VS = \frac{\rho L \times VL - MQ}{\rho S} \quad Ec.7$$

Reemplazando ecuación 7 en ecuación 2

$$Kg \text{ de } ST \text{ en } S = \frac{\% ST \text{ en Suero} \times \frac{\rho L \times VL - MQ}{\rho S}}{100} \quad Ec.8$$

Reorganizando términos de la ecuación 8

$$Kg \text{ de } ST \text{ en } S = \frac{\% ST \text{ en Suero} \times (\rho L \times VL - MQ)}{100 \times \rho S} \quad Ec.9$$

Reemplazando la ecuación 9 y 1 en 0

$$PST = \left\{ \frac{\frac{\% ST \text{ en Suero} \times (\rho L \times VL - MQ)}{100 \times \rho S}}{\frac{\% ST \text{ en leche} \times Volumen L}{100}} \right\} \times 100 \quad Ec.10$$

Reorganizando la ecuación 10 se tiene.

$$PST = \left(\frac{\% STen Suero \times (\rho L \times VL \mid MQ)}{\% ST en leche \times Volumen L \times \rho S} \right) \times 100 \quad Ec.11$$

Por lo tanto para evaluar el porcentaje de pérdida de sólidos totales se realizó las siguientes pruebas.

% *STen Suero*

Se evaluó por método gravimétrico, usando medidor de humedad, luego se hacia la conversión a % de sólidos totales.

$$\% Humedad + \% STen Suero = 100\%$$

% *ST en leche*

Este parámetro se calculó por la metodología que se lleva en planta, mediante formula de Richmond la cual plantea que el % de ST en leche está en función de la densidad y % materia grasa de la leche.

$$\% ST = (0,25 \cdot D) + (1,21 \times MG) + 0,66$$

Donde:

D = Las dos últimas cifras decimales la lectura de densidad en leche (la medición se realiza con tres cifras decimales)

MG = % de Materia grasa en leche

ρS

La densidad del suero es evaluó usando un lactodensímetro a temperatura de 15°C

ρL

La densidad de la leche se midió empleando un lactodensímetro a temperatura de 15°C y también un ekomilk previamente calibrado, para las pruebas de plataforma.

5.2.1.2 Determinación de la recuperación de sólidos totales en queso. Para su cálculo se hizo el respectivo balance de materia de acuerdo a la figura 1 citada anteriormente

$$MG = \frac{Kg \text{ de } ST \text{ en } Q}{Kg \text{ de } ST \text{ en } L} \times 100 \quad Ec.12$$

$$Kg \text{ de } ST \text{ en } L = \frac{\% ST \text{ en } leche \times V L}{100} \quad Ec.13$$

$$Kg \text{ de } ST \text{ en } Q = \frac{\% ST \text{ en } Q \times Kg \text{ de } Q}{100} \quad Ec.14$$

$$\% ST = 100 - \% H \quad Ec.15$$

Reemplazando ecuación 3 en ecuación 2

$$Kg \text{ de } ST \text{ en } Q = \frac{(100 - \% H) \times Kg \text{ de } Q}{100} \quad Ec.16$$

Reemplazando la ecuación 16 y 13 en ecuación 12

$$\% RST = \frac{\frac{(100 - \% H) \times Kg \text{ de } Q}{100}}{\frac{\% ST \text{ en } leche \times V L}{100}} \times 100$$

$$\% RST = \frac{(100 - \% H) \times Kg \text{ de } Q}{\% ST \text{ en } leche \times V L} \times 100 \quad Ec.17$$

Finalmente la ecuación utilizada para el cálculo de recuperación de sólidos totales fue la ecuación 17.

La suma del porcentaje de recuperación de sólidos en queso y la pérdida de sólidos en suero matemáticamente representa el 100% y esto se puede demostrar si se suman las dos ecuaciones descritas anteriormente.

5.2.2 Evaluación de la transferencia de materia grasa:

5.2.2.1 Determinación de pérdida de materia grasa en suero. Siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la determinación de pérdida de sólidos totales se llega a la siguiente ecuación.

$$PMG = \left(\frac{\% MG \text{ en Suero} \times (\rho L \times VL + MQ)}{\% MG \text{ en leche} \times Volumen L \times \rho S} \right) \times 100 \quad Ec.18$$

% MG en Suero

Se cuantificó empleando la metodología de Gerber.

% MG en leche

Se cuantificó empleando la metodología de Gerber.

5.2.2.2 Determinación de la recuperación de materia grasa en queso. Siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la determinación de recuperación de Sólidos totales en queso se llega a la siguiente ecuación.

$$\% RMG = \frac{\% MG \text{ en } Q \times Kg \text{ de } Q}{\% MG \text{ en leche} \times V L} \times 100 \quad Ec.19$$

% MG en Q

Esta es una de las pruebas que ya se tenía implementado y se ejecuta diariamente en las dos plantas, de acuerdo al sistema de calidad implementado y en cumplimiento a la resolución 02310 de 1986, el método utilizado es el de Gerber-Van Gulik.

Si se suma las dos ecuaciones de pérdida de grasa y recuperación, se puede demostrar que es igual al 100%.

5.2.3 Cálculo del coeficiente global. Se puede interpretar como los gramos de sólidos totales transferidos al queso, por cada litro de leche procesado.

$$CG = \frac{g \text{ solidos totales en queso}}{Volumen de leche procesado} \quad Ec.20$$

Donde:

$$g \text{ solidos totales en queso} = \frac{\% ST \times P (Kg)}{100} \times \frac{1000 g}{1 Kg} = \% ST \times P(Kg) \times 10$$

Finalmente;

$$CG = \frac{g \text{ solidos totales en queso}}{\text{Volumen de leche}} = \frac{\% ST \times P \times 10}{V} = \quad Ec.21$$

Donde:

$\% ST = \text{Porcentaje de Solidos totales en Queso} = 100 - H$

$\% P = \text{Peso de la producción}$

$V = \text{Volumen de leche}$

5.2.4 Cálculo del rendimiento teórico. Empleando las ecuaciones de balance de materia descritas anteriormente se evaluó el nivel de recuperación de componentes, para sólidos totales y materia grasa de varios lotes y cada una de las 8 líneas.

Para evaluar el rendimiento teórico en base a la composición de la leche, existen varios tipos de ecuaciones, unas diseñadas para tipos específicos de queso y otras de aplicación general.

En este estudio se empleo la ecuación tipo G, por ser una ecuación basada en balances de materia y por tanto aplicable a cualquier tipo de queso.

$$R = (G.K_g) + (C.K_C) + \left[S + H + \frac{H_{fes} \cdot SL}{1 - SL} \right] \cdot R \quad Ec. G$$

R = Rendimiento, (kg de queso/100 kg de leche)

G = Contenido de grasa en leche, (%)

K_g = Factor de conversión, kg de grasa en leche a grasa en el queso

C = Contenido de caseínas en leche, (%)

K_C = Factor de conversion, de caseína en la leche a paracaseinato de fósforo y calcio en el queso. Este termino incluye la retención de minerales de la leche en el queso, la pérdida de “finos” de queso en el lactosuero y la pérdida del glicomacropéptico en el lactosuero.

S = Fracción de sal añadida (cloruro de sodio) en el queso

H = Fraccion de Humedad en el queso

H_{fes} = Fracción de humedad en el queso, menos la humedad no disponible como solvente, que está unida a la proteína.

SL = Fracción de sólidos de lactosuero, en lactosuero libre de grasa y de caseína.

El factor C, correspondiente al porcentaje de caseína, se determinó por la técnica de titulación con formaldehído.

El factor S, fue 0 para quesos que ingresaban a salmuera, considerando que el peso y composición fue realizado después del prensado y antes de entrar a salmuera, como Sanduchero y Holandés. Para quesos donde la adición de sal se hacía en la tina de cuajado, como casero, campesino y papialpa, hubo que diseñar una metodología de cálculo de transferencia de sal para conocer la fracción que realmente pasaba al queso.

5.3 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE RENDIMIENTO

Para una línea particular se hizo el diseño de una herramienta de monitoreo de rendimiento, con el fin de buscar su optimización, el sistema diseñado fue basado en cartas de control de Shewart, este sistema permite registrar la información acerca del desarrollo del proceso y señalar de manera clara las situaciones en las que se requiere acción investigativa y correctiva sobre un suceso particular que muestre la carta.

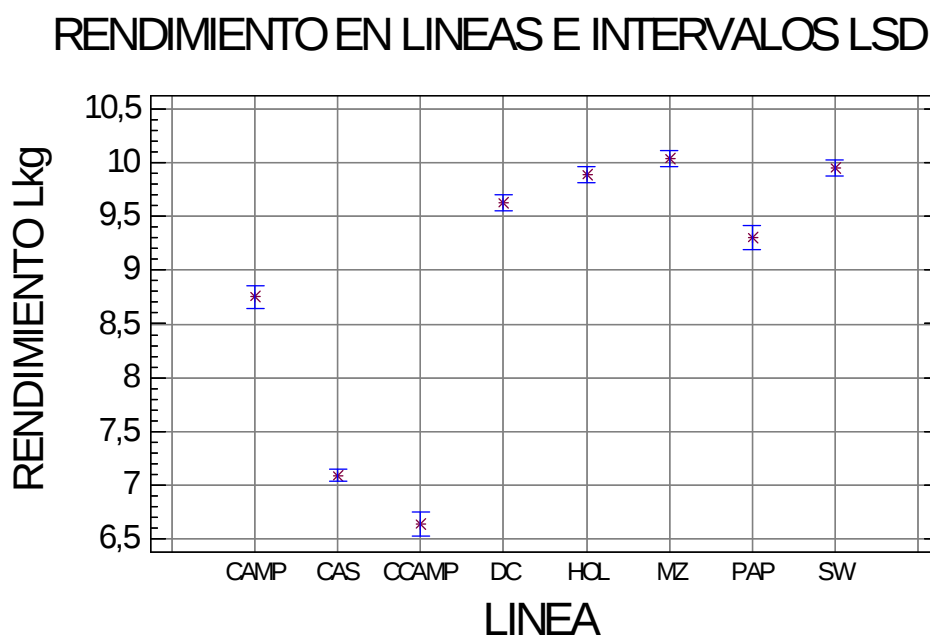
El diseño y procedimiento fue elaborado para la línea que se identificó como potencial para ser mejorada, porque los resultados indicaron que presentaba alta pérdida de componentes y divergencia con el rendimiento teórico. Sin embargo el mismo procedimiento puede aplicarse para otras líneas, y de esta forma llevar un control de rendimientos bien sea para ser mejorados o simplemente para mantener una variabilidad controlada.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

El número de lotes analizados por línea fue variable, dependiendo de la frecuencia de producción, el mínimo número de lotes fue de 9 para queso Papialpa y Cuajada campesina, y de máximo 30 lotes para línea de queso casero, con un promedio de 17.5 lotes analizados por línea, realizando a cada uno, las pruebas y proceso matemático descrito en el diseño metodológico. Todo el análisis de información se realizó empleando el software estadístico statgraphics plus versión 5.1.

La variación y promedio en el rendimiento expresado como la cantidad de leche requerida para producir un kilogramo de queso (L/Kg), para cada una de las líneas evaluadas se puede apreciar en la figura 3.

Figura 3. Medias de rendimiento e intervalos LSD



Fuente. Este estudio

En el anterior gráfico se puede observar el promedio de los rendimientos en (L/kg) de todos los lotes analizados. El intervalo LSD indica que aquellas líneas que no presentan solapamiento, se considera diferente una línea de otra con un 95% de confiabilidad.

Tabla 2. Contraste de rango múltiple para rendimiento

Contraste Múltiple de Rango para RENDIMIENTO Lkg según LINEA

Método: 95,0 porcentaje LSD			
LINEA	Frec.	Media	Grupos homogéneos
CCAMP	10	6,781	X
CAS	30	7,09467	X
CAMP	10	8,749	X
PAP	9	9,30556	X
DC	20	9,6195	X
HOL	20	9,885	X
SW	20	9,9485	X
MZ	20	10,037	X

Fuente. Este estudio

De la anterior tabla se puede observar que las líneas de holandés, sandwichero y mozzarella representan un grupo homogéneo que no tiene diferencia significativa en su rendimiento, y además tienen el menor rendimiento. Y las otras líneas todas difieren entre sí, siendo cuajada campesina y casero aquellas que tienen el mejor rendimiento, las líneas de queso campesino y doble crema tienen un rendimiento intermedio.

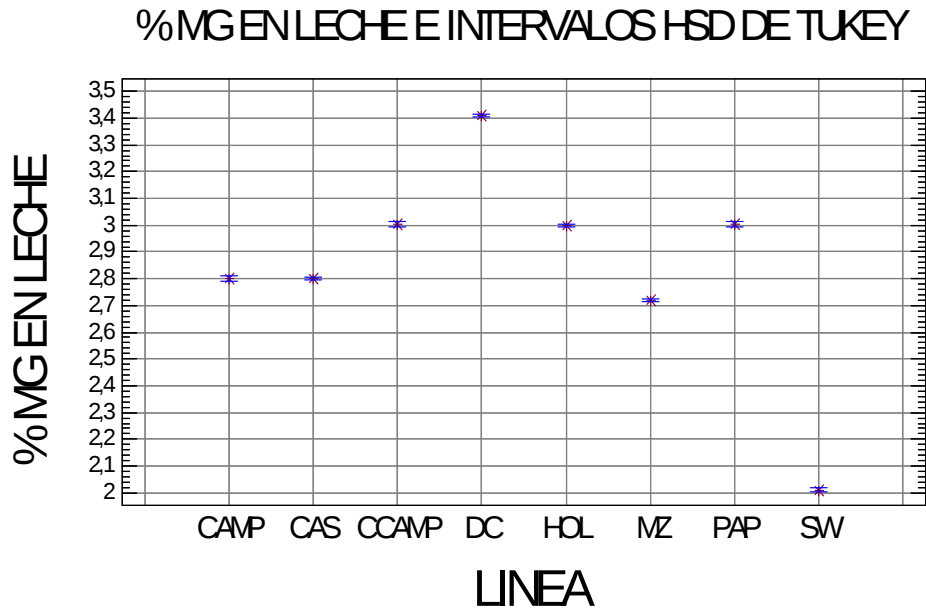
Nótese que el análisis de rendimiento basado en el volumen de leche utilizado para producir un kg de queso (L/Kg), se considera mejor cuanto menor sea este número y deficiente cuando este número se incrementa. Esta interpretación es contraria cuando se analiza en términos de porcentaje.

6.1 CAUSAS DE VARIACIÓN DE RENDIMIENTO ENTRE LINEAS DE QUESO

Para comenzar a discernir las causas que provocan diferencia en el rendimiento, se analizó la correlación de varios factores independientes sobre el rendimiento, las variables analizadas fueron: porcentaje de materia grasa, porcentaje de caseína, porcentaje de humedad en queso y porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso.

6.1.1 Efecto del porcentaje de de materia grasa en leche. El proceso de elaboración de cada línea comienza con la estandarización en el porcentaje de materia grasa (MG), el cual se realiza a parámetros fijos especificados para cada línea, dichos valores se indican en la figura 4.

