

# Estandarización de la calidad del queso fresco a través del diseño experimental para el sector lácteo de Imbabura.

Autor: Christian A. Rosero F.

<sup>1</sup> Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de julio 5-21 y Gral. José María Córdova, (593 6) 2997800 ext. 7070 Ibarra, Imbabura

Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas – Ingeniería Industrial

Autor: [caroserof@utn.edu.ec](mailto:caroserof@utn.edu.ec)

## Resumen.

La presente investigación surgió de la necesidad de las Microempresas de establecer un estudio sistemático que permita conocer el comportamiento de las variables críticas de calidad del queso fresco debido a la adulteración de la leche por la adición de agua y sus consecuencias en el rendimiento de este producto.

Se desarrolló un diseño de experimentos de tipo factorial a dos niveles para 3 factores de estudio, recreando el proceso de elaboración de queso fresco que se realiza en las microempresas a nivel de laboratorio, siguiendo los principios del método científico y la metodología PHVA para simplificar su secuencia.

Se analizó el rendimiento del gramaje y el comportamiento de las variables críticas de calidad, aspecto físico, olor, sabor y valoración general, al alterar los niveles de los factores de estudio cloruro de calcio, cloruro de sodio y cuajo dentro del proceso de coagulado, con un incremento del 10% adicional de agua en la leche.

Con las condiciones del modelo experimental, se pudo concluir que se puede compensar el rendimiento del gramaje cuando existe adulteración en la materia prima. Se consiguió optimizar esta variable hasta el 91,75%, lo cual representa una mejora de 6,61% referenciando a la peor condición de trabajo y 5,12% respecto a las condiciones promedio para elaboración de queso.

Finalmente se estableció la propuesta de regulación en los factores de coagulado, elevando los niveles de cloruro de calcio y cuajo a 0,3 gramos en cada unidad de producción referencial de 480 g.

## Palabras Claves

DOE, Diseño de experimentos, Calidad, Queso fresco, Diseño factorial.

## Abstract.

This investigation arises from the need to micro enterprises to establish a systematic study, to understand the behavior the critical variables of quality for cheese, due to adulteration of milk by adding water and its impact on the performance of this product.

It developed a design of experiments factorial at two levels for three factors study, recreating the process of making cheese from laboratory level, following the principles of the scientific method and PDCA sequence.

Was analyzed the performance and behavior of the critical variables of quality, appearance, smell, taste and overall assessment by altering the levels of the factors of calcium, sodium chloride and rennet chloride study in the process of coagulated analyzed, with an increase of an additional 10% of water in milk.

With the conditions of the experimental model, it was concluded that it is possible to compensate weight performance, when there adulteration in the raw material. It was achieved to optimize this variable to 91,75%, which represents an improvement of 6,61% referencing the worst working conditions, and 5,12% on average conditions for cheese making.

Finally, was established the proposed of regulation in factors of coagulated, when there is a maximum of 10% adulteration by adding water in milk, which is to raise levels of calcium and rennet chloride 0,3 grams in each unit of referential production 480 g.

## Keywords

DOE, Design of Experiments, Quality, Fresh cheese, factorial design.

## 1. Introducción

En Latinoamérica el consumo de queso fresco es habitual debido a que la región goza del clima adecuado y condiciones propicias para la expansión de la ganadería, lo cual ha contribuido al desarrollo y proliferación de empresas dedicadas a la producción de lácteos.

Mónica Orozco, (2015) en el artículo titulado “*Un tercio de la producción láctea se dedica al queso*” para la revista Líderes, menciona que entre 2006 y 2014 el consumo de queso por persona en Ecuador se incrementó en más del doble (0,75 a 1,57 kg) y por lo tanto las ventas de este sector industrial reportaron un aumento de 171,7 millones de dólares.

Según la Agencia Nacional de Regulación y Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA), existen 22 empresas legalmente registradas, del sector lácteo en la provincia de Imbabura, de las cuales son 13 consideradas Microempresas y nueve se catalogan como medianas empresas, cuya actividad principal es la producción de queso tipo fresco bajo el cumplimiento de la normativa legal NTE 1528:2012.

Aunque se ha advertido de la calidad de la leche, como factor importante para obtener un buen rendimiento productivo en la realización de queso (Tornadijo, Marra, García Fontán, Prieto, & Carballo, 1998), el acaparamiento de las grandes empresas y sus controles exhaustivos de calidad a la leche, ha permitido que se monopolice la calidad de esta materia prima esencial en la producción de queso, desbalanceando la competencia (Grain International Organisation, 2012). De esta forma el costo ofertado a los productores de leche varía en función de la calidad encontrada, llegándose a pagar hasta 0,30 USD por litro cuando las características no son las requeridas y 0,47 USD si lo son. (Ochoa, 2015)

Con estos problemas en la variación de calidad y precio de la leche, ha conllevado a que sea contaminada con algún elemento (especialmente agua) para aumentar la cantidad entregada a las empresas que tienen deficiencias en los controles de calidad para la recepción, convirtiendo a las Microempresas en un sector vulnerable de esta práctica (Heredia Montenegro, 2006)

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Modelo

Variable de entrada (independiente):

- Densidad de la leche.

Variables de modificación (tratamiento):

- Cantidad de Cloruro de calcio
- Cantidad de Cloruro de sodio
- Cantidad de Cuajo

Variable de respuesta (dependiente):

- Cantidad producida de queso fresco en gramos.
- Aspecto (Físico)
- Sabor
- Olor
- Evaluación General (Sensorial)

### 2.2 Localización

PROVINCIA:	IMBABURA
CANTÓN:	IBARRA
PARROQUIA:	SAN FRANCISCO

Las características climáticas del sector son:

TEMPERATURA:	18°C
ALTITUD:	2 217 m.s.n.m
HUMEDAD RELATIVA:	52%
PLUVIOSIDAD:	-40%
LATITUD:	0,354124
LONGITUD:	-78,133984

### 2.3 Materiales

- Termómetro digital laser
  - Rango de Temperatura: -50°C - 330°C
  - Resolución:  $\pm 1\%$  o  $\pm 1^\circ\text{C}$
  - Radio de distancia: 12:1
  - Resolución: 0,1°C / 0,1°F
- Lactodensímetro Quevenne
  - Escala: 1,015 - 1,040:
  - Resolución: 0,001 g/cm<sup>3</sup>
- Probeta graduada 250 ml
- Copa graduada 5 – 15 ml
- Balanza con resolución 0.1 LanteScale.
  - Escala: 0,1 – 500,0 gr.
  - Resolución: 0,1 gr.
  - Máximo: 500,0 gr.
- Balanza digital con 0,01 LanteScale.
  - Escala: 0,01 – 200,00 gr.
  - Resolución: 0,01 gr.
  - Máximo: 200,00 gr.
- pHmetro digital
  - Rango: 0,0 – 14,0 pH
  - Exactitud:  $\pm 0,1$  pH
  - Resolución: 0,1 pH
  - Compensación automática de temperatura.
  - Temperatura de operación: 0 – 50 °C
- Recipientes de 4 litros.
- Coladera de malla fina
- Ingredientes: Leche (entera), cloruro de calcio (en polvo), cuajo (en polvo), cloruro de sodio.
- Cocina

- Refrigerador
- Instrumentos de cocina varios

## 2.4 Métodos

El método de realización del queso fresco fue de acuerdo a la norma NTE INEN 1528:2012 General para queso fresco. Asimismo, se recreó las condiciones de densidad en la leche al ser adulterada por adición de agua, simulando el problema enfrentado por las microempresas.

