



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL.

TEMA:

“ESTANDARIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL QUESO FRESCO A  
TRAVÉS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL SECTOR  
LÁCTEO DE IMBABURA”

AUTOR: CHRISTIAN ARMANDO ROSERO FLORES

DIRECTOR: ING. EDWIN PATRICIO ORTEGA MONTENEGRO MSC.

Ibarra – Ecuador

2016



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO    |  |                 |            |
|----------------------|--|-----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 0401627971   |                 |            |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | ROSERO FLORES CHRISTIAN ARMANDO                                |                 |            |
| DIRECCIÓN:           | COTACACHI 1-36 Y NICOLÁS HIDALGO                               |                 |            |
| EMAIL:               | <a href="mailto:caroserof@utn.edu.ec">caroserof@utn.edu.ec</a> |                 |            |
| TELÉFONO FIJO:       | 062602132  | TELÉFONO MÓVIL: | 0980659214 |

| DATOS DE LA OBRA            |   |
|-----------------------------|---|
| TÍTULO:                     | Estandarización de la calidad del queso fresco a través del diseño experimental para el sector lácteo de Imbabura |
| AUTOR:                      | CHRISTIAN ARMANDO ROSERO FLORES   |
| FECHA:                      | 2016-02-23  |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO |   |
| PROGRAMA:                   | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO                                    |
| TITULO POR EL QUE OPTA:     | INGENIERO INDUSTRIAL  |
| ASESOR /DIRECTOR:           | ING. EDWIN PATRICIO ORTEGA MONTENEGRO MSC.  |
|                             |   |

#### 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD


Yo, Christian Armando Rosero Flores, con cédula de identidad Nro. 0401627971, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

### 3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero de 2016

#### EL AUTOR:

(Firma)   
Nombre: Christian Armando Rosero Flores



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Christian Armando Rosero Flores, con cédula de identidad Nro. 0401627971, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: ESTANDARIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL QUESO FRESCO A TRAVÉS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL SECTOR LÁCTEO DE IMBABURA, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero de 2016

(Firma)

Nombre: Christian Armando Rosero Flores  
Cédula: 0401627971

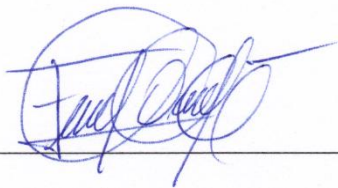
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN

Ing. Edwin Patricio Ortega Montenegro Director de la Tesis de Grado desarrollada por el señor estudiante Christian Armando Rosero Flores.

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Tesis de grado titulado “Estandarización de la calidad del queso fresco a través del diseño experimental para el sector lácteo de Imbabura”, ha sido realizado en su totalidad por el señor estudiante Christian Armando Rosero Flores bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniero Industrial. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Industrial, autoriza su presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.



Ing. Edwin Patricio Ortega Montenegro MSc.  
DIRECTOR DE TESIS

## DEDICATORIA

A mio fratello Rodrigo.

Tua forza sarà sempre presente.

Y a quienes no tuvieron la oportunidad de estudiar. A ese tipo que quizás estoy ocupando su lugar y es mejor que yo, pero la inequidad le privó de tener un lápiz y un cuaderno.

*Christian Armando Rosero Flores*

Ibarra – Ecuador 2016

## AGRADECIMIENTOS



*A quien lo lea:*

En el camino del conocimiento encontrarás personas que son esclavos del sistema, temen defender la justicia, porque defender la verdad en ocasiones implica irse en contra de quienes los mandan, los gobiernan, los dominan. Atrévete a ser valiente, a pensar diferente, nunca aceptes vender tu vos. Te dirán con el tiempo este es el método, así debes hacer esto o aquello, te enseñarán a repetir lo que ellos aprendieron y de la forma que lo hicieron, y pretenderán convertirte en tan solo una pieza más de una máquina sin pensamiento. Los verás convencidos de tener toda la razón lógica. Te calificarán, te seleccionarán, te dirán qué tan bueno eres y te instruirán para conseguir las mejores notas. Tus jefes acogerán el mismo sistema y es que así aprendieron, te capacitarán y te llevarán a ser lo bastante bueno para cumplir tu trabajo y sin embargo, no lo suficiente como para cuestionar lo que estás haciendo. Pero mira hacia atrás, recuerda a quienes conociste, te darás cuenta entonces que encontraste a personas más valiosas y que quizás apenas entendían la matemática básica o duramente lograban llenar un cheque, y estos eran más racionales que aquellos que pretendían enseñarte en un aula. Recuerda, hay personas que son como las olas del mar, están continuamente cambiando de posición de acuerdo a la conveniencia, los verás del lado de los empleados y del de los directivos, los mirarás apoyar una clase y luego ser el mandilón del profesor. Por favor jamás vendas tu vos, tu integridad, tu libertad de pensar y decidir en favor de la justicia, no abandones lo que al ser humano lo hace perenne en el universo, la capacidad de crear algo nuevo. Y nunca lo lograrás si repites lo que otros ya hicieron.