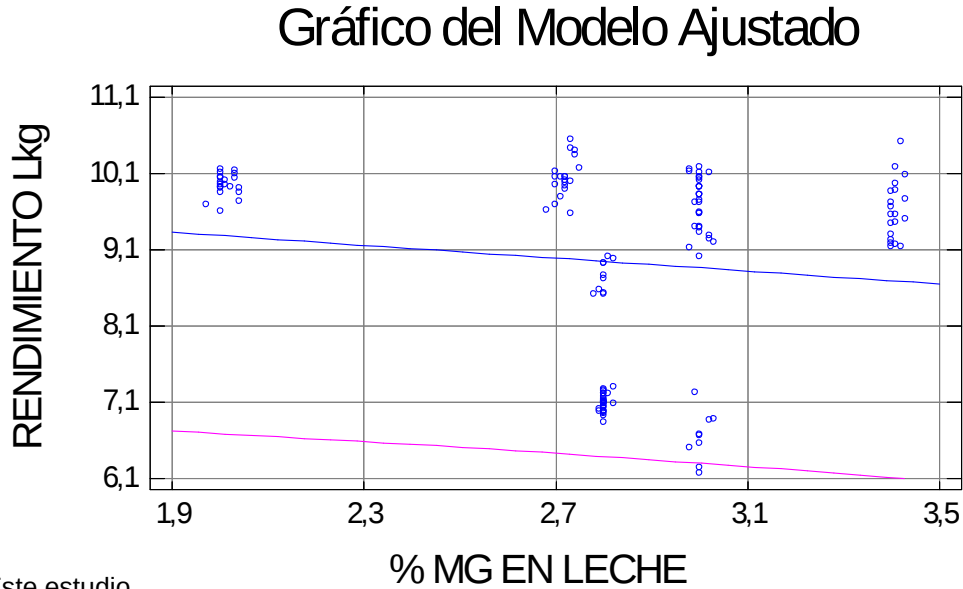
Figura 4. Parámetros de estandarización de materia grasa en materia prima por línea



Fuente. Este estudio

Para considerar el efecto del porcentaje de materia grasa en la materia prima, se hizo un análisis de dependencia por regresión simple, los resultados se indican a continuación.

Figura 5. Correlación de rendimiento según porcentaje de materia grasa en leche



Fuente. Este estudio

En la anterior figura se puede observar que no existe ningún tipo de tendencia en los datos que indiquen correlación alguna entre la materia grasa (MG) de la leche y el rendimiento quesero, este resultado se confirma mediante el análisis de regresión de la tabla 3.

Tabla 3. Correlación de rendimiento según porcentaje de materia grasa en leche.

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$					
Variable dependiente: RENDIMIENTO Lkg					
Variable independiente: % MG EN LECHE					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
Ordenada	10,1337	0,790811	12,8143	0,0000	
Pendiente	-0,423723	0,277943	-1,52449	0,1297	
Análisis de la Varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	3,86438	1	3,86438	2,32	0,1297
Residuo	226,135	136	1,66276		
Total (Corr.)	229,999	137			
Coeficiente de Correlación = -0,129622					
R-cuadrado = 1,68017 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0,957233 porcentaje					
Error estándar de est. = 1,28948					
Error absoluto medio = 1,12479					
Estadístico de Durbin-Watson = 0,154872 (P=0,0000)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,914634					

Fuente. Este estudio

El modelo generado describe la relación existente entre el rendimiento (L/Kg) y el % de MG en leche

$$R = 10,3737 - 0,423723x \% \text{ MG en Leche.}$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre el rendimiento y el % de MG en leche, para un nivel de confianza del 90% o superior, R-cuadrado indica que el modelo explica apenas en un 1,68017% esa variabilidad, y el coeficiente de correlación por su signo negativo indica una correlación negativo y su magnitud representa una relación relativamente débil entre las variables.

6.1.2 Efecto del porcentaje de caseína en leche. Teniendo en cuenta que la caseína es la responsable de generar las condiciones para formar la cuajada debido a su reactividad con el cuajo, se analizó si ésta tenía efecto sobre las variaciones en el rendimiento entre las diferentes líneas.

Primero se analizó si existencia diferencias en el contenido de caseína en materia prima utilizada entre las diferentes líneas, encontrando los siguientes resultados.

Tabla 4. Análisis de varianza para porcentaje de caseína según línea

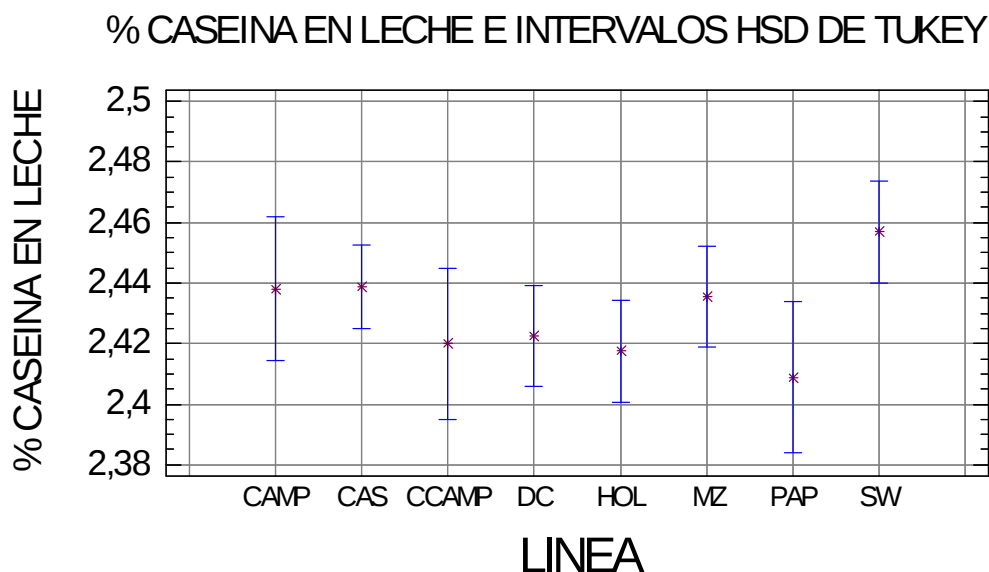
Tabla ANOVA para % CASEINA EN LECHE según LINEA

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0265431	7	0,00379187	3,19	0,0038
Intra grupos	0,154661	130	0,0011897		
Total (Corr.)	0,181204	137			

Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de porcentaje de caseína en leche entre las líneas para un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 6. Medias de porcentaje de caseína e intervalos LSD

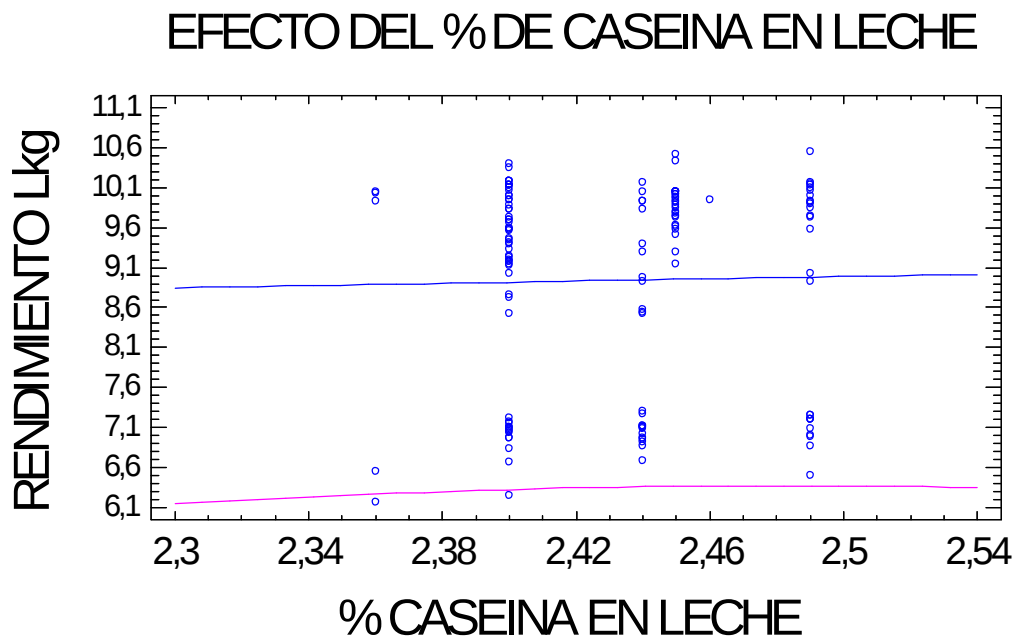


Fuente. Este estudio

La figura 6, indica que efectivamente algunas líneas presentan diferencias en el porcentaje de caseína, esto debido al proceso de descremado de la leche, cuanto menor es el porcentaje de materia grasa en leche, la concentración de caseína se incrementa, tal como se observa para la línea de SW y MZ con % de MG de 2,0% y 2,7% respectivamente,

Al analizar el porcentaje de caseína en leche y su influencia en el rendimiento se encontró los siguientes resultados.

Figura 7. Correlación de rendimiento según porcentaje de caseína en leche



Fuente. Este estudio

Tabla 5. Correlación del rendimiento según porcentaje de caseína en leche

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: RENDIMIENTO Lkg
Variable independiente: % CASEÍNA EN LECHE

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	7,23017	7,42987	0,973121	0,3322
Pendiente	0,702896	3,0544	0,230126	0,8183

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0,0895261	1	0,0895261	0,05	0,8183
Residuo	229,91	136	1,69051		
Total (Corr.)	229,999	137			

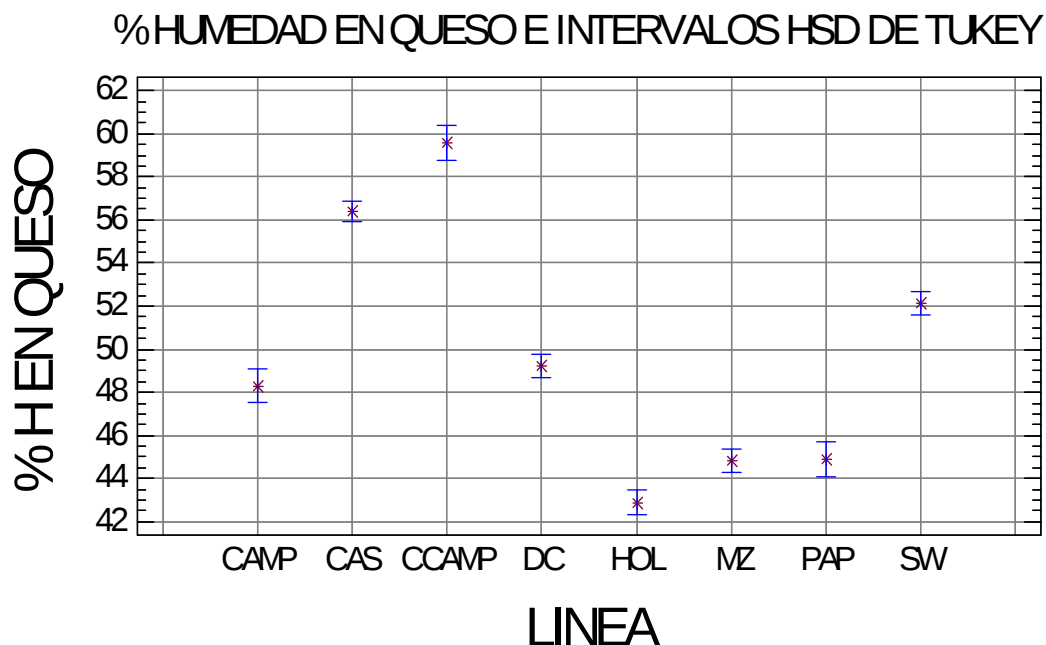
Coefficiente de Correlación = 0,0197293
R-cuadrado = 0,0389245 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -0,696083 porcentaje
Error estándar de est. = 1,3002
Error absoluto medio = 1,13162
Estadístico de Durbin-Watson = 0,148503 (P=0,0000)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,916312

Fuente. Este estudio

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre el rendimiento y % de caseína, para un nivel de confianza del 90% o superior, R-cuadrado indica que el modelo explica apenas en un 0.0389% la variabilidad del rendimiento entre las 8 líneas analizadas.

6.1.3 Efecto del porcentaje de humedad en producto terminado. Cada línea tiene especificado bajo la normatividad del INVIMA, el rango en porcentaje de humedad con la que debe llevarse al mercado, para los lotes analizados de cada línea se encontró los parámetros de humedad descritos en la figura 8.

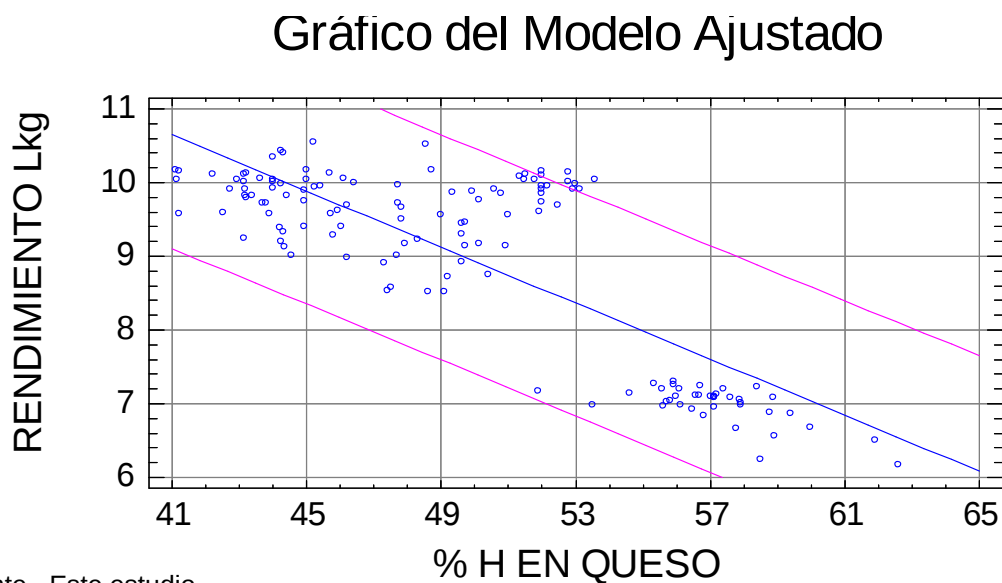
Figura 8. Medias de humedad en queso e intervalos HSD



Fuente. Este estudio

En la figura 8 se puede apreciar que la mayoría de las líneas presentan diferencias significativas en el porcentaje de humedad con que se elaboran. Para considerar el efecto de la humedad sobre el rendimiento, se hizo el análisis de correlación que se muestra en la figura 9.

Figura 9. Correlación de rendimiento según porcentaje de humedad en queso



Fuente. Este estudio

Tabla 6. Correlación de rendimiento según porcentaje de humedad en queso.