El método de degustación se basó en el propuesto por Haydée, Aranibar, & Cañamer, (2005) el cual establece los descriptores y una escala que permite evaluar de forma representativa las variables de carácter sensorial pasando del criterio “desagradable = 1” hasta “sumamente agradable = 5”. Además de seguir las consideraciones realizadas en Murray, Delahunty, & Blaxter, (2001) que establecen la necesidad de tener un grupo adecuado de panelistas acorde al número de factores de estimación que se desean relacionar y verificar.

El diseño de experimentos se estructuró como un modelo factorial 2x3, siendo los factores de estudio cloruro de calcio, cuajo y cloruro de sodio. Los niveles establecidos fueron para el valor mínimo 0.1 g y máximo 0.3 g, exceptuando el cloruro de sodio que tuvo como valor mínimo 2 g y máximo 7 g.

## 2.5 Población y muestra

Se crearon 44 unidades como parte de la pre-experimentación para delimitar la región experimental aceptable y encontrar las condiciones adecuadas para desarrollar la investigación.

Se estableció una muestra de 32 unidades para trabajar con un modelo factorial completo, libre de estructura de alias, sin bloques, mitigando problemas de resolución experimental. Para las unidades experimentales se adicionó 10% de agua, simulando la adulteración de materia prima y se realizaron las corridas en un trascurso de 8 días.

También se generaron 10 unidades de queso fresco para tener la referencia del modelo en condiciones normales (sin adición de agua) y valorar el rendimiento del modelo.

## 3. Resultados

Tras completar las corridas experimentales y realizar las pruebas de degustación se encontraron los resultados y calificaciones de las pruebas expuestas en la tabla 1.

Orden Corrida	A	B	C	Gramaje	Aspecto (Físico)	Sabor	Olor	VG <sup>42</sup>
1	1	-1	-1	420	40	38	40	40
2	-1	-1	-1	410	41	39	39	39
3	1	1	-1	439	43	40	42	42
4	1	1	1	438	42	42	41	42
5	1	-1	1	422	41	39	41	40
6	1	-1	1	423	40	40	41	41
7	-1	-1	-1	413	42	38	40	40
8	-1	-1	1	412	40	40	40	41
9	-1	-1	-1	412	41	39	39	40
10	-1	1	-1	433	43	40	39	41
11	-1	-1	-1	410	42	40	40	40
12	1	-1	-1	421	40	38	38	40
13	1	-1	1	420	42	40	42	41
14	1	1	-1	439	42	41	38	41
15	-1	1	1	431	45	41	43	43
16	1	1	-1	440	42	41	41	41
17	1	1	1	442	41	43	43	43
18	1	-1	-1	419	39	39	39	39
19	-1	1	-1	430	44	41	40	42
20	-1	1	-1	431	43	40	41	42
21	1	1	-1	441	43	42	39	42
22	-1	1	1	432	44	42	40	42
23	-1	-1	1	409	40	40	41	41
24	-1	1	1	429	45	43	41	43
25	1	1	1	443	42	42	42	42
26	-1	1	1	433	44	42	42	43
27	-1	-1	1	411	39	41	40	40
28	1	1	1	440	43	43	42	43
29	1	-1	-1	418	41	39	39	41
30	-1	1	-1	428	42	41	40	42
31	-1	-1	1	411	41	41	41	42
32	1	-1	1	424	41	39	40	40

Tabla 1.- Resultados de la experimentación con adición de 10% de agua

## 3.1 Variable gramaje

Con los valores obtenidos se analizó el modelo en función del rendimiento del gramaje, consiguiendo los resultados expuestos en la tabla 2.

AJUSTES1	RESII	RESSI	RESZI	AA1	COOK1	EAJTE1	COEF1	EFFE1
419.50	0,50	0,35218	0,34566	0,25	0,005168	0,19957	425,750	*
411,25	-1,25	-0,88045	-0,87618	0,25	0,032300	-0,50586	4,813	9,625
439,75	-0,75	-0,52827	-0,52018	0,25	0,011628	-0,30033	9,812	19,625
440,75	-2,75	-1,93699	-2,06443	0,25	0,156331	-1,19190	0,500	1,000
422,25	-0,25	-0,17609	-0,17249	0,25	0,001292	-0,09959	-0,125	-0,250
422,25	0,75	0,52827	0,52018	0,25	0,011628	0,30033	0,438	0,875
411,25	1,75	1,23263	1,24679	0,25	0,063307	0,71983	-0,062	-0,125
410,75	1,25	0,88045	0,87618	0,25	0,032300	0,50586	-0,375	-0,750
411,25	0,75	0,52827	0,52018	0,25	0,011628	0,30033		
430,50	2,50	1,76090	1,84729	0,25	0,129199	1,06653		
411,25	-1,25	-0,88045	-0,87618	0,25	0,032300	-0,50586		
419,50	1,50	1,05654	1,05922	0,25	0,046512	0,61154		
422,25	-2,25	-1,58481	-1,63961	0,25	0,104651	-0,94663		
439,75	-0,75	-0,52827	-0,52018	0,25	0,011628	-0,30033		
431,25	-0,25	-0,17609	-0,17249	0,25	0,001292	-0,09959		
439,75	0,25	0,17609	0,17249	0,25	0,001292	0,09959		
440,75	1,25	0,88045	0,87618	0,25	0,032300	0,50586		
419,50	-0,50	-0,35218	-0,34566	0,25	0,005168	-0,19957		
430,50	-0,50	-0,35218	-0,34566	0,25	0,005168	-0,19957		
430,50	0,50	0,35218	0,34566	0,25	0,005168	0,19957		
439,75	1,25	0,88045	0,87618	0,25	0,032300	0,50586		
431,25	0,75	0,52827	0,52018	0,25	0,011628	0,30033		
410,75	-1,75	-1,23263	-1,24679	0,25	0,063307	-0,71983		
431,25	-2,25	-1,58481	-1,63961	0,25	0,104651	-0,94663		
440,75	2,25	1,58481	1,63961	0,25	0,104651	0,94663		
431,25	1,75	1,23263	1,24679	0,25	0,063307	0,71983		
410,75	0,25	0,17609	0,17249	0,25	0,001292	0,09959		
440,75	-0,75	-0,52827	-0,52018	0,25	0,011628	-0,30033		
419,50	-1,50	-1,05654	-1,05922	0,25	0,046512	-0,61154		
430,50	-2,50	-1,76090	-1,84729	0,25	0,129199	-1,06653		
410,75	0,25	0,17609	0,17249	0,25	0,001292	0,09959		
422,25	1,75	1,23263	1,24679	0,25	0,063307	0,71983		

Tabla 2.- Resultados del diseño 2x3 para la variable "gramaje"

Para la tabla 2. Los ajustes a los valores junto con los residuos observados (Columna 1 y columna 2) revelan un modelo apropiado sin dispersiones grandes. Los residuos muestran la diferencia entre los valores observados vs los

predichos y revelan el nivel de variación que cubre el modelo.