Gracias por leer esto.

*Christian Armando Rosero Flores.*

***La convicción es un lujo,  
De quienes sólo contemplan.***

William Parcher.  
"A Beautiful mind"



# ÍNDICE

|  |       |
|--|-------|
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN -----                | II    |
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO ----- | IV    |
| CERTIFICACIÓN -----                                    | V     |
| DEDICATORIA -----                                      | VI    |
| AGRADECIMIENTOS -----                                  | VII   |
| ÍNDICE -----   | IX    |
| ÍNDICE DE TABLAS -----                                 | XIV   |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES -----                          | XVI   |
| RESUMEN -----  | XVIII |
| ABSTRACT -----   | XIX   |
| CAPÍTULO 1 -----                                       | 1     |
| 1. GENERALIDADES -----                                 | 1     |
| 1.1. Introducción -----                                | 1     |
| 1.2. Problema -----                                    | 2     |
| 1.3. Justificación -----                               | 3     |
| 1.4. Objetivos -----                                   | 5     |
| 1.4.1. Objetivo General -----                          | 5     |
| 1.4.2. Objetivos específicos -----                     | 5     |
| 1.5. Alcance -----                                     | 5     |
| CAPÍTULO 2 -----                                       | 6     |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CIENTÍFICOS -----            | 6     |
| 2.1. Reseña histórica del queso -----                  | 6     |
| 2.2. Leche -----                                       | 6     |
| 2.2.1. Características físicas de la leche -----       | 7     |
| 2.2.2. Características químicas de la leche -----      | 8     |
| 2.2.3. Características de la leche pasteurizada -----  | 8     |
| 2.3. Queso Fresco -----                                | 9     |
| 2.3.1. Elaboración del queso fresco -----              | 10    |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.3.2.   | Recepción de materia prima -----                           | 11 |
| 2.3.3.   | Filtrado-----  | 11 |
| 2.3.4.   | Pasteurización -----                                       | 11 |
| 2.3.5.   | Coagulación-----   | 12 |
| 2.3.6.   | Componentes utilizados en el coagulado-----                | 12 |
| 2.3.7.   | Importancia del pH en el coagulado-----                    | 12 |
| 2.3.8.   | Corte-----   | 13 |
| 2.3.9.   | Primera agitación -----                                    | 13 |
| 2.3.10.  | Lavado -----   | 13 |
| 2.3.11.  | Segunda agitación-----                                     | 13 |
| 2.3.12.  | Desuerado total -----                                      | 13 |
| 2.3.13.  | Moldeo -----   | 14 |
| 2.3.14.  | Prensado -----   | 14 |
| 2.3.15.  | Salado -----   | 14 |
| 2.3.16.  | Almacenamiento -----                                       | 15 |
| 2.4.     | Diseño de experimentos -----                               | 15 |
| 2.4.1.   | Probabilidad-----  | 17 |
| 2.4.2.   | Hipótesis-----   | 17 |
| 2.4.3.   | Experimento -----  | 18 |
| 2.4.4.   | Unidad experimental -----                                  | 18 |
| 2.5.     | Clasificación de los diseños experimentales-----           | 18 |
| 2.5.1.   | Diseños con un solo factor (análisis de la varianza) ----- | 19 |
| 2.5.2.   | Diseños factoriales-----                                   | 22 |
| 2.5.2.1. | Diseños 2 <sup>2</sup> -----                               | 23 |
| 2.5.2.2. | Diseños 2 <sup>3</sup> -----                               | 25 |
| 2.5.2.3. | Otros tipos de diseños experimentales -----                | 28 |
| 2.6.     | Constitución del DoE factorial -----                       | 29 |
| 2.6.1.   | Muestra y resolución -----                                 | 29 |
| 2.6.2.   | Evaluación del modelo-----                                 | 30 |
| 2.6.3.   | Optimización-----  | 32 |
| 2.7.     | Pruebas de significancia -----                             | 34 |
| 2.7.1.   | Prueba de Dunnett -----                                    | 34 |
| 2.7.2.   | Prueba de Tukey -----                                      | 35 |
| 2.7.3.   | Prueba LSD de Fisher-----                                  | 35 |
| 2.7.4.   | Prueba MCB de HSU -----                                    | 36 |
| 2.7.5.   | Prueba de Duncan-----                                      | 36 |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| 2.7.6.          | Método de Bonferroni-----                                   | 36 |
| 2.8.            | Criterios de la Calidad -----                               | 36 |
| 2.8.1.          | Calidad mundial vs Calidad total -----                      | 37 |