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: RENDIMIENTO Lkg

Variable independiente: % H EN QUESO

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	18,4417	0,601937	30,6372	0,0000
Pendiente	-0,190133	0,0119731	-15,8799	0,0000

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	149,417	1	149,417	252,17	0,0000
Residuo	80,5825	136	0,592518		
Total (Corr.)	229,999	137			

Coefficiente de Correlación = -0,806002

R-cuadrado = 64,964 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 64,7064 porcentaje

Error estándar de est. = 0,769752

Error absoluto medio = 0,623215

Estadístico de Durbin-Watson = 0,300347 (P=0,0000)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,837207

Fuente. Este estudio

El modelo describe la relación entre el rendimiento y la humedad del queso de las diferentes líneas, dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01 existe relación estadísticamente significativa entre el rendimiento y la humedad del queso, para un nivel de confianza del 99%

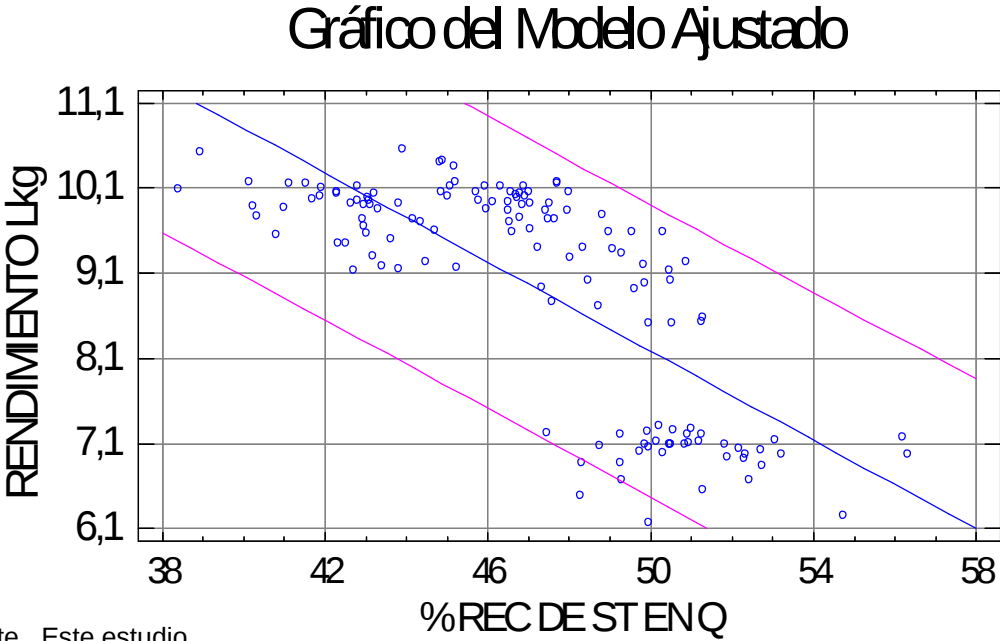
La ecuación del modelo ajustado es

$$R = 18,4417 - 0,190133 \cdot \%H \text{ en } Q$$

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 64,964% de la variabilidad en rendimiento, el coeficiente de correlación de -0,806002 indica una relación inversa moderadamente fuerte entre las variables.

6.1.4 Efecto del porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso. Se analizó el porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso usando el mismo procedimiento.

Figura 10. Correlación de rendimiento según porcentaje de recuperación de de sólidos totales en queso



Fuente. Este estudio

Tabla 7. Correlación de rendimiento según porcentaje de recuperación de sólidos

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$				
Variable dependiente: RENDIMIENTO Lkg				
Variable independiente: % REC DE ST EN Q				
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	21,2503	0,940159	22,6029	0,0000
Pendiente	-0,261316	0,0198958	-13,1343	0,0000

Análisis de la Varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	128,609	1	128,609	172,51	0,0000
Residuo	101,39	136	0,745518		
Total (Corr.)	229,999	137			

Coefficiente de Correlación = -0,747777
R-cuadrado = 55,917 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 55,5929 porcentaje
Error estándar de est. = 0,863434
Error absoluto medio = 0,746429
Estadístico de Durbin-Watson = 0,394239 (P=0,0000)
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,79598

Fuente. Este estudio

El modelo describe la relación entre rendimiento y el porcentaje de recuperación de sólidos totales, la ecuación del modelo ajustado es:

$$R = 21,2503 - 0,261316 * \% \text{ REC DE ST EN Q}$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre rendimiento (L/kg) y el % de recuperación de sólidos totales en queso para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 55,917%.

6.1.5 Efecto de varios factores por análisis de regresión múltiple. Considerando que cada factor, aparte de los ya mencionados, aportan a la variación del rendimiento, se estudio su efecto en conjunto para generar un modelo mucho más elaborado que relacione los anteriores factores independientes, mediante análisis de dependencia de regresión múltiple.

Tabla 8. Correlación múltiple de rendimiento, según cuatro variables independientes

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: RENDIMIENTO Lkg

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	28,9187	0,536748	53,8776	0,0000
% CASEINA EN LECH	-0,325841	0,208052	-1,56615	0,1197
% H EN QUESO	-0,164452	0,00138213	-118,985	0,0000
% MG EN LECHE	-0,723075	0,0191269	-37,804	0,0000
% REC DE ST EN Q	-0,189568	0,00201779	-93,9482	0,0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	229,086	4	57,2715	8341,53	0,0000
Residuo	0,913154	133	0,00686582		
Total (Corr.)	229,999	137			

R-cuadrado = 99,603 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,591 porcentaje

Error estándar de est. = 0,0028603

Error absoluto medio = 0,0562319

Estadístico de Durbin-Watson = 1,94182 (P=0,3670)

Autocorrelación residual en Laq 1 = 0,012621

Fuente. Este estudio

El modelo muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre el rendimiento (L/kg) y cuatro variables independientes. Dado que el p-valor es inferior a 0,01 existe relación estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 99%, teniendo en cuenta que el R-cuadrado ajustado es más conveniente para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, éste indica que el modelo matemático explica en un 99,591% la variabilidad en el rendimiento entre líneas. El modelo generado es:

$$R = 28,9187 - 0,325841 * \%CASEINA\ EN\ LECHE - 0,164452 * \%H\ EN\ QUES - 0,723075 * \%MG\ EN\ LECHE - 0,189568 * \%REC\ DE\ ST\ EN\ Q$$

Para decidir la simplificación del modelo, se debe tener en cuenta que el p-valor más alto en las variables independientes es 0,1197, correspondiente a porcentaje de caseína en leche. Puesto que el p-valor es superior o igual a 0.10, este término no es estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 90% o superior. Por tanto, este variable puede eliminarse del modelo. El resultado de no incluir la variable caseína en el modelo de regresión múltiple se indica en la tabla 9.

Tabla 9. Correlación múltiple de rendimiento, según tres variables independientes.

Análisis de Regresión Múltiple					
Variable dependiente: RENDIMIENTO Lkg					
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor	
CONSTANTE	28,0969	0,113593	247,348	0,0000	
% MG EN LECHE	-0,71448	0,0184218	-38,7844	0,0000	
% H EN QUESO	-0,164729	0,00137825	-119,52	0,0000	
% REC DE ST EN Q	-0,189168	0,00201238	-94,0023	0,0000	
Análisis de Varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	229,069	3	76,3564	11001,94	0,0000
Residuo	0,929995	134	0,00694026		
Total (Corr.)	229,999	137			
R-cuadrado = 99,5957 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,5866 porcentaje					
Error estándar de est. = 0,0833082					
Error absoluto medio = 0,057595					
Estadístico de Durbin-Watson = 1,94351 (P=0,3707)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,0107762					

Fuente. Este estudio

Como era de esperarse el R-cuadrado ajustado no se modificó significativamente, ahora con tan solo el análisis de tres variables el modelo matemático de regresión lineal múltiple, explica en un 99,5866 la variabilidad en el rendimiento de las 8 líneas de queso analizadas, La ecuación del modelo ajustado es:

$$R = 28,0969 - 0,164729 * \%H\ EN\ Q - 0,71448 * \%MG\ EN\ L - 0,18917 * \%RE\ DE\ ST\ EN\ Q$$

La variable porcentaje de caseína en leche pudo ser eliminada debido a que ésta no tenía una variación significativa entre todas las líneas analizadas y en consecuencia esa mínima variación no era causa significativa para explicar las diferencias tan marcadas en el rendimiento de las 8 líneas de queso.

Sin embargo se encontró que aparte del contenido de caseína existen otras variables influyentes que determinan el rendimiento de un queso, como son el % de materia grasa en leche, la humedad del queso, y el porcentaje de recuperación de sólidos totales, variables que de acuerdo al modelo matemático de regresión múltiple generado por Statgraphics explican en su totalidad la variaciones que pueden existir en el rendimiento de una industria quesera.

Hay que considerar que el porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso, es una variable calculada y a la vez se convierte en una dependiente de otras variables específicas, estas variables fueron revisadas anteriormente en la demostración de la ecuación para su cálculo, por tanto si se reemplaza esta variable, podría tenerse un modelo mucho más completo.

En lugar de cuantificar el porcentaje de recuperación de sólidos totales, también se puede incluir una variable basada en la pérdida de componentes en lactosuero, puesto que por balance de materia se sabe que están estrechamente relacionados, donde el porcentaje de pérdida sumado al porcentaje de recuperación debe ser igual al 100%.

La humedad final del queso y el porcentaje de materia grasa en materia prima son variables de diseño que se pueden controlar fácilmente, pero la transferencia de componentes al queso y/o los que se pierden en el suero son un punto importante a considerar, y sobre los cuales se debería enfocar esfuerzos de mejoramiento de una industria quesera.

6.2 EVALUACION DE TRANSFERENCIA DE COMPONENTES

El análisis de transferencia puede ser realizado a través del análisis composicional del lactosuero o del producto terminado, puesto que las dos partes están estrechamente relacionadas.

6.2.1 Análisis de pérdida en lactosuero:

6.2.1.1 Análisis de pérdida de sólidos totales:

Tabla 10. Análisis de varianza para porcentaje de sólidos totales en suero según línea

Tabla ANOVA para % ST EN SUERO según LINEA

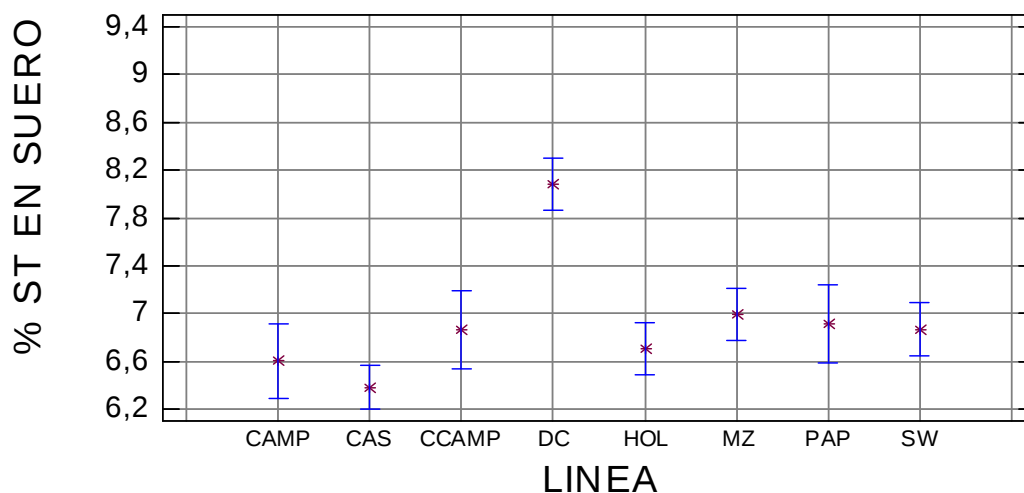
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	37,7397	7	5,39138	26,47	0,0000
Intra grupos	26,4749	130	0,203653		
Total (Corr.)	64,2145	137			

Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de sólidos totales en suero, de las diferentes líneas de queso, para un nivel de confianza del 95,0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes se puede analizar el grafico HSD de intervalos de tukey.

Figura 11. Medias de porcentaje de sólidos totales en suero e intervalos HSD

% DE ST EN SUERO E INTERVALOS HSD DE TUKEY



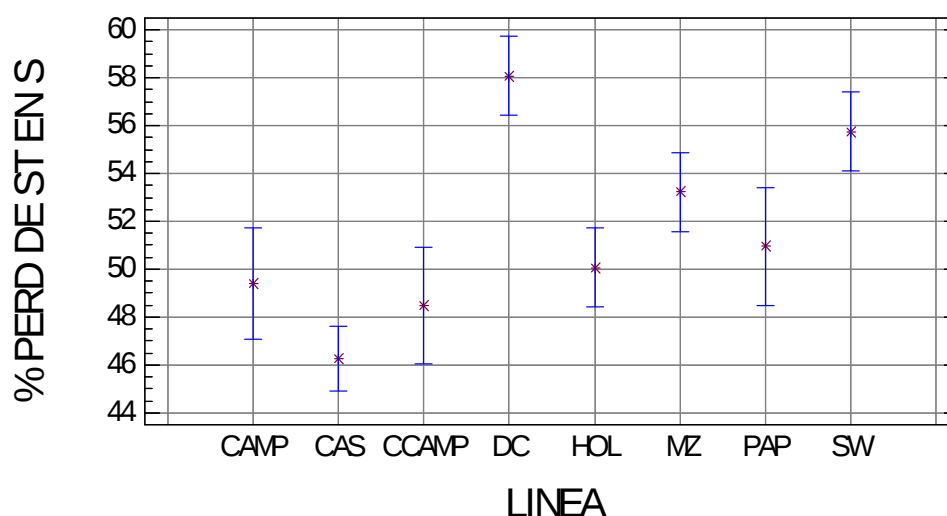
Fuente. Este estudio

Se puede observar que la línea de queso doble crema presenta un análisis composicional anormal en el lactosuero, puesto que el contenido de sólidos totales es significativamente mayor, a diferencia de las otras líneas las cuales casi se mantiene en un mismo rango.

El análisis composicional de lactosuero, junto con el análisis de materia prima, expresado en términos de porcentaje de pérdida de sólidos por balance de materia se indica en la figura 12.

Figura 12. Medias de porcentaje de pérdida de sólidos totales en suero e intervalos HSD

%DE PERDIDA DE SOLIDOS TOTALES E INTERVALOS HSD DE TUKEY



Fuente. Este estudio

De cada 100 Kg de sólidos totales procesados en leche, 58 kg se pierden en el lactosuero, representando una de las cifras más altas de todas las líneas, mientras que la línea de queso casero apenas tiene un porcentaje de pérdida del 46%.

6.2.1.2 Análisis de pérdida de materia grasa:

Tabla 11. Análisis de varianza para porcentaje de materia grasa en suero según línea

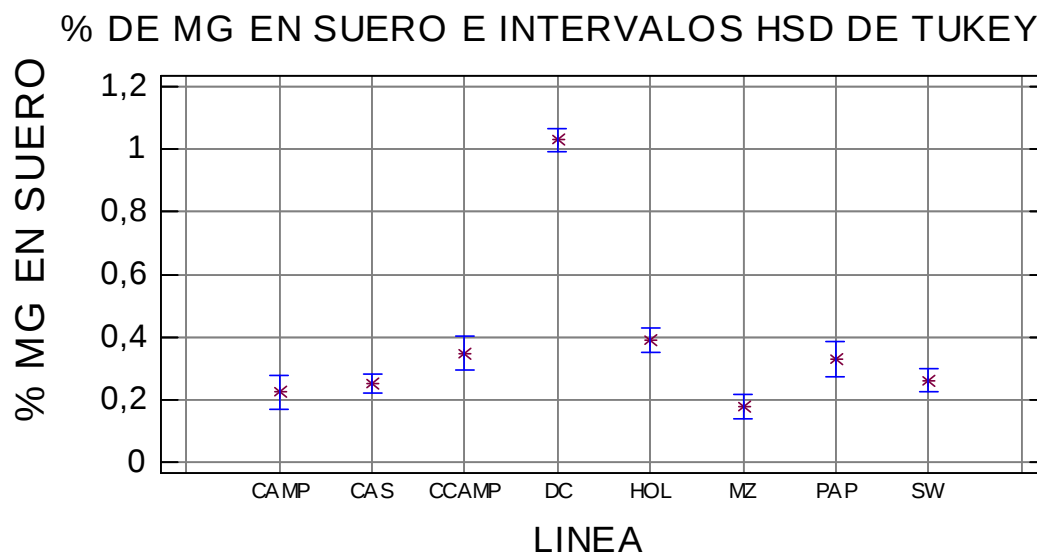
Tabla ANOVA para % MG EN SUERO según LINEA

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	10,3109	7	1,47298	249,61	0,0000
Intra grupos	0,767134	130	0,00590103		
Total (Corr.)	11,078	137			

Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias del porcentaje de materia grasa en suero entre las diferentes líneas para un nivel de confianza del 95,0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes se analizó el grafico HSD de intervalos de tukey.