La columna RESS1 representa los residuos estandarizados o estudentizados, los cuales si sobrepasan los valores +2 o -2 reflejan que existen datos atípicos. Dentro de la columna 3 no se tiene ningún valor con esta característica de estudio. De esta forma se considera que no existe diferencia entre las varianzas de los datos.

La columna RESZ1 muestra los residuos t eliminados de la columna anterior que de la misma forma sirven para identificar valores atípicos considerando la relación entre el residuo eliminado y la desviación estándar estimada.

La columna 5 revela los apalancamientos (AA1). Es decir, la distancia entre el valor para cada observación hasta el promedio de los datos, comprendido entre 0 y 1. El valor para todas las observaciones es de 0,25 por lo que se concluye que no existen observaciones inusuales que desproporcionen el modelo.

Al considerar el residuo estandarizado con los apalancamientos se tiene la distancia de Cook, que revela bajo los criterios de significativo o no, los valores de las observaciones influyentes para un modelo de regresión. Como se observa en la columna 6, las corridas experimentales tienen una similitud con poca variabilidad entre sí.

La columna DFITS denominada EAJTE1 considera la desviación estándar al eliminar una observación y cómo esta variaría para poder determinar si Cook es engañoso, cuando la observación supera el doble de la raíz cuadrada de una relación entre el total de factores y las corridas experimentales. Con el valor 1,0 no se tienen corridas que degeneren el modelo.

Las columnas COEF1 y EFFE1 muestran los coeficientes y los efectos para el modelo.

Del análisis del gramaje se pudo comprender los efectos de los factores estudiados, tal como se muestra en la ilustración 1.

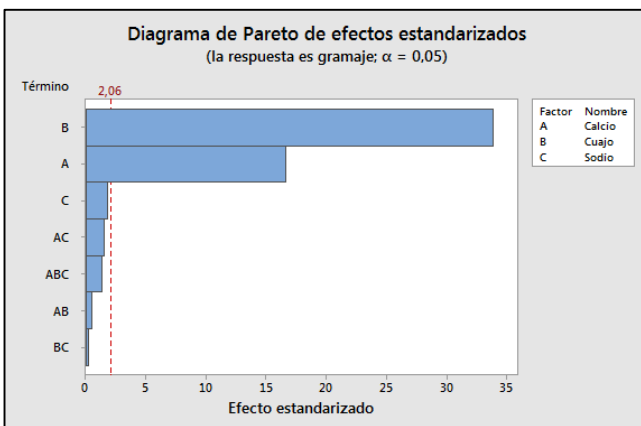


Ilustración 1.- Pareto de efectos estandarizados

El diagrama Pareto revela que los efectos del cuajo (B) y cloruro de calcio (A) son relevantes para el análisis del modelo.

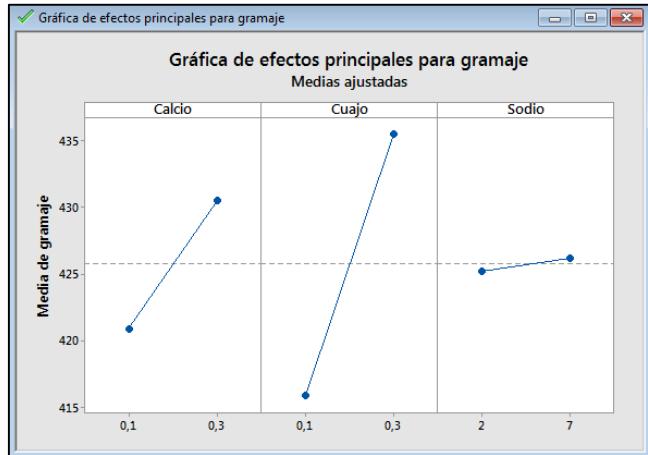


Ilustración 2.- Efectos principales para el gramaje

La gráfica de efectos principales revela que el cloruro de calcio y cuajo tienen relevancia sobre el gramaje resultante. De estos destaca el cuajo que al aumentar su cantidad provoca un aumento considerable en la respuesta. Así también, se puede observar que el cloruro de sodio no tiene efecto en el resultado.

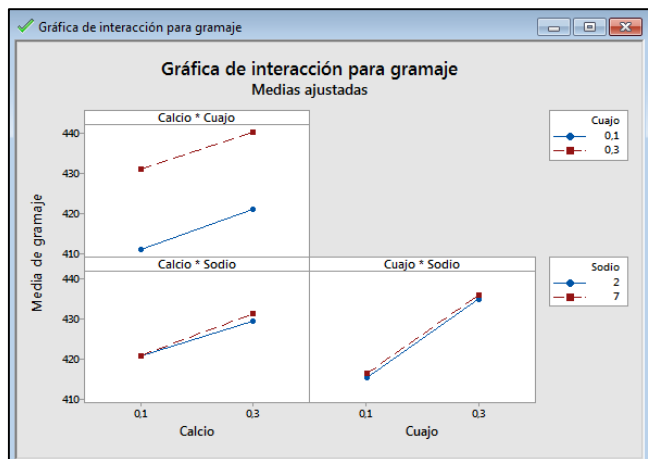


Ilustración 3.- Interacciones para el gramaje

La ilustración 3 en su primer recuadro de calcio\*cuajo, indica que no existe interacción entre factores, sin embargo, el paralelismo refleja que el cloruro de calcio aporta beneficiosamente al aumento de gramaje resultante.

Como resumen del modelo se tiene que el modelo ajustado explica el 98,35% de la variabilidad del gramaje. El error estándar estimado muestra que existe una desviación de los residuos de 1,63. El error medio absoluto es de 114,68, sin embargo, este error es irrelevante en el estudio debido a que la variación en el gramaje resultante no es por fallos en el proceso, sino por cambios realizados en los factores de análisis de forma premeditada que alteraron la variable de respuesta.

Adicionalmente estadístico de Durbin Watson es de 1,56 con P = 0,1288 lo cual indica que no existe autocorrelación serial en los residuos, con un nivel de confianza del 95%. Indicando que la prueba y el modelo seleccionado son correctos.

De los coeficientes codificados se puede establecer los intervalos de confianza para las muestras comunes basadas en una distribución T. El valor V.I.F (Valor de inflación de la varianza) es de 1,00 lo cual indica que es el modelo ortogonal.

Con el modelo establecido se obtuvo la predicción para el rendimiento del gramaje, siendo la ecuación que describe el comportamiento de las variables:

```

*****
Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Gramaje = 399,15 + 29,3 Calcio + 88,3 Cuajo - 0,700 Sodio + 55,0 Calcio*Cuajo
          + 4,75 Calcio*Sodio + 2,75 Cuajo*Sodio - 15,0 Calcio*Cuajo*Sodio

Variable Valor de configuración
Calcio    0,3
Cuajo     0,1
Sodio     2
*****
    
```

Se analizó un factor respecto a otro por el método del camino de máximo ascenso, como se muestra en la tabla 3.