| 2.8.2.          | El Diseño de experimentos en Six Sigma -----                | 38 |
| 2.8.3.          | PHVA -----  | 39 |
| CAPÍTULO 3----- |   | 40 |
| 3.              | DELIMITACIÓN DE VARIABLES -----                             | 40 |
| 3.1.            | VARIABLES DE ENTRADA-----                                   | 41 |
| 3.1.1.          | Determinación de la densidad -----                          | 41 |
| 3.2.            | VARIABLES DE ESTUDIO -----                                  | 42 |
| 3.3.            | VARIABLES CRÍTICAS DE CALIDAD -----                         | 44 |
| 3.4.            | PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS -----                            | 44 |
| 3.4.1.          | Hipótesis nula-----   | 44 |
| 3.4.2.          | Hipótesis alternativa-----                                  | 44 |
| CAPÍTULO 4----- |   | 45 |
| 4.              | EXPERIMENTACIÓN-----  | 45 |
| 4.1.            | Modelo -----  | 45 |
| 4.1.1.          | Localización -----  | 45 |
| 4.1.2.          | Materiales -----  | 46 |
| 4.1.3.          | Método -----  | 47 |
| 4.2.            | Metodología de la experimentación -----                     | 48 |
| 4.2.1.          | Fase Planear-----   | 48 |
| 4.2.1.1.        | Niveles -----   | 48 |
| 4.2.1.2.        | Población y muestra -----                                   | 48 |
| 4.2.1.3.        | Aleatorización y tiempo de experimentación-----             | 53 |
| 4.2.2.          | Fase Hacer-----   | 55 |
| 4.2.2.1.        | Pre-experimentación -----                                   | 56 |
| 4.2.2.2.        | Experimentación -----                                       | 59 |
| 4.3.            | Presentación y análisis de resultados (Fase Verificar)----- | 63 |
| 4.3.1.          | Variable Gramaje -----                                      | 63 |
| 4.3.1.1.        | Tabla de resultados -----                                   | 64 |
| 4.3.1.2.        | Discriminación de efectos-----                              | 65 |
| 4.3.1.2.1.      | Efectos estandarizados -----                                | 65 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 4.3.1.2.2. | Efectos normales absolutos estandarizados -----  | 66  |
| 4.3.1.3.   | Análisis de efectos -----                        | 67  |
| 4.3.1.3.1. | Efectos principales -----                        | 67  |
| 4.3.1.3.2. | Interacción de efectos -----                     | 68  |
| 4.3.1.3.3. | Efectos para medias ajustadas -----              | 69  |
| 4.3.1.4.   | Verificación de supuestos -----                  | 70  |
| 4.3.1.4.1. | Prueba de normalidad -----                       | 70  |
| 4.3.1.4.2. | Prueba de igualdad de varianzas -----            | 71  |
| 4.3.1.4.3. | Prueba de independencia -----                    | 72  |
| 4.3.1.5.   | Análisis del gramaje -----                       | 73  |
| 4.3.1.5.1. | Análisis de la varianza -----                    | 73  |
| 4.3.1.5.2. | Resumen del modelo -----                         | 73  |
| 4.3.1.5.3. | Coefficientes codificados -----                  | 74  |
| 4.3.1.5.4. | Predicción -----                                 | 75  |
| 4.3.1.5.5. | Camino de Máximo Ascenso -----                   | 76  |
| 4.3.1.5.6. | Optimización de la respuesta -----               | 77  |
| 4.3.1.5.7. | Significancia de la prueba -----                 | 78  |
| 4.3.2.     | Variable Aspecto físico -----                    | 82  |
| 4.3.2.1.1. | Resultados -----                                 | 82  |
| 4.3.2.1.2. | Gramaje vs Aspecto -----                         | 85  |
| 4.3.2.1.3. | Optimización -----                               | 86  |
| 4.3.3.     | Variable Sabor -----                             | 88  |
| 4.3.3.1.   | Resultados -----                                 | 88  |
| 4.3.3.2.   | Gramaje vs Sabor -----                           | 91  |
| 4.3.3.3.   | Optimización -----                               | 92  |
| 4.3.4.     | Variable Olor -----                              | 94  |
| 4.3.4.1.   | Resultados -----                                 | 94  |
| 4.3.4.2.   | Gramaje vs Olor -----                            | 96  |
| 4.3.4.3.   | Optimización -----                               | 98  |
| 4.3.5.     | Variable Valoración General -----                | 99  |
| 4.3.5.1.   | Resultados -----                                 | 99  |
| 4.3.5.2.   | Gramaje vs Valoración General -----              | 101 |
| 4.3.5.3.   | Optimización -----                               | 103 |
| 4.4.       | Validación de los instrumentos de medición ----- | 104 |
| 4.4.1.     | Balanza LandScape R-01 -----                     | 104 |
| 4.4.2.     | Balanza de precisión LandScape R-001 -----       | 106 |