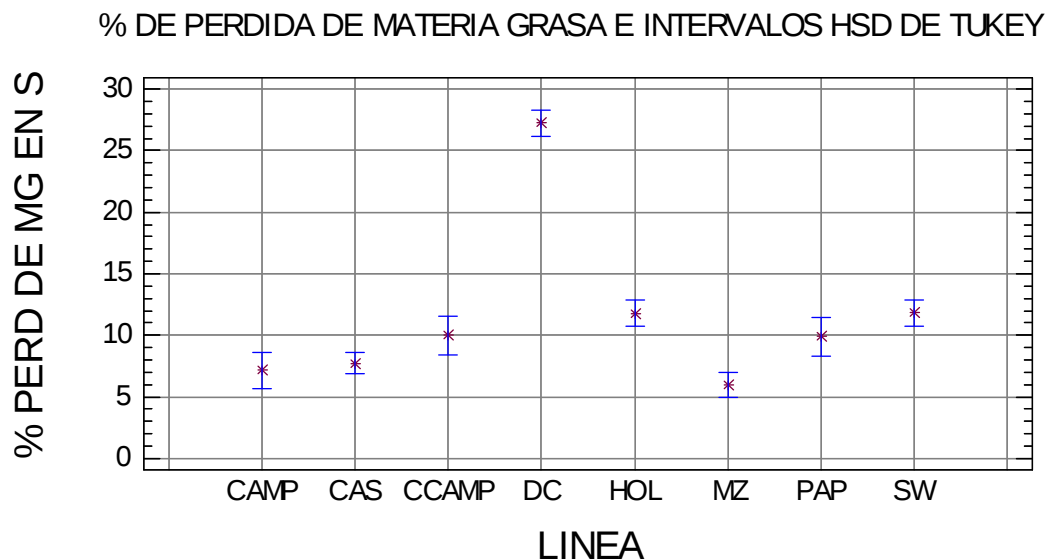
Figura 13. Medias de porcentaje de materia grasa en suero e intervalos HSD



Fuente. Este estudio

La prueba de Gerber realizado a los diferentes lactosueros de las líneas, reveló en la línea de queso doble crema una contenido anormal de materia grasa, dicho contenido expresado en terminos de balance de materia por pérdida se indica en la figura 14.

Figura 14. Medias de porcentaje de pérdida de materia grasa en suero e intervalos HSD



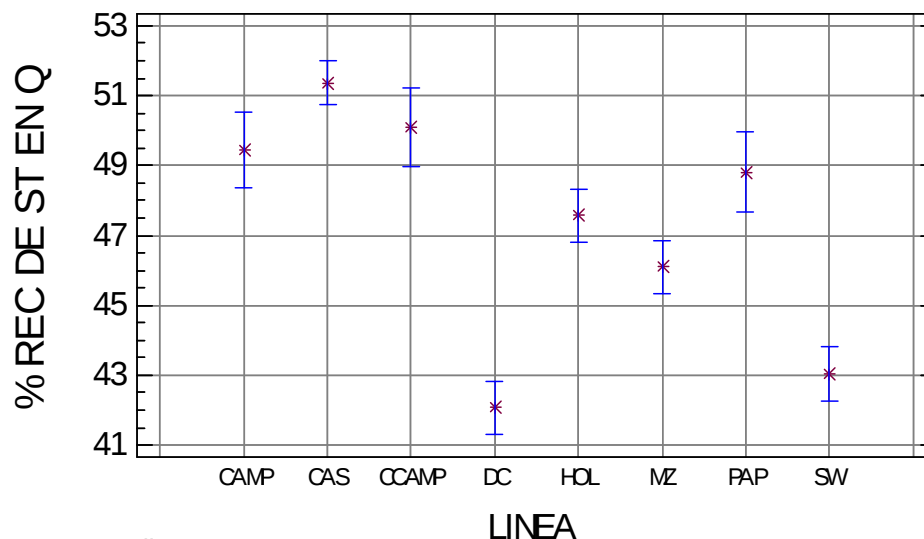
Fuente. Este estudio

La figura 14 indica que por cada 100 Kg de MG procesado 27 Kg se pierden en el lactosuero, esta cifra casi triplica la cifra de pérdida de las otras líneas que en promedio está alrededor del 10%.

6.2.2 Análisis de recuperación en queso. El análisis de recuperación de componentes en queso fue realizado considerando únicamente la composición fisicoquímica del queso y de la leche, independientemente del análisis del lactosuero, los resultados se indican en la figura 15

Figura 15. Medias de porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso e intervalos HSD

% DE REC DE ST EN QUESO E INTERVALOS HSD DE TUKEY



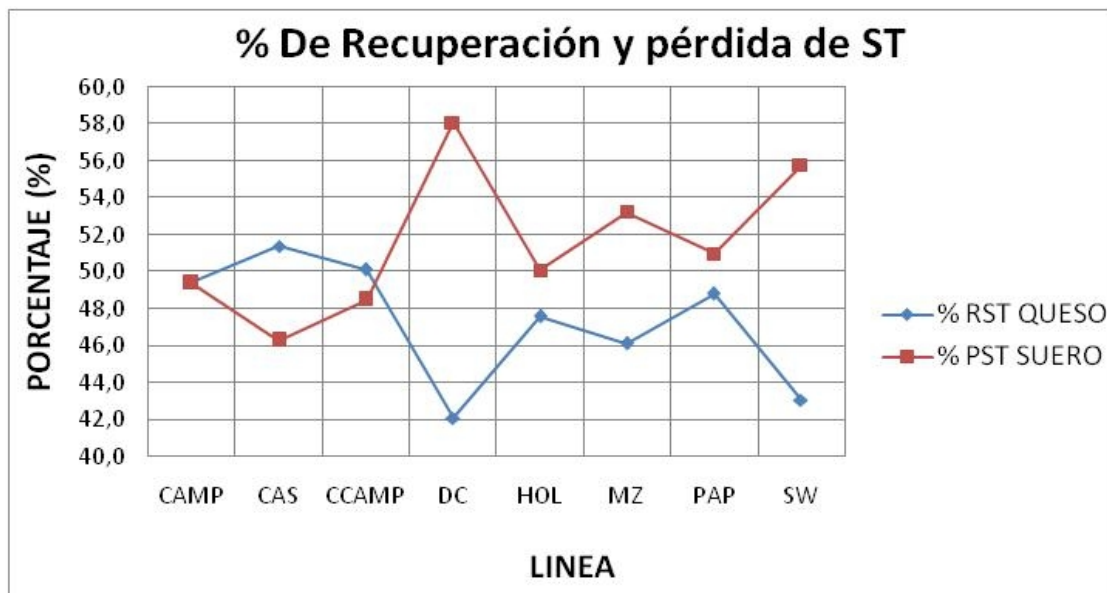
Fuente. Este estudio

Se puede observar que el balance de materia basado en la composición del queso, evidenció una recuperación muy baja para la línea de doble crema, respecto a las otras líneas corroborando así el resultado obtenido por análisis de transferencia obtenido en el lactosuero.

Por cada 100 Kg de Sólidos totales procesados se recuperan alrededor de 42 Kg, el resto se pierde en el lactosuero.

6.2.3 Correlación entre el análisis de transferencia por lactosuero y queso:

Figura 16. Porcentaje de recuperación y pérdida de sólidos totales



Fuente. Este estudio

En el anterior gráfico se puede observar la concordancia casi perfecta, cuando existe una alta recuperación de sólidos en queso, el análisis composicional del lactosuero indica una poca pérdida de sólidos, donde la suma de ambos valores tiende al 100%, por tanto los dos sistemas de evaluación se pueden considerar válidos.

La suma de los dos porcentajes por balance de materia efectivamente debe ser igual al 100%. Los resultados experimentales se indican en la tabla 12

Tabla 12. Relación de pérdida y recuperación de sólidos totales

LINEA	% DE PÉRDIDA SÓLIDOS TOTALES	% RECUPERACION DE SOLIDOS TOTALES	SUMA
SANDUCHERO	55,8	43,0	98,8
MOZZARELLA	53,2	46,1	99,3
CASERO	46,3	51,4	97,6
CAMPESINO	49,4	49,4	98,8
CUAJADA CAMPESINA	48,5	50,1	98,6
HOLANDES	50,1	47,6	97,6
PAPIALPA	51,0	48,8	99,8
DOBLE CREMA	58,1	42,1	100,2
PROMEDIO	51,5	47,3	98,8

Fuente. Este estudio

Se puede observar que la suma no es exactamente 100, sin embargo este valor puede considerarse válido debido a múltiples factores que inciden en las pruebas como error experimental ya que ninguna de las pruebas realizadas fue realizada por duplicado.

El error considerado es el siguiente

$$Error\ experimental = \left(\frac{100 - 98,8}{100} \right) \times 100 = 1,2\%$$

Un valor relativamente bajo, considerando las múltiples fuentes de variación.

6.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL RENDIMIENTO

Para evaluar si la pérdida o recuperación de sólidos es normal y en consecuencia el rendimiento, se determinó teóricamente el rendimiento bajo condiciones de alta eficiencia descritas por la ecuación G, el valor de las constantes utilizadas fueron las siguientes.

$K_g = 0,93$ Factor de conversión, kg de grasa en leche a grasa en el queso

$K_c = 1,02$ Factor de conversión, de caseína en la leche a paracaseinato de fósforo y calcio en el queso. Este término incluye la retención de minerales de leche en el queso, la pérdida de “finos” de queso en el lactosuero y la pérdida del glicomacropéptido en el lactosuero y calcio en el queso.

$SL = 0,065$ Fracción de sólidos de lactosuero, en lactosuero libre de grasa y de caseína.

Debido a que la ecuación G requiere considerar la cantidad de sal añadida al queso, teniendo en cuenta que ésta aporta al rendimiento, dicha fracción se menciona como el factor S. Sin embargo se encontró con el inconveniente para aquellas líneas donde el salado no se hace directamente al queso sino en tina de cuajado y por lo tanto este porcentaje es desconocido, la formulación realizada que se utiliza es en base a la leche y se adiciona justo después de hacer el primer desuere. Una vez retirado el primer suero (S1) se adiciona la sal a la mezcla de la cuajada con el segundo suero (S2) y se agita para garantizar que el salado sea homogéneo, posteriormente el segundo suero se retira en la pre-prensa por efecto de la presión.

Durante este proceso la sal adicionada se distribuye entre el queso y el segundo suero, sin embargo las cantidades eran desconocidas.

Este proceso de salado en tina se realiza para las líneas de papialpa, casero y campesino, para las líneas de sanduchero, mozzarella y holandés el factor S se tomo como cero (0) debido a que el análisis se hizo antes de ingresar a salmuera, para la línea de doble crema debido a que su formulación se hace en seco, se utilizó el mismo porcentaje como factor S

6.3.1 Calculo de la transferencia de Sal. Para encontrar el factor S, se diseñó un sistema de análisis cuantitativo de sal en suero, elaborando una curva de calibración en base a los cambios de densidad que ocasiona la presencia de sal en el suero.

Si es posible determinar la cantidad perdida en el suero, por balance de materia el resto se debe transferir en el queso.

Debido a que la sal ocasiona un aumento en la densidad del suero, se planteó la hipótesis que debe existir una relación entre la cantidad de sal y el cambio en su densidad. Para comprobar esta hipótesis se empleó un densímetro de lectura grados Baumé (utilizado en salmueras). Se utilizó este, debido a que los otros densímetros existentes (lactodensímetro, densímetro de ácido sulfúrico) no tenían la escala apropiada y por lo tanto era imposible hacer la medición.

Se tomó una muestra de 280 ml de suero (S1) proveniente del primer desuere y se añadió varias cantidades de sal, por cada adición se medía los grados Baumé, y posteriormente se calculaba el % de sal en el suero obtenido (S2) de acuerdo a la ecuación 22.

$$\% \text{ de sal en } S_2 = \frac{\text{gramos de sal}}{\text{Volumen de suero}} \times 100 = \frac{\text{gramos de sal}}{280 \text{ ml}} \times 100 \quad \text{Ec.22}$$

Debido a que la adición de sal ocasionaba un aumento en el volumen en el suero era incorrecto calcular el % de sal empleando únicamente 280 ml, por lo tanto se hizo un factor de corrección para la ecuación descrita, de tal forma que al incrementar la cantidad de sal, se incremente también el volumen.

El incremento del volumen, está directamente relacionado con la densidad de la sal (2,17 g/ml).

$$V = \frac{\rho}{m} \quad \text{Ec.23}$$

Luego el % de sal en el suero 2 (S2) es:

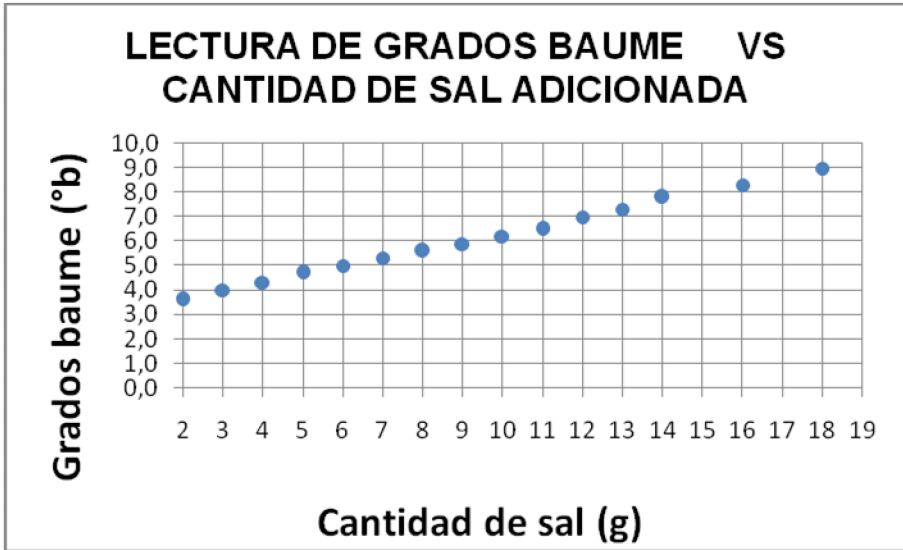
$$\% \text{ Sal en } S_2 = \left[\frac{\text{gramos de sal añadidos}}{\text{Volumen de suero} + \text{Volumen de sal}} \times 1 \right] \times 100 \quad \text{Ec.24}$$

Reemplazando 23 en 24

$$\begin{aligned} \% \text{ Sal en } S_2 &= \left[\frac{\text{gramos de sal añadidos}}{\text{Volumen de suero} + \frac{\rho_{\text{suero}}}{\text{gramos de sal añadidos}}} \right] \times 100 \\ \% \text{ Sal en } S_2 &= \left[\frac{\text{gramos de sal añadidos}}{280 + \frac{\rho_{\text{suero}}}{\text{gramos de sal añadidos}}} \right] \times 100 \quad \text{Ec.25} \end{aligned}$$

El resultado de 18 observaciones con diferente cantidad de sal adicionada y la lectura en grados baumé se indica en la figura 17.