Factor_A	Factor_B	Factor_C	Predicción para
(CALCIO)	(CUAJO)	(SODIO)	GRAMAJE
0,0	0,0	0,0	397,079
1,0	2,86435	0,044642	710,254
2,0	-10,31	-1,29789	-444,592
3,0	-9,32125	-1,31346	-271,23
4,0	-8,33391	-1,29957	-107,871
5,0	-7,34877	-1,25254	45,6843

Tabla 3.- Camino de máximo ascenso

Este cálculo reflejó que el comportamiento de una de las variables estudiadas pudiera ser no lineal.

La optimización de la respuesta a través de una función de deseabilidad, constituyó el modelo:

```

*****
Respuesta Meta Inferior Objetivo Superior Ponderación Importancia
gramaje Máximo 411 441 1 1

Soluciones
Variable Valor de configuración
Calcio 0,3
Cuajo 0,3
Sodio 7

Respuesta Ajuste ajuste EE de IC de 95% IP de 95%
gramaje 440,750 0,820 (439,058; 442,442) (436,967; 444,533)
*****
    
```

Utilizando como datos de entrada el valor mínimo (411) y máximo (441) del modelo ajustado, se tienen tres posibles soluciones con las diferentes combinaciones de los 3 factores de estudio. Donde la primera solución muestra un resultado de 440,750 gramos con una deseabilidad compuesta del 99,17%.

La segunda solución tiene un valor hipotético en el factor Cuajo ya que su medición práctica es poco convencional. No es factible una medición con el nivel de resolución señalado, además de contener el mismo resultado de maximización 440,750 gramos.

La tercera solución mantiene máximos los valores de los factores Calcio y Cuajo sin embargo, se reduce el factor Sodio a 2,01 g, lo cual baja la deseabilidad compuesta del diseño y se obtiene un gramaje de 439,73. El valor de optimización se fija consecuentemente en 440,75 gramos con un error en el ajuste de 0,82.

Los intervalos representan el valor mínimo y máximo de la optimización considerando para la confianza la desviación estándar y para la predicción la incertidumbre. De esta manera el diseño puede aumentar a 437 gramos por unidad de queso fresco producido considerando un escenario poco favorable y 445 gramos en un contexto optimista.

Para encontrar el mejor tratamiento, se efectuó una prueba MCB de HSU, como se observa en la ilustración 4.

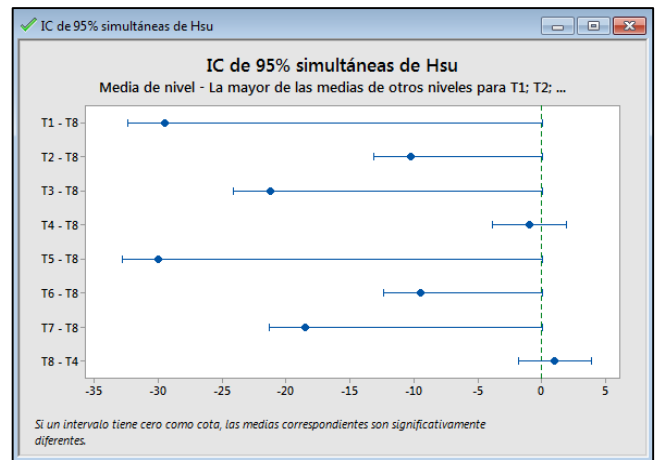


Ilustración 4.- Prueba MCB de Hsu

De la prueba se concluye que los tratamientos T4-T8, T8-T4 presentan diferencias significativas de maximización.

### 3.2 Variable aspecto físico

Los resultados de esta variable se obtuvieron de las calificaciones dadas en la prueba de degustación.

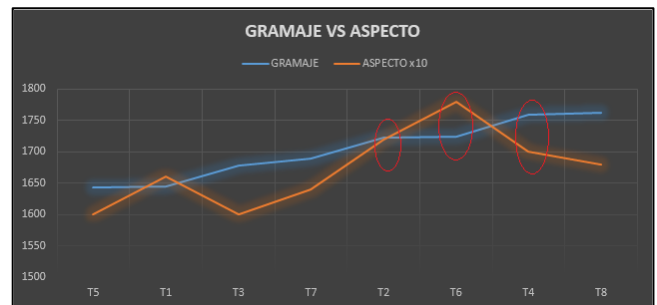


Ilustración 5.- Gramaje vs Aspecto

En la ilustración 5 se puede notar que los tratamientos T5, T1, T3, T7 y T8 no son adecuados si se relacionan estas dos variables, por lo tanto el objeto de análisis se centra en los tratamientos restantes.



Para el tratamiento T6, se observa que la variable aspecto es la mejor puntuada con 178 puntos (x10), no obstante la cantidad obtenida de queso no fue la más idónea si se observan los demás tratamientos.

El tratamiento T2, refleja un valor de 172 puntos (x10) para la variable “aspecto” y 1 722 gramos producidos de queso (tan solo a 6 gramos del tratamiento T6).

Considerando que el tratamiento T4 expresa un alto valor en la cantidad de gramos resultantes de queso y una puntuación de 170 (x10) es también un tratamiento a tener en cuenta como aceptable.

Con los valores de los tratamientos T2, T6 y T4 se pueden establecer los parámetros de optimización.

```
*****
Parámetros
Respuesta Meta Inferior Objetivo Superior Ponderación Importancia
gramaje Máximo 409 443 1 1

Rangos de variables
Variable Valores
Calcio ( 0,1; 0,3 )
Cuajo 0,3
Sodio ( 2; 7 )

Soluciones
Solución Calcio Cuajo Sodio gramaje Deseabilidad
1 0,3 0,3 7 440,750 0,933824
2 0,3 0,3 2,03272 439,757 0,904604
3 0,121348 0,3 7 432,264 0,684237

Predicción de respuesta múltiple
Variable Valor de configuración
Calcio 0,3
Cuajo 0,3
Sodio 7

Respuesta Ajuste EE de IC de 95% IP de 95%
gramaje 440,750 0,820 (439,058; 442,442) (436,967; 444,533)
*****
```

Se generaron 3 soluciones iniciales con los parámetros especificados, de las cuales se pueden considerar las óptimas 1 y 2 con un gramaje de 440,750 y 439,757 respectivamente.

El nivel de deseabilidad para la respuesta 1 es del 93,38% y la solución 2 alcanza el 90,46%. Además, se puede notar como la solución 3 deteriora el rango óptimo de respuesta logrando solamente 432,264 gramos de queso fresco bajo una combinación de los factores del 68,43%.

La respuesta optimizada se encontraría por lo tanto en un intervalo de confianza de 439,058 a 442,442 gramos, mientras que el intervalo de probabilidad se ampliaría desde 436,967 hasta 444,533 gramos.

### 3.3 Variable sabor

Los resultados de para esta variable se obtuvieron a partir de la prueba de degustación y para efectuar su análisis se estableció una comparación con la respuesta gramaje, como se detalla en la ilustración 6.