|   |     |
|---|-----|
| CAPÍTULO 5-----   | 110 |
| 5. PROPUESTA Y ESTANDARIZACIÓN (FASE ACTUAR)-----                         | 110 |
| CONCLUSIONES-----   | 113 |
| RECOMENDACIONES-----  | 115 |
| BIBLIOGRAFÍA-----   | 116 |
| ANEXOS-----   | 123 |
| Anexo A.- Proceso de elaboración del queso fresco-----                    | 123 |
| Anexo B.- Instructivo de degustación y evaluación para participantes----- | 125 |
| Anexo C.- Principales muestras resultantes de las corridas-----           | 131 |
| Anexo D.- Degustación-----  | 132 |
| Anexo E.- Costos de la investigación-----                                 | 133 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.-</b> Composición de la leche .....   | 7  |
| <b>Tabla 2.-</b> Características físicas de la leche .....                                 | 7  |
| <b>Tabla 3.-</b> Características químicas de la leche.....                                 | 8  |
| <b>Tabla 4.-</b> Requisitos de la leche entera pasteurizada .....                          | 9  |
| <b>Tabla 5.-</b> Modelo DCA balanceado .....   | 19 |
| <b>Tabla 6.-</b> Modelo DCA desbalanceado.....   | 19 |
| <b>Tabla 7.-</b> Modelo DCA .....  | 21 |
| <b>Tabla 8.-</b> Tabla ANOVA para un sólo factor .....                                     | 21 |
| <b>Tabla 9.-</b> Valores críticos para ANOVA un sólo factor .....                          | 21 |
| <b>Tabla 10.-</b> Notaciones para diseños 2x2 .....  | 23 |
| <b>Tabla 11.-</b> Efectos y Contrastes .....   | 24 |
| <b>Tabla 12.-</b> Tabla ANOVA diseño 2x2.....  | 25 |
| <b>Tabla 13.-</b> Tipos de diseños experimentales.....                                     | 28 |
| <b>Tabla 14.-</b> Resolución del modelo .....  | 29 |
| <b>Tabla 15.-</b> Tabla de herramientas comunes en el DOE factorial .....                  | 32 |
| <b>Tabla 16.-</b> Selección de variables de estudio.....                                   | 43 |
| <b>Tabla 17.-</b> Variables críticas de calidad.....                                       | 44 |
| <b>Tabla 18.-</b> Niveles de los factores de experimentación .....                         | 48 |
| <b>Tabla 19.-</b> Tabla de diseño sin aleatorizar .....                                    | 52 |
| <b>Tabla 20.-</b> Diseño factorial completo aleatorizado con puntos centrales .....        | 55 |
| <b>Tabla 21.-</b> Porcentaje de agua en la pre-experimentación .....                       | 56 |
| <b>Tabla 22.-</b> Niveles aleatorizados de pre-experimentación.....                        | 57 |
| <b>Tabla 23.-</b> Gramaje resultante con densidad normal (sin alteración en la leche)..... | 58 |
| <b>Tabla 24.-</b> Diseño de análisis aleatorizado .....                                    | 60 |
| <b>Tabla 25.-</b> Densidad con aumento de 10% de agua.....                                 | 60 |
| <b>Tabla 26.-</b> Resultados de la experimentación con aumento al 10% de agua.....         | 62 |
| <b>Tabla 27.-</b> Cantidad de gramaje por unidad experimental.....                         | 63 |
| <b>Tabla 28.-</b> Resultados del diseño 2x3 para la variable "gramaje" .....               | 64 |
| <b>Tabla 29.-</b> Resultados Estimados para la variable "gramaje" .....                    | 76 |
| <b>Tabla 30.-</b> Valores de Máximo ascenso.....   | 76 |
| <b>Tabla 31.-</b> Valoración de la variable "Aspecto" .....                                | 82 |
| <b>Tabla 32.-</b> Valoración de la variable "Aspecto" por tratamiento.....                 | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 33.-</b> Relación entre las variables "Gramaje" y "Aspecto" .....             | 85  |
| <b>Tabla 34.-</b> Parámetros de optimización .....                                     | 86  |
| <b>Tabla 35.-</b> Valoración de la variable "Sabor" .....                              | 89  |
| <b>Tabla 36.-</b> Valoración de la variable "Sabor" por tratamiento .....              | 90  |
| <b>Tabla 37.-</b> Relación de las variables "Gramaje" y "Sabor" .....                  | 91  |
| <b>Tabla 38.-</b> Parámetros de optimización .....                                     | 93  |
| <b>Tabla 39.-</b> Valoración de la variable "Olor" .....                               | 94  |
| <b>Tabla 40.-</b> Valoración de la variable "Olor" por tratamiento .....               | 95  |
| <b>Tabla 41.-</b> Relación entre las variables "Gramaje" y "Olor" .....                | 96  |
| <b>Tabla 42.-</b> Parámetros de optimización .....                                     | 98  |
| <b>Tabla 43.-</b> Valoración de la variable "Valoración General" .....                 | 99  |
| <b>Tabla 44.-</b> Valoración de la variable "Valoración General" por tratamiento ..... | 100 |
| <b>Tabla 45.-</b> Relación entre las variables "Gramaje" y "Valoración General" .....  | 102 |
| <b>Tabla 46.-</b> Resumen del modelo para el gramaje .....                             | 110 |