Figura 17. Correlación de grados baumé según cantidad de sal presente en lactosuero

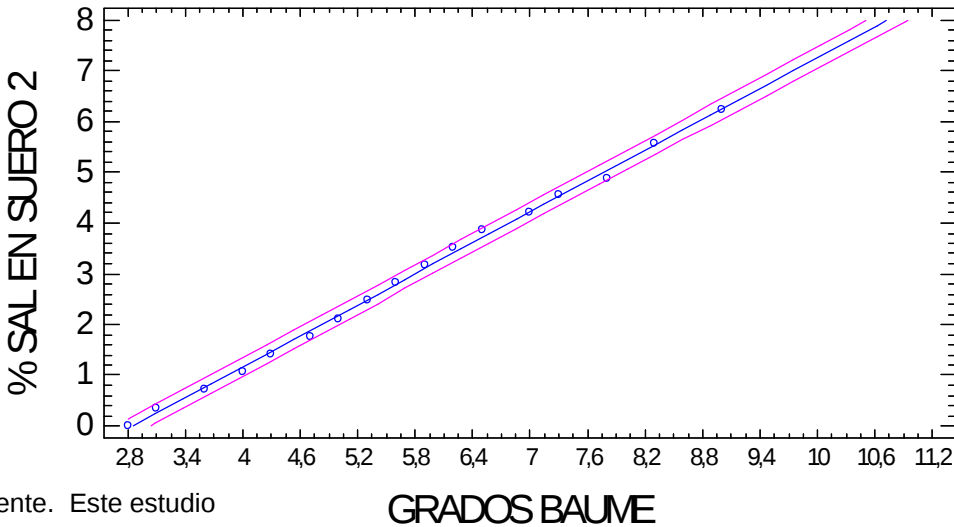


Fuente. Este estudio

Dada la tendencia en los datos, se puede considerar elaborar una curva de calibración, como una metodología posible para cuantificar la sal presente en el suero, para verificar este resultado se analizó la dependencia del porcentaje de sal calculado según la lectura realizada en grados baumé, el resultado se indica en la figura 18.

Figura 18. Correlación del porcentaje de sal en suero 2 según lectura de grados baumé

Gráfico del Modelo Ajustado



Fuente. Este estudio

Las líneas en color rojo indican los límites de confianza para la hacer la predicción utilizando el modelo lineal generado, con un 95% de confiabilidad.

Tabla 13. Correlación de porcentaje de sal en suero 2 según lectura de grados baumé

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: % SAL EN SUERO 2

Variable independiente: GRADOS BAUME

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	-2,90196	0,0687603	-42,204	0,0000
Pendiente	1,01725	0,0115745	87,8878	0,0000

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	55,171	1	55,171	7724,27	0,0000
Residuo	0,107138	15	0,00714256		
Total (Corr.)	55,2782	16			

Coefficiente de Correlación = 0,99903

R-cuadrado = 99,8062 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,7933 porcentaje

Error estándar de est. = 0,0845137

Error absoluto medio = 0,0667242

Estadístico de Durbin-Watson = 1,27771 (P=0,0291)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,346882

Fuente. Este estudio

El anterior modelo describe la relación entre % de sal en el segundo suero (S2) calculado y los grados baumé medidos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\% \text{ SAL EN SUERO 2} = -2,90196 + 1,01725 \cdot \text{GRADOS BAUME}$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre % sal en suero 2 y grados baumé para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 99,8062% de la variabilidad en % de sal en el segundo suero (S2)

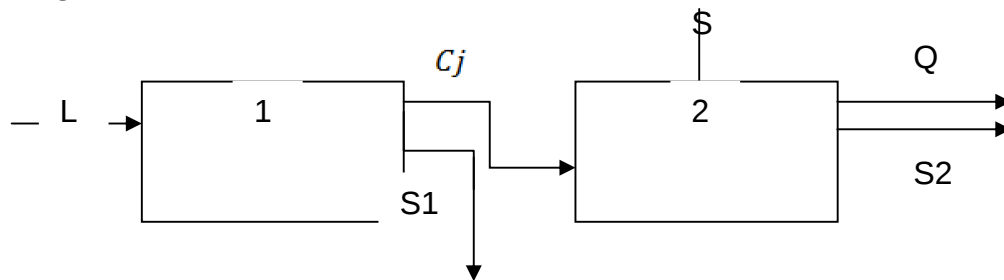
Considerando el resultado obtenido, el modelo generado se lo puede considerar un método óptimo para predecir el porcentaje de sal perdido en el suero 2 de las líneas mencionada en función de los grados baumé.

Por tanto para conocer el porcentaje de sal en el segundo suero (S2) de las líneas de papialpa, casero y campesino. Basta con medir los grados baumé y luego estos transformarlos a porcentaje de sal, mediante el uso de ecuación del modelo generado.

Una vez teniendo el porcentaje de sal del suero 2, se puede plantear el balance de materia respectivo para encontrar el volumen de suero (Vs2), teniendo el volumen y la fracción de sal, la cantidad de sal presente en el suero 2 será de acuerdo a la ecuación

$$Kg \text{ de sal en } S2 = \frac{\%Sal \text{ en } S2 * V_{S2}}{100} \quad Ec.26$$

Figura 19. Diagrama de balance para líneas de queso con salado en tina de coagulación



Fuente. Este estudio

Todas las variables mencionadas se deben encontrar en kilogramos de acuerdo a la siguiente nomenclatura.

L = Leche

S1 = cantidad de suero1 retirado en primer desuere

Cj = cuajada (Caseina, ST retenidos (MG, lactosa, minerales) y suero)

S = cantidad de sal adicionada

S2 = cantidad de segundo suero, que contiene una primera fracción de sal Ss2

Q = queso producido que contiene una segunda fracción de sal Sq

Entonces el balance por componentes para sal es:

$$S = S_Q + S_{S2} \quad \text{Ec.27}$$

S_{S2} = Cantidad de sal transferida en el segundo suero (S2)

S_Q = Cantidad de sal transferida al queso (Q)

Las ecuaciones de balance global son:

En 1

$$C_j = L - S1 \quad \text{Ec.28}$$

En 2

$$C_j + S = Q + S2 \quad \text{Ec.29}$$

Reemplazando Ec.28 en Ec.29

$$L - S1 + S = Q + S2 \quad \text{Ec. 30}$$

Luego

$$S2 = L + S - (S1 + Q) \quad \text{Ec.31}$$

Dado que el % de sal calculado en S2 está en porcentaje (p/V), es necesario medir la densidad de S2 para hacer la conversión de Kilogramos a Volumen.

$$V_{S2} = \frac{S2}{\rho S2} \quad \text{Ec.32}$$

Reemplazando la ecuación 32 en ecuación 26

$$S_{S2} = \frac{\%Sal \text{ de } S2 * S2}{100 * \rho S2} \quad \text{Ec.33}$$

Reemplazando la ecuación 31 en ecuación 33

$$S_{S2} = \frac{\%Sal \text{ de } S2 * (L + S - (S1 + Q))}{100 * \rho S2} \quad \text{Ec.34}$$

Del balance por componentes se tiene que la fracción de sal en queso es

$$S_Q = S - S_{S2} \quad \text{Ec.35}$$

Finalmente el porcentaje calculado y utilizado para el factor S (FS) de la ecuación G fue el siguiente.

$$FS = \% \text{ de sal en queso} = \frac{Kg \text{ de sal transferidos al queso}}{Kg \text{ de queso producido}} = \left(\frac{SQ}{Q} \right) \times 100 \quad \text{Ec.36}$$

Una ecuación general para el cálculo del porcentaje en sal empleado, se obtuvo al reemplazar la ecuación 34 en 35, y la ecuación obtenida reemplazarla en la ecuación 37, como resultado se obtuvo la siguiente ecuación.

$$FS = \left[\frac{(100 * \rho S2 * S) - \%Sal\ de\ S2 * (L + S - (S1 + Q))}{(100 * \rho S2 * S) * Q} \right] \quad Ec. 37$$

En la tabla 14 se resume los resultados de transferencia encontrados.

Tabla 14. Porcentajes de transferencia de sal a queso y pérdida en lactosuero

LINEA	% de NaCl en queso	Grados baumé	% Perdida	% recuperación
Casero	3,26	5,1	64	36
Papialpa	3,75	8,2	73	27
Campesino	2,37	5,9	77	23

Fuente. Este estudio

Con el cálculo del factor S (FS), se pudo evidenciar ineficiencia en el proceso de salado, donde la mayor parte de la sal se pierde en el lactosuero y muy poco se transfiere al queso.

6.3.2 Calculo del rendimiento teórico. Una vez conocido el factor S, se calculó el rendimiento teórico de las líneas empleando la ecuación G, los valores utilizados para el cálculo y su resultado se resume en la tabla 15

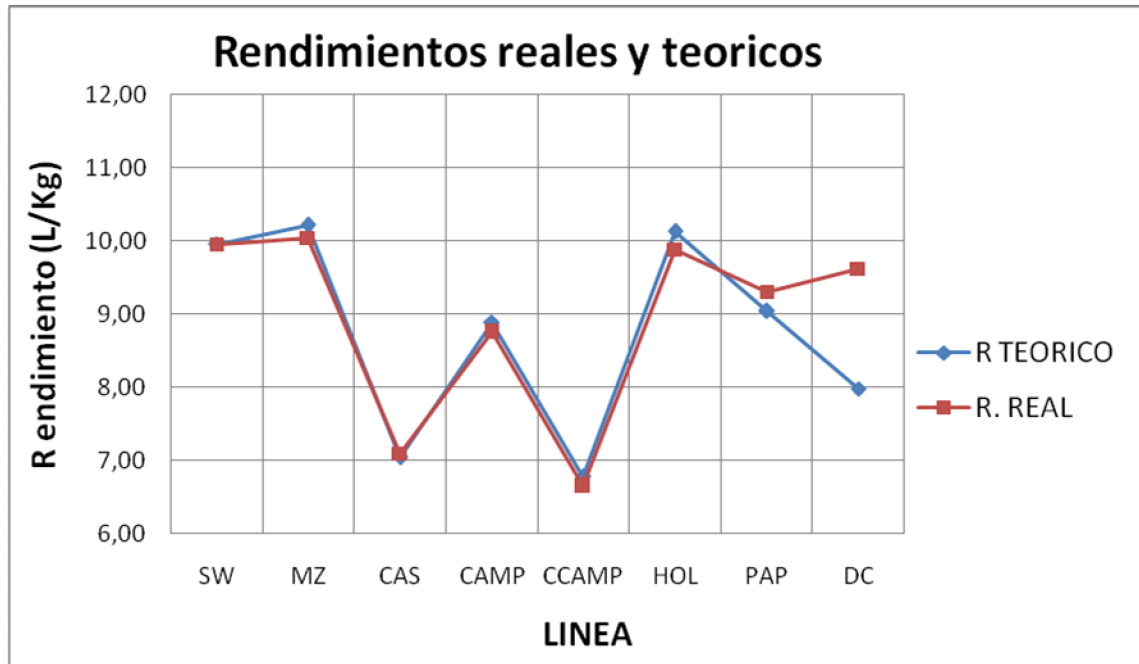
Tabla 15. Rendimientos teóricos y factores utilizados

PARAMETRO	MZ	CAS	CAMP	CCAM	HOL	PAP	SW	DC
% Caseína en L	2,44	2,44	2,44	2,42	2,42	2,41	2,46	2,42
% Humedad en Queso	44,82	56,38	48,30	59,59	42,90	44,89	52,14	49,24
% Sal en Queso	0	3,26	2,37	0	0	3,75	0	1,5
Rendimiento teórico(l/Kg)	10,21	7,04	8,89	6,78	10,13	9,04	9,96	7,98
Rendimiento Real (L/Kg)	10,04	7,10	8,75	6,65	9,88	9,31	9,95	9,62
Diferencia (L/Kg)	-0,18	0,05	-0,14	-0,14	-0,25	0,26	-0,59	1,64
Eficiencia de proceso (%)	101,8	99,23	101,6	102,1	102,5	97,17	100,1	82,98

Fuente. Este estudio

$$Eficiencia\ de\ proceso = \left(\frac{R.teórico}{R.Real} \right) \times 100$$

Figura 20. Rendimientos reales y teóricos según línea



Fuente. Este estudio

De los resultados obtenidos se concluye que la línea que más divergencia presenta entre el valor real y teórico es la de queso doble crema, debida a su alto porcentaje de pérdida de sólidos totales, con un consumo de leche superior al teórico en 1,64 L/Kg.

En un lote de 6000 litros procesados con el rendimiento teórico de 7,9 L/Kg dado por la ecuación G se obtendría.

$$Kg \text{ de Queso teor} = \frac{6000 L}{7,9 \frac{L}{Kg}} = 752 Kg$$

Actualmente los Kg promedio que se obtienen es

$$Kg \text{ de Queso Real} = \frac{6000 L}{9,62 \frac{L}{Kg}} = 624 Kg$$

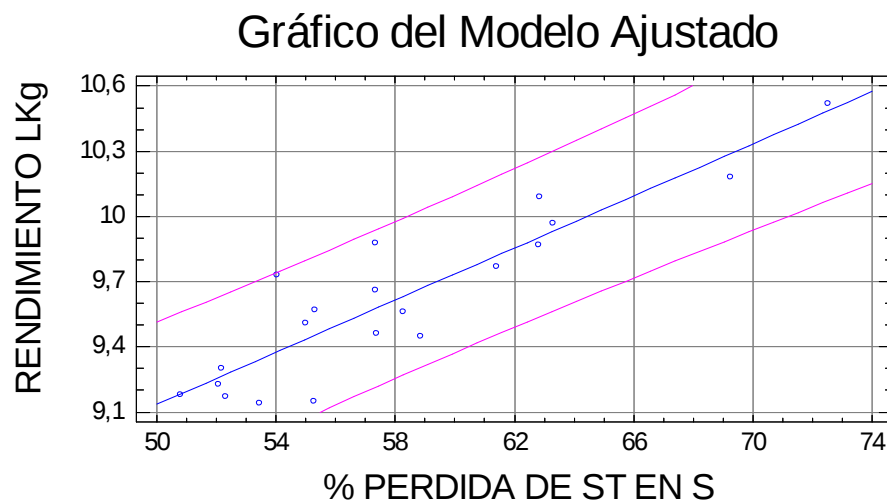
Se puede ver que si la línea de doble crema se procesara con una recuperación de sólidos similar a las otras líneas, las cuales alcanzan el valor teórico, se podrían obtener hasta alrededor de 100 Kg adicionales.

6.4 ANÁLISIS DE QUESO DOBLE CREMA COMO LÍNEA CRÍTICA DE RENDIMIENTO

Para ello se estudio más a fondo los 20 lotes muestreados de esta línea, para considerar las variables a mejorar, y así poder optimizar su rendimiento.

6.4.1 Análisis de transferencia de sólidos totales. Al analizar el efecto del porcentaje de pérdida de sólidos totales sobre el rendimiento se encontró el siguiente resultado.

Figura 21. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de pérdida de sólidos totales en suero



Fuente. Este estudio

Tabla 16. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de pérdida de sólidos totales en suero

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: RENDIMIENTO LKg

Variable independiente: % PERDIDA DE ST EN S

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	6,13749	0,386609	15,8752	0,0000
Pendiente	0,059955	0,00662547	9,04917	0,0000

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	2,3019	1	2,3019	81,89	0,0000
Residuo	0,50599	18	0,0281106		
Total (Corr.)	2,80789	19			

Coefficiente de Correlación = 0,905427

R-cuadrado = 81,9797 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80,9786 porcentaje

Error estándar de est. = 0,167662

Error absoluto medio = 0,12296

Fuente. Este estudio

El modelo lineal describe la relación entre el rendimiento y la pérdida de sólidos totales en lactosuero

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre rendimiento l/kg y porcentaje de pérdida de sólidos totales en suero para un nivel de confianza del 99%.