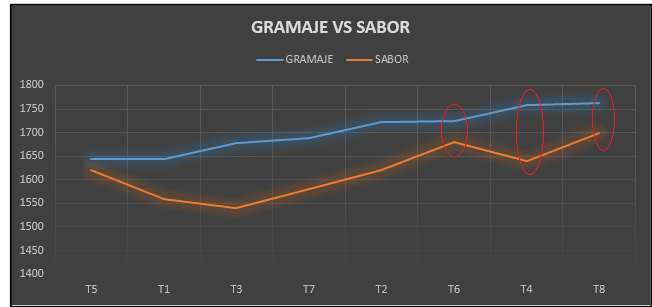


Ilustración 6.- Gramaje vs Sabor

Al relacionar las variables gramaje y sabor se pueden descartar los tratamientos T5, T1, T3, T7 y T2 ya que estos tienen una baja puntuación y asimismo la cantidad obtenida de queso fresco no es la mejor. Por otro lado, los tratamientos T4 y T8 muestran resultados aceptables, siendo T8 el mejor situado con una puntuación de 170 y 1 763 gramos producidos de queso fresco.

El tratamiento T4 evidencia una producción de 1 759 gramos de queso fresco, sin embargo la puntuación lograda para la variable “sabor” consiguió tan solo 164 puntos.

El tratamiento T6 se destaca en la puntuación con 168, quedando a 2 puntos del mejor tratamiento respecto al análisis de la variable “sabor”, no obstante la cantidad resultante de queso solo llegó a 1 725 gramos.

Considerando los mejores tratamientos según la variable “sabor”, la optimización se dio en 440,75 gramos coincidiendo con la expuesta para el aspecto.

### 3.4 Variable Olor

Los resultados para esta variable derivaron de las pruebas de degustación que se muestran en la ilustración 7.

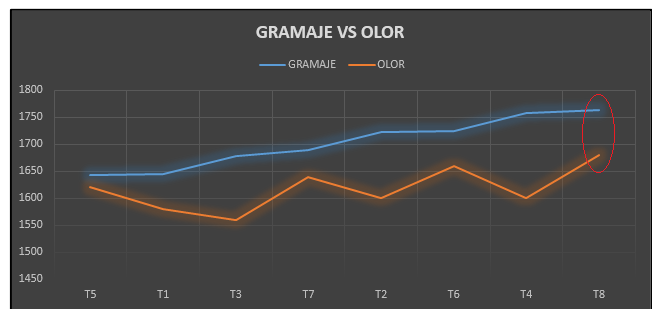


Ilustración 7.- Gramaje vs Olor

En la ilustración 7 se observa como mejor tratamiento a T8, con un nivel de puntuación referente a la variable “olor” de 168 puntos y una cantidad lograda de queso fresco de 1 763 gramos.

Considerando la proximidad de T4 por su gramaje (1 759 g) se podría reflexionar como un valor aceptable, pero la pérdida de 4 puntos (x10) en su valoración del olor, lo descartan como un tratamiento adecuado.

El tratamiento T6 recupera puntuación en la calificación de la variable “olor” dejándolo a tan solo 2

puntos (x10) de la mejor calificación, sin embargo la cantidad de queso lograda respecto a T8 provoca una pérdida de 38 gramos en 4 corridas experimentales.

Los tratamientos T5, T1, T3, T7 y T2 son claramente no aptos tanto en el gramaje resultante como en la relación con la variable “olor”.

La optimización de la respuesta en este caso volvió a coincidir en 440.75 gramos para un prueba bilateral al 95% de confianza.

### 3.5 Variable valoración general

Esta variable refleja la impresión general que se tiene del producto, estos resultados se detallan en la ilustración 8.

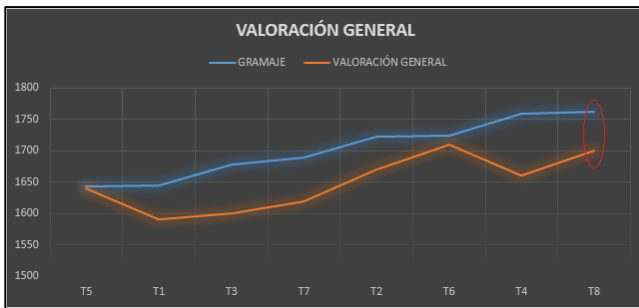


Ilustración 8.- Gramaje vs Valoración General

Según la tendencia en la ilustración 8, se ubica el tratamiento T8 como el mejor puntuado con 170 (x10) y obtuvo un gramaje de 1763 g. Si toma en consideración que la valoración general representa como se concibe desde un contexto global al queso fresco producido, este tratamiento reflejaría la mejor composición experimental.

El tratamiento T4 se aleja en el gramaje 4 gramos, en 4 corridas experimentales, sin embargo, la valoración dada de forma general para este grupo de unidades experimentales decayó 4 puntos (x10), lo cual no es favorable si toma de referencia a T8.

El tratamiento T6 se aproxima en la puntuación de su valoración general, estando 1 punto (x10) por encima del otorgado a T8, no obstante, la cantidad producida de queso se redujo 38 en 4 corridas experimentales, alejando su idoneidad respecto a T8.

Los tratamientos T5, T1, T3, T7 y T2 se alejan del mejor puntuado tanto en el gramaje obtenido como en la calificación dada la variable “valoración general”.

El valor óptimo se encontró en un intervalo de confianza de (439,058 a 442,440) gramos con el nominal de 440,750 g. Esto para un análisis bilateral al 95%. Finalmente se puede afirmar que la respuesta de optimización común entre las variables analizadas es el intervalo de probabilidad 436,967 como límite inferior y 444,533 para el límite superior, cuya magnitud se expresa en gramos de queso fresco.

### 3.6 Validación de los instrumentos de medición

Para garantizar la confiabilidad en los resultados se aplicó una prueba R&R a las balanzas utilizadas en la investigación con unidades estandarizadas en sus dimensiones y peso, para determinar la variabilidad de los instrumentos.

Para la balanza R-01 usada en la medición del gramaje se tuvieron los resultados mostrados en la ilustración 9.

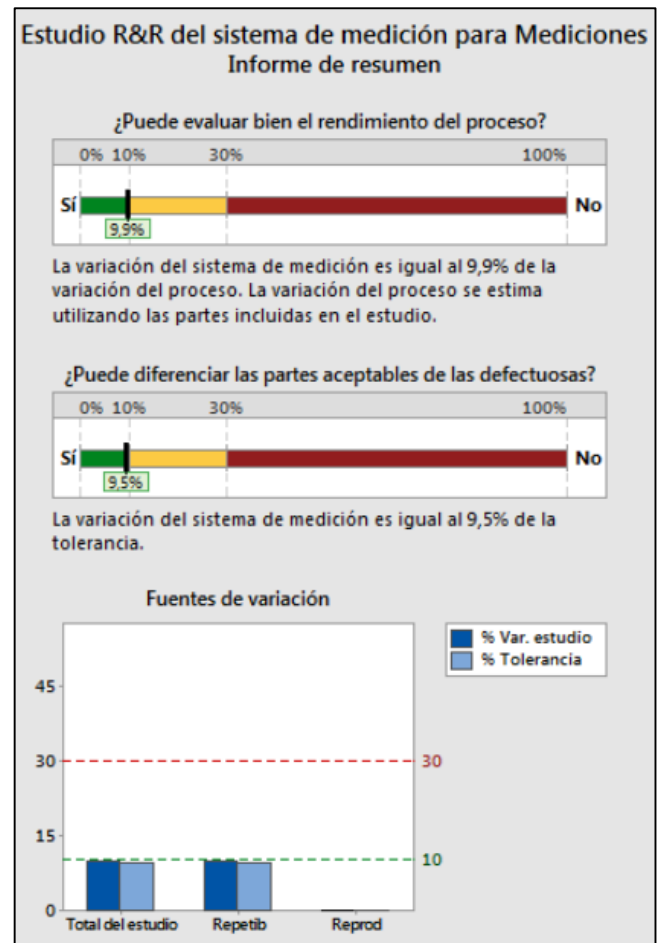


Ilustración 9.- R&R LandScape R-01

Este estudio se realizó con 10 mediciones y dos réplicas para cada parte, donde el rendimiento del sistema fue de 9,9% considerándose aceptable y una resolución de 9.5% que se encuentra dentro del rango admisible.