| <b>Tabla 47.-</b> Rendimiento del gramaje .....  | 111 |
| <b>Tabla 48.-</b> Costos de la investigación .....                                     | 133 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 1.-</b> Flujograma para la elaboración de queso fresco-----                   | 10 |
| <b>Ilustración 2.-</b> Diseños factoriales-----  | 23 |
| <b>Ilustración 3.-</b> Representación geométrica 2x2-----                                    | 24 |
| <b>Ilustración 4.-</b> Interacción en el diseño 2x3-----                                     | 26 |
| <b>Ilustración 5.-</b> Función de deseabilidad para diferentes metas-----                    | 33 |
| <b>Ilustración 6.-</b> Representación de un proceso con la teoría de la caja negra-----      | 41 |
| <b>Ilustración 7.-</b> Diseños y resoluciones para modelos factoriales-----                  | 49 |
| <b>Ilustración 8.-</b> Diseño factorial 2x3 sin interacción ABC-----                         | 50 |
| <b>Ilustración 9.-</b> Caracterización del diseño-----                                       | 52 |
| <b>Ilustración 10.-</b> Pareto para Efectos estandarizados-----                              | 66 |
| <b>Ilustración 11.-</b> Gráfica de efectos normales estandarizados-----                      | 66 |
| <b>Ilustración 12.-</b> Gráfica de efectos principales-----                                  | 67 |
| <b>Ilustración 13.-</b> Gráfica de interacciones-----  | 68 |
| <b>Ilustración 14.-</b> Gráfica de cubos para medias ajustadas-----                          | 69 |
| <b>Ilustración 15.-</b> Gráfica de probabilidad normal-----                                  | 70 |
| <b>Ilustración 16.-</b> Gráfica de probabilidad normal para residuos estudentizados-----     | 71 |
| <b>Ilustración 17.-</b> Residuos vs valores ajustados-----                                   | 71 |
| <b>Ilustración 18.-</b> Residuos vs orden-----   | 72 |
| <b>Ilustración 19.-</b> Función de deseabilidad-----   | 77 |
| <b>Ilustración 20.-</b> Prueba de igualdad de varianzas-----                                 | 79 |
| <b>Ilustración 21.-</b> Intervalos de confianza de la prueba MCB de Hsu-----                 | 81 |
| <b>Ilustración 22.-</b> Valoración de la variable "Aspecto" por corrida experimental-----    | 83 |
| <b>Ilustración 23.-</b> Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Aspecto"----- | 84 |
| <b>Ilustración 24.-</b> Gramaje vs Aspecto-----  | 85 |
| <b>Ilustración 25.-</b> Función de deseabilidad para la variable "Aspecto"-----              | 87 |
| <b>Ilustración 26.-</b> Valoración de la variable "Sabor" por corrida experimental-----      | 89 |
| <b>Ilustración 27.-</b> Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Sabor"-----   | 90 |
| <b>Ilustración 28.-</b> Gramaje vs Sabor-----  | 92 |
| <b>Ilustración 29.-</b> Valoración de la variable "Olor" por corrida experimental-----       | 95 |
| <b>Ilustración 30.-</b> Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Olor"-----    | 96 |
| <b>Ilustración 31.-</b> Gramaje vs Olor-----   | 97 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Ilustración 32.-</b> Valoración de la variable "Valoración General" por corrida experimental<br>----- | 100 |
| <b>Ilustración 33.-</b> Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Valoración General" ----- | 101 |
| <b>Ilustración 34.-</b> Gramaje vs Valoración General -----  | 102 |
| <b>Ilustración 35.-</b> R&R Informe de variación LANDSCAPE R01-----                                      | 105 |
| <b>Ilustración 36.-</b> R&R LANDSCAPE R01 Informe de resumen-----  | 106 |
| <b>Ilustración 37.-</b> R&R LANDSCAPE R001 Informe de variación -----                                    | 108 |
| <b>Ilustración 38.-</b> R&R LANDSCAPE R001 Informe de resumen -----                                      | 109 |
| <b>Ilustración A1.-</b> Materia Prima-----   | 123 |
| <b>Ilustración A2.-</b> Medición de la densidad -----  | 123 |
| <b>Ilustración A3.-</b> Pasteurizado -----   | 123 |
| <b>Ilustración A4.-</b> Enfriado -----   | 123 |
| <b>Ilustración A5.-</b> Coagulado ---  | 124 |
| <b>Ilustración A6.-</b> Corte de la cuajada-----   | 124 |
| <b>Ilustración A7.-</b> Agitación -----  | 124 |
| <b>Ilustración A8.-</b> Desuerado --   | 124 |
| <b>Ilustración A9.-</b> Prensado -----   | 124 |
| <b>Ilustración A10.-</b> Salado ---  | 124 |
| <b>Ilustración C1.-</b> Diferentes pruebas y comportamientos de las unidades experimentales.<br>-----    | 131 |
| <b>Ilustración C2.-</b> Prueba fallida a alto nivel -----  | 131 |
| <b>Ilustración C3.-</b> Prueba fallida a bajo nivel ---  | 131 |
| <b>Ilustración D1.-</b> Grupo de degustación -----   | 132 |
| <b>Ilustración D2.-</b> Pruebas de degustación -----   | 132 |
| <b>Ilustración D3.-</b> Muestras de las unidades-----  | 132 |
| <b>Ilustración D4.-</b> Unidad aislada para evitar contaminación de variables -----                      | 132 |