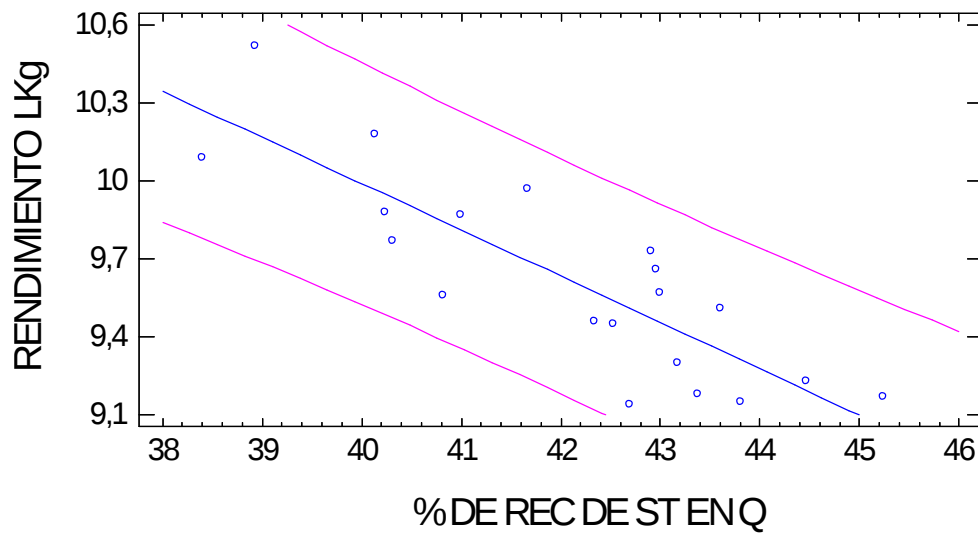
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 81,9797% de la variabilidad en rendimiento l/kg,

Considerando las múltiples fuentes de variabilidad, el modelo explica muy bien la variación del rendimiento entre los 20 lotes muestreados, por lo tanto si se desea controlar esa variación éste es un factor importante a considerar como una variable de monitoreo y control. Si se mantiene estable el % de recuperación de sólidos totales, el R-cuadrado nos indica que controlaremos un 81,9797% de la variabilidad en el rendimiento de queso doble crema.

El análisis de recuperación de sólidos totales basado en la transferencia al queso se indica en la figura 22.

Figura 22. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso

Gráfico del Modelo Ajustado



Fuente. Este estudio

Tabla 17. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: RENDIMIENTO LKg

Variable independiente: % DE REC DE ST EN Q

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	17,115	1,10831	15,4424	0,0000
Pendiente	-0,178141	0,0263168	-6,76907	0,0000

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	2,01595	1	2,01595	45,82	0,0000
Residuo	0,791944	18	0,0439969		
Total (Corr.)	2,80789	19			

Coefficiente de Correlación = -0,847324

R-cuadrado = 71,7958 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70,2289 porcentaje

Error estándar de est. = 0,209754

Error absoluto medio = 0,177169

Estadístico de Durbin-Watson = 2,47775 (P=0,0842)

Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,251649

Fuente. Este estudio

El modelo describe la relación entre el rendimiento L/Kg y porcentaje de recuperación de sólidos totales en queso. La Ecuación del modelo ajustado es $R = 17,115 - 0,178141 \cdot \% \text{ DE REC DE ST EN Q}$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre rendimiento L/kg y % de recuperación de sólidos totales en queso para un nivel de confianza del 99%.

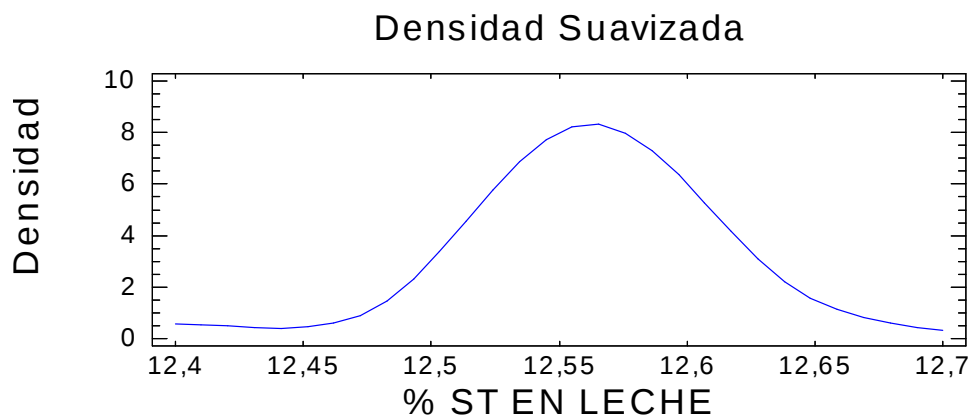
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 71,7958%, de la variabilidad en rendimiento, a diferencia del anterior modelo que se realizó con análisis de pérdida de sólidos totales en el suero donde el R- cuadrado fue de 81,9797, éste último fue ligeramente menor, muy posiblemente debido a que el análisis de una muestra de suero es más homogénea y por lo tanto es más representativa que el análisis realizado en el queso.

Sin embargo hacer un muestreo y análisis de lactosuero implica costos por implementar las pruebas, mientras que los análisis de queso ya se realizan a

diario, por cumplimiento a la normatividad colombiana, desde este punto de vista es mejor considerar los análisis de quesos como prueba opcional, para hacer control de rendimiento.

Otra prueba que no requiere hacer análisis de lactosuero, pero sí de queso es el cálculo del coeficiente global, el cual indica los gramos de sólidos totales que se transfirieron al queso por cada litro de leche procesado, este sería un cálculo interesante considerando que la leche es estandarizada en su porcentaje de materia grasa ya establecido, y por tanto los sólidos no se van a modificar significativamente, presentando así una distribución normal, tal como lo indica el siguiente gráfico para los 20 lotes analizados de queso doble crema

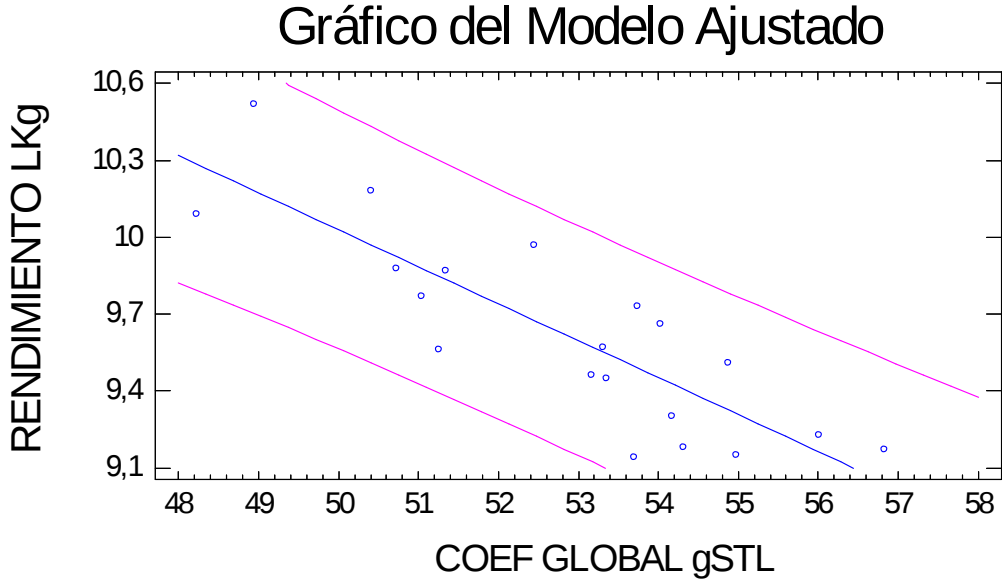
Figura 23. Distribución del porcentaje de sólidos totales en leche para queso doble crema



Fuente. Este estudio

El resultado para análisis de coeficiente Global es el siguiente.

Figura 24. Correlación de rendimiento en queso doble crema según coeficiente global



Fuente. Este estudio

Tabla 18. Correlación de porcentaje de rendimiento en queso doble crema según coeficiente global

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: RENDIMIENTO LKg
Variable independiente: COEF GLOBAL gSTL

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	17,2583	1,11728	15,4468	0,0000
Pendiente	-0,144558	0,0211252	-6,84293	0,0000

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	2,02823	1	2,02823	46,83	0,0000
Residuo	0,779662	18	0,0433145		
Total (Corr.)	2,80789	19			

Coefficiente de Correlación = -0,849901
R-cuadrado = 72,2332 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70,6906 porcentaje
Error estándar de est. = 0,208121
Error absoluto medio = 0,172023
Estadístico de Durbin-Watson = 2,39736 (P=0,1608)
Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,210415

Fuente. Este estudio

El modelo lineal describe la relación entre el rendimiento (L/Kg) y el coeficiente global (gST/L). La ecuación del modelo ajustado es $R = 17,2583 - 0,144558 * COEF GLOBAL$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre el rendimiento y el coeficiente global (gST/L) para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 72,2332% de la variabilidad en rendimiento, un porcentaje muy similar al obtenido al evaluar el % de recuperación de sólidos totales, debido a que se basa en el mismo criterio de aprovechamiento de sólidos.

6.4.2 Análisis de transferencia de materia grasa. Se estudio el efecto del porcentaje de pérdida de materia grasa sobre el rendimiento, encontrándose los siguientes resultados.

Tabla 19. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de pérdida de materia grasa en suero

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b * X$

Variable dependiente: RENDIMIENTO LKg

Variable independiente: % PERDIDA DE MG EN S

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	8,44704	0,472842	17,8644	0,0000
Pendiente	0,0430125	0,0171211	2,51225	0,0217

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0,728949	1	0,728949	6,31	0,0217
Residuo	2,07895	18	0,115497		
Total (Corr.)	2,80789	19			

Coefficiente de Correlación = 0,509517

R-cuadrado = 25,9607 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 21,8474 porcentaje

Error estándar de est. = 0,339848

Error absoluto medio = 0,256448

Estadístico de Durbin-Watson = 1,72234 (P=0,1829)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,0998448

Fuente. Este estudio

El modelo lineal describe la relación entre rendimiento y porcentaje de pérdida de materia grasa en suero. La ecuación del modelo ajustado es:

$$R = 8,44704 + 0,0430125 * \% PERDIDA DE MG EN S$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre rendimiento y % de pérdida de MG en suero para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 25,9607% de la variabilidad en el rendimiento.

Se analizó el % de recuperación de grasa calculado a partir de la materia grasa en queso, el resultado se indica en la tabla 20.

Tabla 20. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de materia grasa en queso.

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: RENDIMIENTO LKg
Variable independiente: % REC DE MG EN QUESO

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	12,3524	1,05228	11,7386	0,0000
Pendiente	-0,0391264	0,0150268	-2,60376	0,0180

Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0,768227	1	0,768227	6,78	0,0180
Residuo	2,03967	18	0,113315		
Total (Corr.)	2,80789	19			

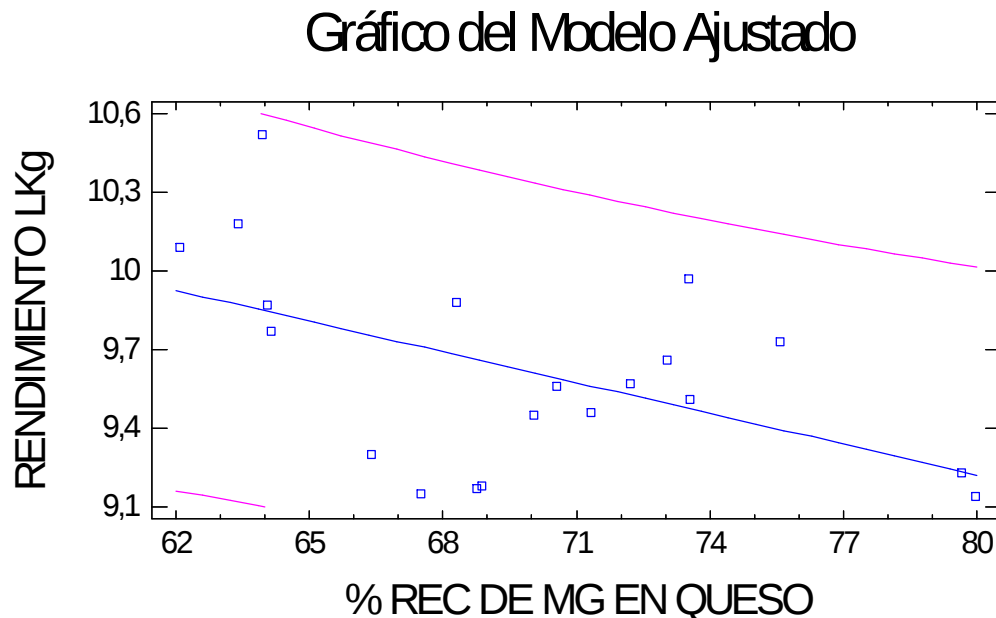
Coefficiente de Correlación = -0,523064
R-cuadrado = 27,3595 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 23,324 porcentaje
Error estándar de est. = 0,336623
Error absoluto medio = 0,244206
Estadístico de Durbin-Watson = 1,93894 (P=0,3433)
Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,0299699

Fuente. Este estudio

El modelo lineal describe la relación entre rendimiento y porcentaje de recuperación de materia grasa en queso. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{RENDIMIENTO LKg} = 12,3524 - 0,0391264 * \% \text{ REC DE MG EN QUESO}$$

Figura 25. Correlación de rendimiento en queso doble crema según porcentaje de recuperación de materia grasa en queso



Fuente. Este estudio

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre rendimiento (L/Kg) y el % de recuperación de MG en queso para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 27,3595% de la variabilidad en rendimiento (L/Kg). Este porcentaje es similar al obtenido calculando el porcentaje de pérdida de materia grasa en suero, al igual que el análisis de recuperación de sólidos totales o coeficiente global.

6.4.3 Análisis de regresión múltiple para rendimiento. Tanto el porcentaje de recuperación de grasa en el queso y el coeficiente global se basa en la recuperación de sólidos, pero anteriormente se encontró que la humedad es uno de los factores más significativos que provocan cambios en el rendimiento, por tanto estos dos factores se analizaron conjuntamente, el resultado se indica en la tabla 21.

Tabla 21. Correlación múltiple de rendimiento en queso doble crema según 2 variables independientes

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: RENDIMIENTO LKg

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	28,8829	0,249926	115,566	0,0000
% HUMEDAD	-0,192207	0,00382832	-50,2066	0,0000
COEF GLOBAL gSTL	-0,185454	0,00195676	-94,7758	0,0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	2,80267	2	1,40134	4561,18	0,0000
Residuo	0,00522293	17	0,000307231		
Total (Corr.)	2,80789	19			

R-cuadrado = 99,814 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,7921 porcentaje

Error estándar de est. = 0,017528

Error absoluto medio = 0,0131624

Estadístico de Durbin-Watson = 2,29178 (P=0,2458)

Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,148363

Fuente. Este estudio

El modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre rendimiento (L/kg) y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es

$$R = 28,8829 - 0,192207 * \% HUMEDAD - 0,185454 * COEF GLOBAL$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado ajustado, explica en un 99,7921 la variabilidad en el rendimiento.

Teniendo en cuenta que el rendimiento puede variar debido a la humedad en el producto terminado o a un cambio en el coeficiente global, si se estudia detalladamente estas variables, se explicaría casi en su totalidad la variación presente en el rendimiento, y por lo tanto se podría tomar acciones correctivas sobre las causas que ocasionan estos cambios, tiempo, temperatura, velocidad agitación etc.

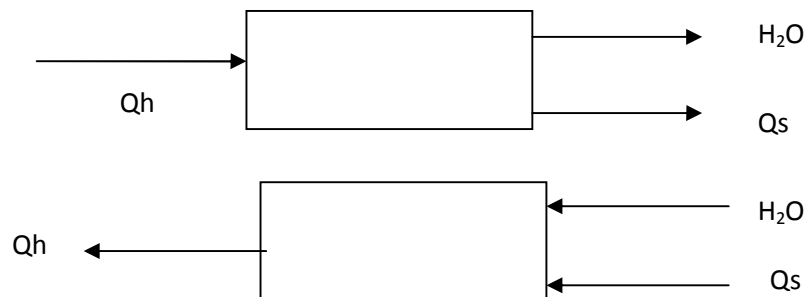
6.5 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE RENDIMIENTO

Considerando que la línea que presentó un mayor divergencia en su rendimiento respecto al valor teórico debido a la pérdida de componentes en el lactosuero, además de presentar la mayor variabilidad se diseñó un sistema de monitoreo para su control. Este sistema es igual aplicable a las otras líneas de proceso, para que su control no se realice con indicadores ISO: 9001 sino con cartas de shewart, debido a su mayor eficiencia para la toma de decisiones.