Para la balanza R-001 usada para medir la dosificación de cloruro de calcio, cuajo y cloruro de sodio se tuvieron los resultados expuestos en la ilustración 10.

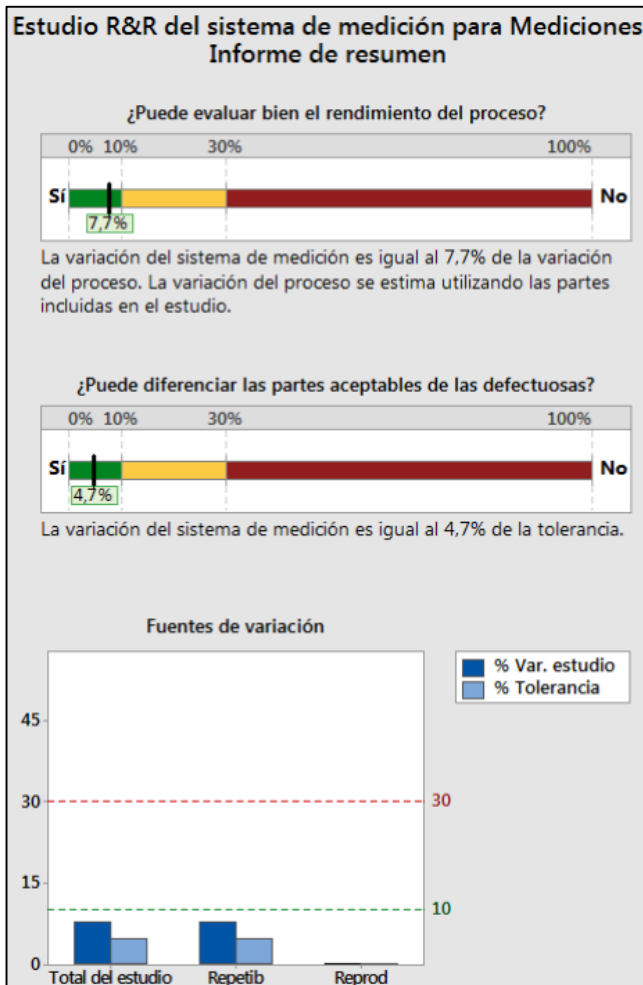


Ilustración 10.- R&R LandScape R-001

En este estudio se encontró un rendimiento de 7,7% considerado aceptable y una resolución de 4,7% apta para aceptar que los datos son verídicos.

### 3.7 Propuesta

Con los resultados de la investigación el estándar que se propuso fue elevar los factores de cloruro de calcio y cuajo para conseguir un mejor rendimiento, si existe adulteración en la leche hasta con un 10% de adición de agua.

Se propuso establecer los valores cercanos a 0,3 gramos para cloruro de calcio y cuajo, y desestimar el uso de altas dosis de cloruro de sodio, ya que como se demuestra en el estudio este factor no es representativo en el rendimiento esperado de queso fresco.

## 4. Conclusiones

▪ Se realizó la pre-experimentación de 44 corridas con diferentes niveles para los factores de modificación, discriminando tratamientos no aptos para su investigación.

Se reveló que, los porcentajes de adulteración en la leche igual o superior al 30% de agregación de agua no son válidos para la elaboración de queso, debido a que la pasta de la cuajada no logra compactarse y al terminar el proceso del prensado cuando se retiraron los moldes, se deshizo de su forma original.

Dentro del 10% adicional de agua en la leche, se consiguió una cuajada consistente que se podía transformar en queso, sin embargo al probar con cantidades superiores a 0,3 gramos para el cloruro de calcio y cuajo el producto final resultó de color amarillo evidente y su sabor completamente amargo, de igual forma el queso presentó anomalías en su estructura física, siendo claramente visible rajaduras y consistencia quebradiza.

▪ En la experimentación se crearon 32 muestras a dos niveles en los factores de estudio, cuyos valores para el nivel mínimo fueron 0,1 gramos tanto para el cloruro de calcio y cantidad de cuajo, y 2 gramos para el cloruro de sodio. Igualmente se tomaron los valores para el valor máximo de 0,3 gramos para el cloruro de calcio y cuajo, y 7 gramos para el cloruro de sodio.

▪ Al analizar los datos conseguidos se reveló que el efecto del factor Cloruro de sodio (C) no era significativo para el aumento o disminución del gramaje de queso fresco.

La cantidad de cuajo demostró tener el efecto más representativo para modificar la cantidad de gramaje resultante y a su vez el cloruro de calcio si contribuye a obtener un mejor rendimiento pero en menor importancia.

▪ La gráfica de efectos principales reveló que los factores significativos tenían pendiente positiva, siendo predominante el cuajo. Además, al comprobar las interacciones entre “cuajo\*calcio” se observó paralelismo por lo que se concluyó que no existía interacción entre factores. No obstante, para dicho paralelismo se apreció una diferencia notable con lo que se concluyó que la adición de cloruro de calcio favorecía positivamente y significativamente al aumento del gramaje esperado.

Esta ausencia de interacción demostró por qué se puede elaborar queso fresco sin la obligación de adicionar cloruro de calcio y se sostiene que la adición de este elemento no es para producir queso, sino para reponer el calcio perdido de la leche en el proceso de pasteurizado mejorando el rendimiento.

▪ Tras comprobar los supuestos estadísticos, se analizó exhaustivamente la variable cuantitativa gramaje y su relación con las variables cualitativas aspecto, sabor, olor y valoración general, llegándose a comprobar que el tratamiento T5 (0,1; 0,1; 7) fue el peor al tener una respuesta de 1 643 gramos y una valoración de 160 puntos para aspecto, 162 para sabor y olor, y 164 en la calificación general. Asimismo se determinó que el mejor tratamiento es el T8 (0,3; 0,3; 7) obtuvo una respuesta de 1763 gramos y una valoración de 168 puntos para aspecto, 168 en olor y 170 para sabor y valoración general.