## 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.

Tras recopilar los fundamentos teóricos necesarios, se desarrolló un diseño de experimentos de tipo factorial a dos niveles (mínimo y máximo) 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 para el correcto análisis del sistema y la metodología PHVA para simplificar su secuencia.

Se fabricaron 44 unidades de queso fresco como parte de la pre-experimentación, 32 unidades para la experimentación y 10 unidades adicionales que sirvieron como referencia para el rendimiento del modelo.

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.

A partir del diseño se pudo deducir que, el cuajo tenía el mayor efecto sobre el gramaje resultante, el cloruro de calcio aporta a mejorar este rendimiento, aunque no interaccionen entre sí, y el efecto del cloruro de sodio resultó irrelevante.

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, cuando existe una adulteración máxima del 10% por adición de agua en la leche, elevando los niveles de cloruro de calcio y cuajo a 0,3 gramos en cada unidad de producción referencial de 480 g.

## 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.

After compiling the theoretical foundations necessary, it developed a design of experiments factorial at two levels (minimum and maximum) for three factors study, recreating the process of making cheese from micro-level laboratory, following the principles of the scientific method for the correct analysis of the system and to simplify PDCA sequence.

Were fabricated, 44 units of fresh cheese as part of the pre-experiment, 32 units for experimentation and an additional 10 units that served as a reference for model performance.

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.

From design got deduce that the rennet had the greatest effect on the resulting weight, calcium chloride contributes to improve this performance, but do not interact with each other, and the effect of sodium chloride was irrelevant.

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.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. 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<sup>1</sup>, 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

---

<sup>1</sup> Información actualizada al segundo semestre del año 2015.

recepción, convirtiendo a las Microempresas en un sector vulnerable de esta práctica (Heredia Montenegro, 2006)

## **1.2. Problema**

La industria de lácteos durante los últimos años ha logrado un amplio crecimiento en el norte del país, constituyéndose como una alternativa, además de la agricultura, para el desarrollo socio-económico de la población. Sin embargo, las empresas aun contando con normativas legales vigentes para la elaboración de queso fresco (NTE INEN 1528, NTE INEN 2 074, CODEX ALIMENTARIUS, entre otras) encuentran dificultad en el manejo y aplicación de éstas, debido a la variabilidad de los factores presentes en el proceso productivo desde la adquisición de la materia prima, por lo cual, satisfacer los requerimientos de calidad que el producto debe cumplir al concluir el proceso de elaboración es un serio inconveniente.

La ausencia de estudios de los factores concernientes con el cumplimiento de los requerimientos de calidad es una necesidad para que las microempresas del sector lácteo pase de un trabajo fundamentado en la experiencia empírica de las empresas a ser consolidado a través de un estudio experimental, que permita conocer y analizar el comportamiento e incidencia de las variables involucradas en el proceso de elaboración del queso fresco. Siendo la presencia de agua en la leche y la compensación a través de las variables involucradas en el proceso de coagulado un motivo de interés.

De forma específica, al existir agua en la leche, se desencadena el incumplimiento de las tolerancias diseñadas en el proceso debido a que este elemento provoca una caída en la densidad, por lo cual las condiciones pretendidas para elaborar un producto satisfactorio estarán fuera de los límites requeridos, incumpliendo la característica principal necesaria para elaborar un producto satisfactorio.

Este escenario, afecta a las variables críticas de calidad valoradas por el cliente como indicadores de satisfacción, siendo estos, el peso, sabor, olor, entre otros.