Sin embargo, por mejor que sea el control de calidad de la materia prima y del proceso de elaboración, va a hacer muy difícil obtener lotes de producción con exactamente la misma composición fisicoquímica, por lo tanto se puede dificultar el análisis. Para conocer si el cambio en el rendimiento se debió a la humedad o una baja recuperación de sólidos, o a ambas causas, es posible ajustar los lotes producidos a una misma humedad de diseño, como lo demuestra un balance de materia.

6.5.1 Efecto de la humedad en el rendimiento quesero. Cuando un queso pierde humedad, su porcentaje en humedad disminuye y en consecuencia pierde peso. El anterior análisis también puede ser hecho a la inversa, cuando un queso gana humedad, su porcentaje de humedad incrementa y en consecuencia gana peso. Esto puede explicado en el siguiente diagrama.

Figura 26. Diagrama de balance para pérdida y ganancia de humedad



Fuente. Este estudio

Donde:

$Q_h = Kg \text{ de Queso húmedo}$

$H_2O = Kg \text{ de Agua}$

$Q_s = Kg \text{ de Queso seco}$

$\% STQ_h = \% \text{ Sólidos totales en queso húmedo} = 100 - \%HQ_h \quad Ec.38$

$\% STQ_s = \% \text{ Sólidos totales en queso seco} = 100 - \%HQ_s \quad Ec.39$

El balance para sólidos totales es

$$\% STQ_h * Q_h = \% STQ_s * Q_s \quad Ec.40$$

Reemplazando ecuación 38 y 39 en ecuación 40

$$(100 - \%HQ_h)Q_h = (100 - \%HQ_s) * Q_s \quad Ec.41$$

Despejando Q_h

$$Q_h = \frac{(100 - \%HQ_s)}{(100 - \%HQ_h)} Q_s \quad Ec.42$$

La anterior ecuación indica la relación existente entre el cambio de humedad del queso y la variación del peso debido a ese cambio, de la ecuación podemos observar cuando las humedades son iguales, la ecuación se resume a $Q_h = Q_s$, evidentemente no hay cambio en el peso, pero cuando hay un cambio en las humedades el peso se modificará. Si se divide la ecuación 42 por el volumen de leche se obtiene lo siguiente.

$$\frac{V}{Q_h} = \frac{V}{Q_s} * \frac{(100 - \%HQ_h)}{(100 - \%HQ_s)} \quad Ec.43$$

Nótese que se ha obtenido una fracción $\frac{V}{Q}$ la cual corresponde a un rendimiento expresado en consumo de leche, por tanto se puede expresar la ecuación 43 en la siguiente forma

$$Raj = \frac{V}{Q_s} * \frac{(100 - \%HQ_h)}{(100 - \%HQ_s)} \quad Ec.44$$

Donde Raj es un rendimiento ajustado a una humedad constante de diseño o esperada ($\%HQ_h$) a la que se denominará una humedad de diseño ($\%HD$), Entonces

$$\%HQ_h = \%HD$$

Luego el rendimiento ajustado es:

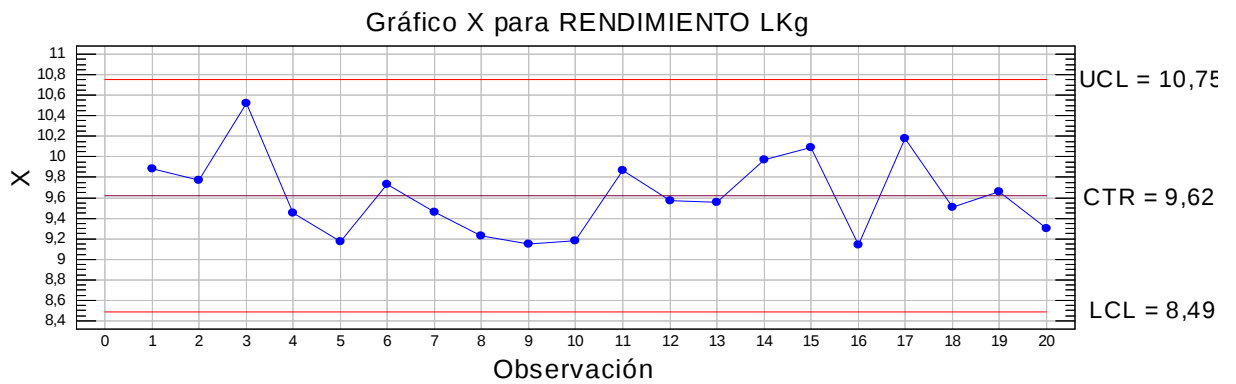
$$R_{aj} = \frac{V}{Q} * \frac{(100 - \%HD)}{(100 - \%H)} \quad Ec. 45$$

La anterior ecuación requiere el volumen de leche (V) que fue procesado, los kilogramos de queso (Q) que se obtuvieron de dicho lote y el porcentaje de humedad ($\%H$) con que fue elaborado.

Como resultado la ecuación indica el rendimiento que se hubiese obtenido si ese mismo lote se hubiese elaborado con una humedad constante de diseño ($\%HD$). Con lo anterior ecuación de rendimiento ajustado a humedad constante se puede eliminar el efecto de la humedad sobre el rendimiento, esto para un mejor análisis y descartar las variaciones de rendimiento debido a este factor, una vez hecho esto se puede pasar a evaluar el grado de recuperación de sólidos mediante el uso del coeficiente global. Si lo anterior se analiza conjuntamente con el porcentaje % de de recuperación de MG, considerando y evaluando las causas que inciden sobre estas variables en cada lote de leche procesado, conducirá necesariamente a un conocimiento más amplio del proceso y en consecuencia al mejoramiento del mismo.

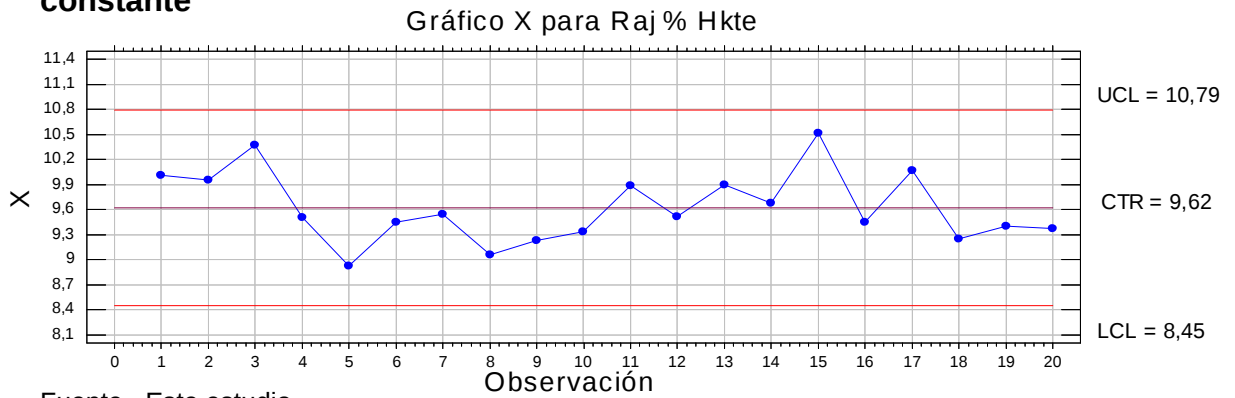
Si las anteriores variables, se grafican en cartas de control la visualización del proceso puede ser muy eficiente como se indica a continuación, los lotes analizados corresponden a la línea de doble crema.

Figura 27. Carta de control x para rendimiento (L/Kg)



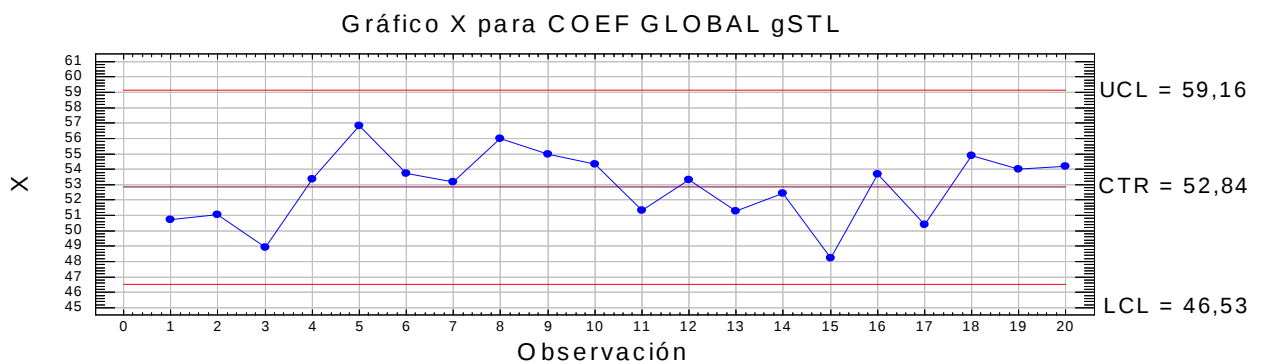
Fuente. Este estudio

Figura 28. Carta de control x para rendimiento ajustado a humedad constante



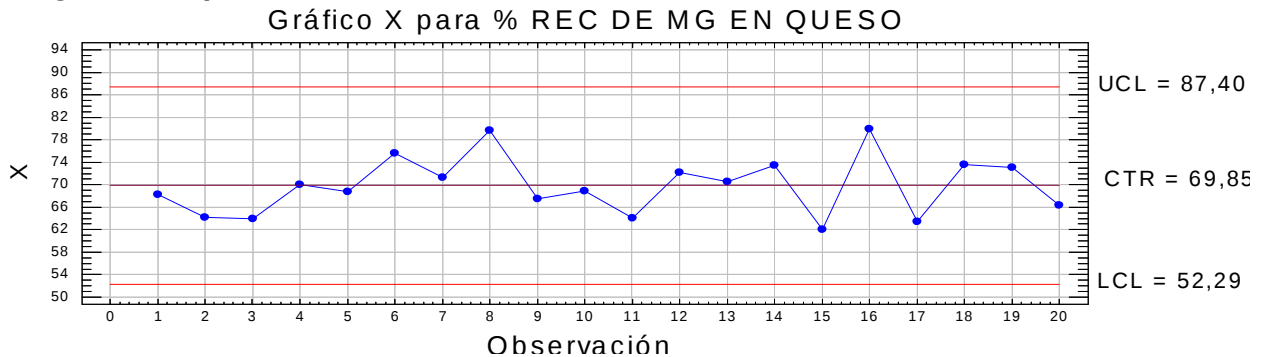
Fuente. Este estudio

Figura 29. Carta de control x para coeficiente global



Fuente. Este estudio

Figura 30. Carta de control x para porcentaje de recuperación de materia grasa en queso



Fuente. Este estudio

Nótese que la figura 28 y 29 pertenecientes a coeficiente global y rendimiento ajustado a humedad constante, son una copia exacta reflejada de la otra. A pesar de que cada una proviene de ecuaciones totalmente diferentes. Esto se debe a que tienen en común, el análisis basado en la recuperación de componentes y las dos eliminan la variable humedad. Esto es un indicativo de la validez de las ecuaciones propuestas.

La información contenida en las anteriores cartas es fundamental para interpretar el comportamiento de los procesos en cuanto a su rendimiento, un ejemplo de análisis es el siguiente: en la primera carta de control para rendimiento L/Kg se nota que el lote 15 se produjo con un rendimiento, que no llamaba la atención y se observa que está dentro de un rango normal de variación, por tanto este análisis no indica que se deba considerar como un lote anormal y hubiese pasado desapercibido, sin embargo la segunda carta de control de rendimiento ajustado a humedad constante, nos indica que fue un lote con muy mal rendimiento, debido a que realmente que hubo pérdida de sólidos y esa pérdida, fue enmascarada con un incremento en la humedad, si se analiza la carta de control para coeficiente global, nos confirma que hubo un muy bajo nivel de aprovechamiento de sólidos totales, siendo el más bajo de los 20 lotes evaluados, Este hecho tuvo efecto también en el producto terminado, si analizamos la última carta de % de recuperación de MG en queso, se nota que el lote 15 tuvo el más bajo aprovechamiento de grasa alcanzando apenas aproximadamente un 62% mientras que en promedio la línea central indica que se recupera un 69,85%, por tanto se concluye que hubo una pérdida excesiva de materia grasa, y debió haberse hecho una investigación sobre las causas que provocaron estas situación.

El lote 16 este presento un rendimiento l/kg, muy bueno, pero si se analiza la carta de control de coeficiente global y rendimiento ajustado a humedad constante, nos indica que simplemente se debió a que se procesó con más humedad.

Si se analiza el lote 5, en la carta de rendimiento l/kg, nos indica que es un rendimiento que se lo puede considerar normal, porque hay varios lotes que se procesan con ese mismo rendimiento y por tanto normalmente pasaría desapercibido. Sin embargo si se analiza la carta de rendimiento ajustado a humedad constante, nos indica que ese lote se produjo con una humedad inferior a la de ajuste (humedad esperada), que de haberse procesado a esa humedad el rendimiento hubiese sido mucho mejor, siendo el mejor de los 20 lotes evaluados, este hecho se confirma en la carta de control de coeficiente global, ya que indica que este lote tuvo el mejor aprovechamiento de sólidos totales.

Como se puede observar con este sistema de monitoreo, se puede analizar tanto las causas que provocaron bajos rendimientos y por tanto las que requieren corregirse, y más interesante aun, indica los lotes que a pesar tener un rendimiento l/kg común al resto, pueden potencialmente generar más rendimiento, si se investigan las causas que provocaron esta situación se estaría frente a una muy buena oportunidad de optimizar los proceso, porque se vería la posibilidad de replicar lo que aconteció en ese lote en particular. Por tanto es evidente que todo este análisis es imposible de realizar si solamente se considera el volumen de leche procesado y los kilogramos de queso obtenido, tal como lo presenta la primera carta de control

6.5.2 Efecto del coeficiente global en otras líneas de queso. Para analizar el efecto del coeficiente global sobre el rendimiento en cada línea, y determinar si esta es un factor tan importante de ser monitoreado como lo fue en queso doble crema, se hizo el respectivo análisis de correlación encontrando los siguientes resultados.

Tabla 22. Incidencia del coeficiente global sobre el rendimiento de las líneas de proceso

LINEA	CAS	CAMP	CCAMP	DC	HOL	MZ	PAP	SW
Valor -P	0,0970	0,0721	0,0808	0,0000	0,0003	0,0000	0,0006	0,0003
R-cuadrado	9,5275	34,902	37,263	72,223	51,846	65,959	82,920	53,293

Fuente. Este estudio

El R-cuadrado indica el porcentaje de variabilidad del rendimiento que es explicado por el coeficiente global, y el valor-p indica el porcentaje de confiabilidad de de la dependencia entre las dos variables, dados que todos lo

valor P- son inferiores a 0,01, existe relación estadísticamente significativa entre el rendimiento y el coeficiente global para un nivel de confianza del 99%.

Sin embargo el R-Cuadrado para queso casero indica que existe otra fuente de variabilidad más fuerte que está afectando el rendimiento, puesto que es inferior al 10 % mientras que los otros son superiores al 30%, por tanto se debe analizar otras posibles fuentes de variación.