- La propuesta de regulación de los factores fue dirigida a la alteración en la leche con un máximo de 10% de adición de agua. Sugiriendo elevar los valores para el cloruro de calcio y cuajo a 0,3 gramos y desestimar el uso de cloruro de sodio en el proceso de coagulado.
- Con los valores analizados se pudo demostrar que se puede compensar el problema de adulteración en la leche. Se consiguió elevar el rendimiento del gramaje al 91,75%. Lo cual representa una mejora de 6,61% respecto a la peor condición y 5,12% respecto a las condiciones promedio para elaboración de queso.

## Agradecimientos

A todos, gracias por la confianza.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Alós Peñarocha, I., Sanchis, L. R., & Romero Pérez, J. A. (2009). *Regulación automática: notas de clase*. Madrid - España: Univ Pontificia Comillas.
- [2] Arciniega Herrera, J. M., & Cadena Taramuel, M. C. (2006). DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MADURACIÓN DEL QUESO TIPO CHEDDAR, CON ADICIÓN DE ORÉGANO (oreganum vulgare). Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- [3] ARCSA. (2015). *BDD actualizada a 2015 zona 1*. Ecuador: Agencia La Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria.
- [4] ARCSA-DE-042-2015-GGG. (2015) Norma Técnica Sustitutiva de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos procesados. Ecuador.
- [5] Aristizabal, D. (2007). Quesos Caseros. En D. Aristizabal, *Quesos Caseros* (págs. 17- 18). Argentina: Albatroz.
- [6] Asturias, C. R. (2014). El diseño de experimentos en la docencia y la investigación. *Revista 29 de la Universidad del Valle de Guatemala*, 19.
- [7] Battro, P. (2010). *Quesos artesanales*. Buenos Aires: Albatroz.
- [8] Blaxter, L., Hughes, C., & Tight, M. (2008). *Cómo se investiga*. Barcelona - España: Grao.
- [9] Borbonet, S., & Urrestarazu, P. (2010). *LATU*. Obtenido de <http://www.latu.org.uy/docs/Publicacion-Quesos-Artesanales-12072011.pdf>
- [10] Breyfogle III, F. W. (2003). *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*. Austin, Texas: John Wiley & Sons.
- [11] Brutu, M. (2010). THE IMPROVEMENT OF PROCESSES'QUALITY IN ORGANISATIONS USING THE SIX SIGMA CONCEPT. *Annals of the University of Petrosani, Economics 10.1*, 37-42.
- [12] Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos*. México: McGraw Hill.
- [13] Caro Canales, I. (mayo de 2006). Caracterización fisicoquímica de diversos tipos de quesos elaborados en el valle de Tulancingo con el fin de proponer normas de calidad. España.
- [14] Corcoba, M. P. (2010). *6 Sigma: Un antídoto para la crisis*. Madrid-España: Asociación española para la calidad.
- [15] Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad. *Revista Colombiana de Estadística*, 59-60.
- [16] Grain International Organisation. (06 de Enero de 2012). [www.grain.org](http://www.grain.org). Obtenido de <https://www.grain.org/article/entries/4420-el-gran-robo-de-la-leche-como-es-que-las-corporaciones-le-roban-una-vital-fuente-de-nutricion-y-sustento-a-los-pobres>
- [17] Cronemyr, P. (2007). DMAIC and DMADV-differences, similarities and synergies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage 3.3*, 193-209.
- [18] de Villavicencio Ferrer, M. N. (2002). *Optimización de múltiples respuestas*. Habana - Cuba: Editorial Universitaria.
- [19] Devine, P. G., Hirt, E. R., & Gehrke, E. M. (1990). *Diagnostic and confirmation strategies in trait hypothesis testing*. Estados Unidos: Journal of Personality and Social Psychology.
- [20] Diebold X, F., & Robert S, M. (2012). *Comparing Predictive Accuracy*. Philadelphia: University of Pennsylvania.
- [21] Domínguez Domínguez, J. (2006). Optimización simultánea para la mejora continua y reducción de costos en procesos. *Ingeniería y Ciencia*, 145 - 162.
- [22] Estrada Martínez, M. (2011). *El libro blanco de la leche y los productos lácteos*. México: Canilec.
- [23] Fernández Melcón, C. D., & Piñeiro Barcia, M. (2004). *Superficies de Respuesta Métodos y Diseños*. Santa Fé - Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- [24] Ferré, J., & Rius, X. (2002). Introducción al diseño estadístico de experimentos. *TÉCNICAS DE LABORATORIO-BARCELONA*, 648-653.
- [25] Figueroa, G. (2003). Optimización de una Superficie de Respuesta utilizando JMP IN. *Mosaicos Matemáticos*, 17-23.
- [26] Florian Méndez, A. (04 de 01 de 2016). *Universidad de las Américas Puebla*. Obtenido de [http://caterina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/florian\\_m\\_a/capitulo4.pdf](http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/florian_m_a/capitulo4.pdf)
- [27] Fuentes Fuentes, M. d. (1997). CALIDAD TOTAL VERSUS ISO 9000: DOS ALTERNATIVAS PARA UN MISMO OBJETIVO. *I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía: Andalucía en el umbral del siglo XXI* (págs. 206-272). Jerez - España: Universidad de Granada.
- [28] Galván Romo, J. L. (2005). Últimos avances en la gestión de paneles organolépticos de los productos lácteos. *Revista Mensual de las Industrias Lácteas Españolas*, 81 - 87.
- [29] García Villalpando, J. A., Castillo Morales, A., Ramírez gúzman, M. E., Rendón Sánchez, G., & Larqué Saavedra, M. U. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Dunnett, Dunnett, HSU y Bechoffer para selección de medias. *Agrociencia*, 79-86.
- [30] Garza Villegas, J. B. (2013). Aplicación de diseño de experimentos para el análisis de secado de un producto (Experiment design application for analysis of the drying a product). México: Universidad de Monterrey.
- [31] Gonzáles, E. W. (2010). ¿Después de un análisis de variancia? qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. *Agrociencia Mesoamericana*, 349 - 356.