Si bien se podría considerar la implementación de inspecciones de calidad en la recepción de la materia prima, es necesario aclarar que, aun existiendo dichos controles, las empresas denominadas Microempresas no tienen poder de negociación respecto a los proveedores, debido al volumen de recursos con los que operan. Por lo tanto, se ven obligados a trabajar con dicha adulteración de materia prima, sobrellevado a que las quejas por la calidad de la leche recibida sea una constante en varias organizaciones.

Esta relación de los factores involucrados en el proceso con las características de calidad del producto, establece condiciones que necesitan ser analizadas para que la calidad y la habilidad<sup>2</sup> del proceso correspondan a las exigencias que el consumidor demanda.

La ausencia de un estudio de tales condiciones, conlleva a que las decisiones involucradas con el control estadístico de procesos y mejoramiento de la calidad respecto al queso fresco, tengan cierto grado de incertidumbre y consecuentemente incurran en elevar los costos de la calidad y la mejora continua, además de comprometer la responsabilidad de brindar productos que satisfagan al consumidor y asimismo afectar la competitividad y productividad del sector.

Ante lo expuesto, es necesario efectuar el estudio de las variables de calidad, especialmente el contenido de agua que determinen el comportamiento y consecuentemente el tratamiento que debe darse para cumplir con las expectativas de los consumidores.

### **1.3. Justificación**

Al realizar la propuesta de regulación con base en el diseño experimental, se podrá beneficiar al sector lácteo de la provincia de Imbabura dedicado a la producción de queso fresco, especialmente a las Microempresas, donde es más común encontrar el problema de adulteración de la leche con agua y que tras el estudio permitirá encontrar el adecuado uso de los recursos favoreciendo su productividad y calidad ofertada.

De tal forma, se beneficiará también al consumidor final de queso fresco, puesto que las empresas mejorarán su competitividad basadas en el mejoramiento de la calidad, ofertando un producto idóneo y satisfactorio.

Este estudio también se articula con las expectativas del Plan Nacional del Buen Vivir, específicamente con los objetivos 10,2; 10,4C; 10,5D. En los cuales se expresa:

*“10,2.- Promover la intensidad tecnológica en la producción primaria, de bienes intermedios y finales. Articular la investigación científica, tecnológica y la educación superior con el sector productivo, para una mejora constante de la productividad y*

---

<sup>2</sup> Se entiende como habilidad a la capacidad que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones deseadas dentro su variación natural. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, Control estadístico de Calidad y Seis Sigma, 2009, pág. 100)

*competitividad sistémica, en el marco de las necesidades actuales y futuras del sector productivo y el desarrollo de nuevos conocimientos.”*

*“10,4C.-Impulsar la experimentación local, el desarrollo y acceso al conocimiento, el intercambio de técnicas y tecnologías, la capacidad de innovación social, la sistematización de experiencias e interaprendizaje, para mejorar los procesos productivos, especialmente de la agricultura familiar campesina, de la Economía Popular y Solidaria y las Mipymes en el sector rural.”*

*“10,5D.- Ampliar la capacidad innovadora, fomentar el desarrollo científico y tecnológico, y la capacitación especializada, para mejorar la diversificación y los niveles de inclusión y competitividad.”*

Igualmente, el estudio planteado contribuirá al cumplimiento de la visión propuesta por la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Técnica del Norte, la cual enuncia:

*“Forma Ingenieros competentes, críticos, humanistas, líderes y emprendedores con responsabilidad social; genera, fomenta y ejecuta procesos de investigación, de conocimientos científicos, tecnológicos y de innovación en el sector industrial, en las áreas de diseño, planificación, implementación, innovación, control de los procesos en la producción de bienes y servicios, con criterios de sustentabilidad para contribuir al desarrollo social, económico, cultural y ecológico de la región y el país”.*

La importancia del proyecto radica en el aporte científico a las Microempresas para que consigan direccionar sus esfuerzos a soluciones factibles y reducir el desperdicio de recursos, brindando la oportunidad de mejorar la estabilidad económica y laboral del sector al mejorar su productividad.

El proyecto es pertinente ya que el impacto que generará para el sector lácteo dedicado a la producción de queso fresco es provechoso, como también lo es para la comunidad científica, además de tener un alto grado de contribución a la provincia a nivel económico y social.

El proyecto es viable ya que reproducir el proceso de elaboración del queso fresco es posible y a su vez la delimitación de las variables de estudio permite que se pueda manejar el costo de la investigación dentro de parámetros aceptables.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Analizar el comportamiento de las variables críticas de calidad del queso fresco a través del diseño experimental, para establecer una propuesta de estandarización que permita compensar la baja densidad de la leche.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Establecer los fundamentos teóricos y científicos necesarios para realizar el diseño experimental en el proceso de coagulado que permita evaluar el comportamiento del rendimiento y la calidad del queso fresco.
- Determinar las variables críticas de calidad del queso fresco, a través de su priorización para la optimización y delimitación del estudio planteado.
- Realizar el diseño experimental aplicando la metodología PHVA y seleccionar el método de experimentación aplicable para el proceso de coagulado, que permita obtener datos legibles y un adecuado análisis de los mismos.
- Experimentar y analizar los datos obtenidos, para determinar el comportamiento alcanzado de las variables analizadas.
- Establecer la propuesta de regulación de los factores estudiados que sirva como pauta para readecuar el proceso permitiendo cumplir con los requisitos de calidad de los consumidores de queso fresco.