6.6 ANÁLISIS DE VARIACIÓN PARA QUESO CASERO

Tabla 23. Análisis de varianza para rendimiento según Coordinador de proceso

Tabla ANOVA para Rendimiento LKg Q CAS según COORDINADOR

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0219315	1	0,0219315	1,79	0,1914
Intra grupos	0,342615	28	0,0122363		
Total (Corr.)	0,364547	29			

Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05 no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de Rendimiento de los coordinadores para un 95,0 de confiabilidad, esto se puede analizar también en el gráfico de intervalos HSD de Tukey.

Figura 31. Medias de rendimiento e intervalos HSD, para queso casero según Coordinador



Fuente. Este estudio

El queso casero se elabora en lotes de 4000 y 6000 litros para conocer si el volumen procesado tiene incidencia en el rendimiento se hizo análisis de varianza.

Tabla 24. Análisis de varianza para rendimiento según volumen de leche procesado

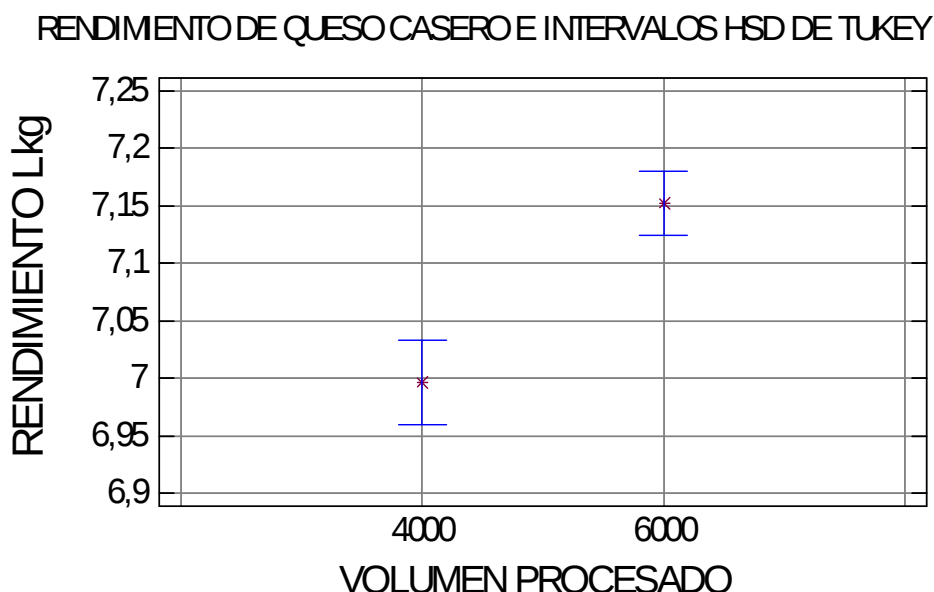
Tabla ANOVA para Rendimiento LKg Q CAS según VOLUMEN PROCESADO

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,167839	1	0,167839	23,89	0,0000
Intra grupos	0,196707	28	0,00702526		
Total (Corr.)	0,364547	29			

Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre el rendimiento (L/Kg) obtenido al procesarse de lotes de 4000 y 6000 Litros para un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 32. Medias de rendimiento e intervalos HSD, de queso casero según volumen procesado



Fuente. Este estudio

Para analizar la causa de la variación encontrada se comparó los coeficientes globales para lotes de 4000 y 6000 litros encontrando los siguientes resultados.

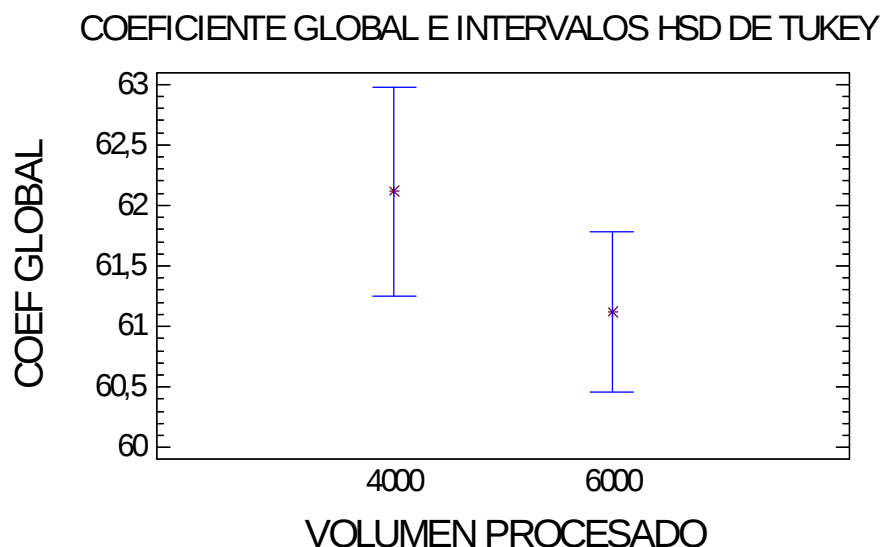
Tabla 25. Análisis de varianza para coeficiente global de queso casero según volumen procesado

Tabla ANOVA para COEF GLOBAL gSTL según VOLUMEN PROCESADO

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	6,98348	1	6,98348	1,76	0,1949
Intra grupos	109,614	28	3,91479		
Total (Corr.)	116,518	29			

Fuente. Este estudio

Figura 33. Medias de coeficiente global e intervalos HSD, de queso casero según volumen procesado



Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre el coeficiente gST/L, de los lotes de 4000 y 6000 litros.

El análisis de sólidos totales en el lactosuero indicó los siguientes resultados

Tabla 26. Análisis de varianza para porcentaje de sólidos totales en suero de queso casero según volumen procesado

Tabla ANOVA para % ST EN SUERO según VOLUMEN PROCESADO

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0167564	1	0,0167564	0,59	0,4502
Intra grupos	0,79986	28	0,0285664		
Total (Corr.)	0,816617	29			

Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre el % de sólidos totales de suero entre lotes de 4000 y 6000 L para un 95,0% de confiabilidad.

Figura 34. Medias de porcentaje de sólidos totales en suero e intervalos HSD, de queso casero según Volumen procesado



Fuente. Este estudio

Si entre los lotes de 4000 y 6000 manejan la misma recuperación de sólidos se concluye que esta diferencia se debe a las diferencias de humedad en los dos lotes, Analizando las etapas del proceso se encontró que la pérdida de humedad para lotes de 6000 es mayor debido al tiempo de proceso que se tarda.

Las diferencias en el proceso que se encontró fue la siguiente.

Cuando el queso casero baja de la tina de cuajado, este pasa a la pre-prensa, una vez ahí continua a la molienda y posterior amasado, sin embargo la capacidad del la molienda y amasado es de aproximadamente 2000 L/hora, esto implica que para un lote de 4000L se tarde 2 horas y para uno de 6000 3 horas.

Mientras permanece la masa de queso en la pre-prensa, ésta por efecto de la presión y tiempo se desuera y por lo tanto pierde peso. Cuanto más tiempo permanezca en el equipo más peso perderá. Es por esta razón que los lotes de 6000 tienen menos rendimiento que los lotes de 4000. El efecto sobre la molienda es que los últimos 2000 litros para uno de 6000 tiene una textura más dura debido a la pérdida de humedad.

Debido a que el muestreo para análisis de humedad que realiza el área de control de calidad, es aleatorio y se realiza al final de todo el proceso en producto terminado, no ha sido posible considerar estas diferencias, entre lotes de 4000 y 6000 litros tal como lo indica el siguiente análisis realizado.

Tabla 27. Análisis de varianza para porcentaje de humedad en queso casero, según volumen procesado

Tabla ANOVA para % H EN QUESO según VOLUMEN PROCESADO

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,460261	1	0,460261	0,24	0,6303
Intra grupos	54,4331	28	1,94404		
Total (Corr.)	54,8934	29			

Fuente. Este estudio

Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05 no hay diferencia estadísticamente significativa entre el % humedad en queso para lotes de 4000 y 6000 L para un 95,0%. De confiabilidad.

Esto se puede ver en el test de intervalos HSD de Tukey

Figura 35. Medias de porcentaje de humedad en queso e intervalos HSD, de queso casero según Volumen procesado



Fuente. Este estudio

Considerando que para el área de control de calidad, estas diferencias no han sido significativas, para el rendimiento se demostró con el presente estudio que estas diferencias pueden ser notorias, como se demuestra a continuación.

Tabla 28. Tabla de medias para rendimiento de queso, según volumen procesado

Tabla de Medias para Rendimiento LKg Q CAS según VOLUMEN PROCESADO
con 95,0 intervalos HSD de Tukey

VOLUMEN PROCESADO	Frec.	Error Estándar		Límite inf.	Límite sup.
		Media	(s agrupada)		
4000	11	6,99636	0,0252717	6,95976	7,03297
6000	19	7,15158	0,0192289	7,12373	7,17943
Total	30	7,09467			

Fuente. Este estudio

Los kilogramos obtenidos de un lote de 6000 Litros en promedio es:

$$Kg = \frac{6000 \text{ L}}{7,15158 \frac{\text{L}}{\text{kg}}} = 839,0 \text{ Kg}$$

Si se procesa un lote de 6000 Litros con un rendimiento de 4000 L los kg producidos es

$$Kg = \frac{6000 \text{ L}}{6,99636 \frac{\text{L}}{\text{kg}}} = 857,6 \text{ Kg}$$

Como se puede ver la diferencia en Kg es de 18,6 Kg que representan alrededor de 50 unidades de queso en presentación de 350 gramos. Al largo plazo esta cantidad puede representar un margen de utilidades extras, si se toma los correctivos requeridos para corregir esta variación, al comenzar a eliminar esta fuente de variación, en una carta de control se identificará como una tendencia de mejora.

7. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la elaboración de queso es una operación de concentración de sólidos, el manejo y control de rendimiento basado únicamente en la relación litros-kg de queso, con el presente trabajo se demostró que este tipo de monitoreo que se hace en la industria quesera es ineficiente y por tanto representa una limitante para el mejoramiento de los procesos. Para el caso de la línea de doble crema presentó una pérdida de componentes anormal, y esta pérdida era enmascarada por un alto contenido de humedad y por tanto el rendimiento era similar a las otras líneas, en consecuencia COLACTEOS LTDA no había identificado esta anomalía.

De todas las líneas evaluadas, la líneas de queso doble crema, de acuerdo a la calidad fisicoquímica de la leche empleada, potencialmente tendría la capacidad de producirse en mayor rendimiento, sin embargo tiene un alta pérdida de sólidos totales y materia grasa, la pérdida de materia grasa es casi tres veces mayor a la del suero de las otras líneas, por lo tanto ésta requiere implementar un plan de optimización, o por el contrario darle uso al lactosuero producido.

La evaluación de diferentes lotes de queso casero, mediante el sistema de monitoreo por componentes permitió identificar diferencias en el rendimiento, entre los volúmenes de procesamiento y la causa que provocaba esas variación. Se encontró que las diferencias se debían a cambios en la humedad, dicha anomalía no había sido identificada antes debido a que el control de rendimiento se llevaba independientemente del volumen de proceso, y nunca se había analizado variables de volumen por separado.

El uso de ecuaciones teóricas basadas en el balance de materia, como la ecuación G, la cual fue utilizada para el presente estudio demostró ser muy eficiente y útil puesto que identifico una divergencia significativa entre el rendimiento teórico y el rendimiento real que se estaba obteniendo en la empresa.

Para poder utilizar la ecuación G apropiadamente se calculó la transferencia de sal al queso, mediante el diseño una técnica rápida y eficiente para determinar la pérdida de sal en lactosuero, basada en los cambios de densidad que ocasiona, como resultado se comprobó que en todas las líneas analizadas se pierde más del 60% de la sal adicionada.

El sistema de monitoreo propuesto resultó ser muy eficiente, donde el control de las variables como el rendimiento ajustado a humedad constante, coeficiente global, % de recuperación de sólidos totales en queso, % de recuperación de materia grasa en queso, son variables que se puede calcular a partir de los datos que se manejan diariamente en una empresa que cumple con los requisitos de calidad exigidos por la resolución 02310 de 1986 del INVIMA, por tanto utilizar

estos datos con doble propósito, para monitorear y optimizar los rendimientos, no implica costos adicionales, sin embargo puede resultar muy útil y productivo para las empresas queseras.

8. RECOMENDACIONES

Durante el cálculo de transferencia de sal al queso, para las líneas de queso Papialpa, campesino y casero se pudo comprobar que la mayor cantidad de sal se pierde en el lactosuero, por tanto se recomienda a COLACTEOS LTDA rediseñar los procesos, en la etapa de desuere, considerando retirar una mayor cantidad de lactosuero, de esta forma la cantidad del segundo suero será menor, así al agregar la misma cantidad de sal que se utilizaba antes, la concentración de sal se incrementa y por tanto el salado será más eficiente. Por tanto se requerirá menos sal, para lograr la misma transferencia. En su caso más extremo se puede considerar un salado en seco y no en tina de cuajado, para esto se debería evaluar la relación coste/beneficio por incremento en tiempo de proceso y gasto de personal versus ahorro en sal. Para lograr esto se requiere elaborar un curva de calibración de tal forma que se modele la cantidad de sal añadir en función del suero retirado, manteniendo constante la transferencia de sal al queso.

En la línea de queso casero se comprobó diferencias significativas entre el rendimiento de lotes de 4000 y 6000 litros, debido a las diferencia de humedad por tiempo en proceso, para ello se recomienda implementar un sistema de humidificación con lactosuero para la última hora de proceso, para el queso que encuentra en la pre-prensa de tal forma que la pérdida de humedad sea recuperada, esta humidificación puede ser realizada en este equipo o en la etapa de la molienda, esto facilitaría también el amasado del queso, para lograr esto se requiere un cálculo de la cantidad exacta de lactosuero a utilizar al igual que su distribución respecto al tiempo de humidificación. Como una segunda opción es hacer que el tiempo de retención en pre-prensa sea el mismo, esto se lograría aumentando la capacidad en la molienda y amasado para los lotes de 6000, con el diseño de un molino más eficiente o la adquisición de otro similar al que existe. Cabe resaltar que si se procesaran lotes de 2000 L su rendimiento presentaría diferencia con uno de 4000 y mucho más con uno de 6000. Esto debido al mismo efecto.

El sistema de monitoreo diseñado se recomienda implementarlo y llevarlo para todas las líneas de queso, puesto que el control que se realiza actualmente con indicadores ISO: 9000 basado únicamente en la relación Volumen de leche-queso producido, se demostró que por sí solo dificulta la optimización de procesos, mientras que con el análisis de transferencia de componentes se pudo encontrar anomalías que antes no habían sido tomadas en cuenta, considerando el alto impacto que estas generaban en la rentabilidad de COLACTEOS LTDA.

BIBLIOGRAFÍA

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 02310 de 1986, Santa Fé de Bogotá. 1986

EMONS, D.B; ERNTROMS C.A. y LACROICS, C. Predictive Formulas for Yield of Cheese from Composition of Milk: A Review, Journal of Dairy Science Vol. 73, No. 6. (Ene – Mar 1990); 1400 p.

INDA CUNNINGHAM, Arturo. Optimización de Rendimiento y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria de la Quesería. Bogotá: Organización de los estados Americanos (OEA), 2000. 180 p.

JIMENEZ MARQUEZ, S.A. Statistical Data Validation Methods for Large Cheese Plant Database, University of Ottawa, Canada, J. Dairy Sci. 85:2081–2097, American Dairy Science Association, 2002.

KLEY, Linda. *et al.* Effects of Milk Somatic Cell Count on Cottage Cheese Yield and Quality. Journal of Dairy Science Vol. 81, No. 5 (Ene 1998); 45 p.

VILORIA DE LA HOZ, Joaquín. Economía del departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico. San Juan de Pasto: Banco de la República, Centro de Estudios económicos Regionales, 2007. 180 p.

WALSTRA, Pieter. Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos. Bogotá: s.n. 2001. 245 p.