- [32] González Villareal, M. (18 de 09 de 2002). *Argenbio*. Obtenido de [http://www.argenbio.org/doc/tecnologia\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_queso.pdf](http://www.argenbio.org/doc/tecnologia_para_la_elaboracion_de_queso.pdf)
- [33] Gutiérrez Pulido, H. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.
- [34] Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2009). Control estadístico de calidad y Seis Sigma. México: McGraw-Hill/Interamericana editores S.A. de C.V.
- [35] Haydée, M., Aranibar, G. F., & Cañamer, C. (2005). METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACION SENSORIAL DE QUESOS. *Jornadas de Análisis Sensorial. Tendencias actuales y aplicaciones* (págs. 1-10). Buenos Aires: INTI LÁCTEOS.
- [36] Hendricks, M., Geilen, M., & Basten, T. (2011). Pareto analysis with uncertainty. *IFIP 9th International Conference on* (págs. 189-196). Melbourne, VIC : IEEE.
- [37] Heredia Montenegro, M. I. (2006). APLICACIÓN DE ANTIBIOTICO (BACTERICIDA) PARA ELIMINAR BACTERIAS DEL GRUPO COLI AEROGENES EN LA ELABORACIÓN DE QUESO ANDINO. Riobamba-Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO .
- [38] Herrera, G. (11 de 06 de 2015). Evaluación de los procedimientos generales en la fabricación de quesos. *Revista CEIBA*. Obtenido de EVALUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS GENERALES EN LA FABRICACIÓN DE QUESOS: <http://revistas.zamorano.edu/index.php/CEIBA/article/view/739>
- [39] Hicks, C. R., & Turner, K. V. (1999). *Fundamental concepts in the design of experiments*. NY - Estados Unidos: Oxford University Press.
- [40] Hsu, J. C. (1985). A method of unconstrained multiple comparisons with the best. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 2009-2028.
- [41] Ibañez Castillo, A. (2015). Evaluación del tiempo de cuajado en las características organolépticas del queso fresco. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- [42] Inamhi (03 de agosto de 2015). Información correspondiente al segundo semestre del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología para la zona I Ecuador. Obtenido de [www.serviciometeorologico.gob.ec/](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/)
- [43] INEN 09, N. (2012). *Leche Pasteurizada - Requisitos*. Ecuador: NTE INEN.
- [44] ISO 9000:2005 (ES). Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario. Norma Internacional.
- [45] Keppel, G., & Englewood, C. (1991). *Design and analysis: A researcher's handbook*. NY - Estados Unidos: Prentice-Hall.
- [46] Kuehl, R. (2001). *Diseño de Experimentos*. México: Thomson.
- [47] Lima, J. L., & Masino, S. H. (2008). Manual de detección de fallas de una línea piloto de producción de quesos basado en conocimiento experto. Información Tecnológica.
- [48] Limón, J., Rodríguez, M., Sánchez, J., & Tlapa, D. (2012). Metodología bayesiana para la optimización simultánea de múltiples respuestas. *Información Tecnológica*, 151 - 166.
- [49] Martínez Bencardino, C. (2012). *Estadística y muestreo*. Bogotá: ECOE.
- [50] Mendoza H, B. G. (2002). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Dirección Nacional de Innovación Académica: [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un3/cont\\_317-60.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un3/cont_317-60.html)
- [51] Mike, G., Rowlands, D., & Kastle, B. (2007). *Was ist lean six sigma?* Berlín: Springer-Verlag.
- [52] *Minitab*. (29 de 12 de 2015). Obtenido de Minitab Support: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/doe/factorial-design-plots/normal-and-half-normal-effects-plots/>
- [53] Minitab, Inc. (2014). *Minitab Statistical Software, Versión 17 para Windows*, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc. Porciones de la información de entrada y salida contenida en este trabajo se imprimieron con permiso de Minitab, Inc.
- [54] Molina Hernández, E. (2011). *Análisis sensorial de alimentos*. Madrid: Instituto de Investigación de Ciencias de la Alimentación (CIAL) CSIC UAM.
- [55] Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. New York: Limusa.
- [56] Murray, J. M., Delahunty, C. M., & Blaxter, I. A. (2001). Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food research international. Food research international*, 461 - 471.
- [57] Namakforoosh, M. N. (2005). *Metodología de la investigación*. México: Limusa.
- [58] Navarro Garrido, A. (23 de 06 de 2015). *Cosas de quesos*. Obtenido de <http://cosasdequesos.es/coagulaci%C3%B3n/>
- [59] NTE INEN 0011, N. (1984). Leche - Determinación de la densidad relativa. Ecuador: NTE INEN.
- [60] NTE INEN 010, N. (2012). *LECHE PASTEURIZADA - REQUISITOS*. NORMA INEN.
- [61] NTE INEN 1528. (2012). *Norma General para Queso Fresco*. Ecuador: NTE INEN.
- [62] Ochoa, S. (18 de Enero de 2015). Ganaderos reciben hasta \$ 0,30 por el litro de leche. *El Universo*.
- [63] Orellana, J. J., Kaufman, J. S., & Pino, P. (2013). Interacción sinergia y antagonismo en estudios prospectivos en epidemiología. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*, 687 - 690.
- [64] Orozco, M. (2015). Un tercio de la producción láctea se dedica al queso. *Líderes*.
- [65] Pérez Villa, P. E., & Múnera Vásquez, F. N. (2007). *Reflexiones para implementar un sistema de gestión de la calidad (ISO-9001:2000)*. Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia.
- [66] Pernejer, T. V. (1998). What's wrong with Bonferroni adjustments. *BMJ*, 1236-1238.
- [67] Poncellet. (06 de 11 de 2015). *Enciclopedia del queso*. Obtenido de <http://www.poncellet.es/enciclopedia-del-queso/elaboracion.html>
- [68] Powell, T. C. (1995). Total quality management as competitive advantage: a review and empirical study. *Strategic management journal*, 15-37.
- [69] Ramirez Guerra, E. (2010). *Filtrado de la leche*. España: Patrimonio inmaterial de Andalucía.
- [70] Rueda, J. A. (02 de 06 de 2015). *Unalmed*. Obtenido de <http://www.unalmed.edu.co/~jarueda/PDE.pdf>
- [71] Sigcho Velóz, N. (2013). Reingeniería de los procesos para la elaboración artesanal de quesos semimaduros, aplicando técnicas de seguridad alimentaria. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- [72] Sokovic, M., Pavletic, D., & Pipan, K. (2010). Quality improvement methodologies—PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43(1), 476-483.
- [73] Suárez, M. (2012). Interaprendizaje de Probabilidades y Estadística Inferencial con Excel, Winstats y Graph. Ibarra: Offset M & V.
- [74] Tadikamalla, P. R. (1994). The confusion over six-sigma quality. *Quality Progress*, 83.

- [75] Tamayo, I. M. (2003). Análisis de la varianza con SPPS. En I. M. Tamayo, *Análisis de la varianza con SPPS*.
- [76] Tamayo, M. (2001 - 2003). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- [77] Tanco, M., & Viles, E. (2008). Metodología para la aplicación del diseño de experimentos (DoE) en la industria. San Sebastián - España: Universidad de Navarra.
- [78] Tanco, M., Viles, E., & Pozueta, L. (2009). Diferentes enfoques del diseño de experimentos. *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica* 7, 29-37.
- [79] Tornadajo, M. E., Marra, A., García Fontán, M. C., Prieto, B., & Carballo, J. (1998). La calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química milk quality for cheese production: chemical quality a calidade da leite destinada á fabricación de queixo: calidade química. *CYTA-Journal of Food*, 79 - 91.
- [80] Torres Vaca, A. M., & Gudiño Sono, H. F. (2008). Evaluación del tiempo de prensado y tiempo de maduración en queso semimaduro tipo cheddar. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- [81] Vicente, M. L., Girón, P., Nieto, C., & Pérez, T. (2005). *Diseño de Experimentos*. México: Pearson Prentice Hall.
- [82] Walpole, R., & Myers, R. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería en ciencias. México: Pearson.
- [83] Walton, M. (1988). *The Deming management method*. New York: Penguin.
- [84] Wu, Y., & Wu, A. (1997). *Diseño robusto utilizando los métodos Taguchi*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

## Sobre el Autor

**Christian Rosero** nació el 13 de diciembre de 1988, realizó los estudios secundarios en el Colegio Universitario UTN y los estudios superiores en la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra – Ecuador.