## **1.5. Alcance**

El estudio se centra en el análisis del rendimiento de las distintas corridas experimentales y la calidad, valorando a nivel sensorial el olor, sabor y aspecto del producto final.

El queso examinado es del tipo fresco recreado a nivel de laboratorio, utilizando leche entera pasteurizada de tratamiento lento (65 °C – 30 min) que garantiza el cumplimiento de las características físico-químicas iguales a la leche ofertada por los proveedores de la provincia, y simulando el porcentaje de adición de agua dado en la materia prima utilizada por las microempresas.



## CAPÍTULO 2

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CIENTÍFICOS

#### 2.1. Reseña histórica del queso

Como los grandes descubrimientos el queso también parecería haber ocurrido por casualidad. Si bien muchas son las versiones existentes respecto a dónde se originó el queso, varias narrativas llevan a creer que se dio en la región arábiga hace unos 6 000 años AC. Cuando los mercaderes luego de negociar con la leche debían llevarla a través del desierto.

Para conseguir transportar la leche se colocaba en odres<sup>3</sup> de cuajares de algún rumiante, que, junto con el calor del verano y el movimiento, se concibió formar el queso en esos recorridos. Este nuevo producto, aunque algo rudimentario sirvió para las tropas militares egipcias en sus largas travesías. Además, es imperioso esclarecer que los primeros quesos fueron a partir de leche de cabra y oveja.

Para Europa, el queso fue un gran recurso de almacenamiento ya que, en el invierno al bajar considerablemente la producción de leche, convertirla en queso era una forma acertada de atesorarla. Aunque en aquella época (medieval) quienes se apoderaron de este conocimiento fueron los monjes. (Battro, 2010)

En Ecuador se desconoce el surgimiento de este producto, pero se cree de igual manera que surgió por necesidad de preservación de la leche.

Para 2015, según los datos de la empresa Fruilatte (Hacienda Chocauco) una familia ecuatoriana destina en promedio 6,5 USD por mes para consumo de queso. Y aunque representa un mercado muy dinámico en la elección del tipo requerido, el principal es el queso fresco con un 81,5% de mercado.

#### 2.2. Leche

La leche es la principal materia prima utilizada para elaborar queso de cualquier tipo. Por la facilidad de adquisición y producción, la más utilizada es de obtenida de vaca.

---

<sup>3</sup> El odre es un recipiente. Comúnmente se recurría a utilizar el estómago de los rumiantes con este fin.

Considerando la susceptibilidad de la composición que presenta este elemento se tienen de forma general las siguientes características tal como se cita en la Tabla 1. (Arciniega Herrera & Cadena Taramuel, 2006)

| <b>Constituyentes (leche de vaca)</b> | <b>Gramos por cada 100 gramos de leche</b> |
|---------------------------------------|--|
| AGUA                                  | 87,6                                       |
| GRASA                                 | 3,8  |
| PROTEÍNA                              | 3,3  |
| PROTEÍNA DE SUERO                     | 0,7  |
| LACTOSA                               | 4,7  |
| CALCIO                                | 0,12                                       |
| SÓLIDOS NO GRASOS                     | 8,7  |
| TOTAL DE SÓLIDOS                      | 12,5                                       |

**Tabla 1.-** Composición de la leche

**Fuente:** (Arciniega Herrera & Cadena Taramuel, 2006)

**Elaborado por:** Christian Rosero.

### 2.2.1. Características físicas de la leche

Según Nasanovsky, tal como se cita en Torres Vaca & Gudiño Sono, (2008) las características físicas más comunes y relevantes de la leche se muestran en la tabla 2.

| <b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (LECHE)</b> | <b>PARÁMETRO</b>  |
|--|---|
| pH                                     | 6,5 – 6,65  |
| Densidad                               | 1,028 – 1,034 g/cm <sup>3</sup> a 15 °C<br>Con variación de 0,0002 g/cm <sup>3</sup> por cada grado de temperatura. |
| Acidez                                 | 0,15% – 0,16%   |
| Viscosidad                             | 1,7 – 2,2 centi-poise   |
| Punto de congelación                   | -0,513 – 0,565 °C   |
| Punto de ebullición                    | 100,17 °C   |

**Tabla 2.-** Características físicas de la leche

**Fuente:** (Torres Vaca & Gudiño Sono, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero.

### 2.2.2. Características químicas de la leche

Las características químicas de la leche según la norma NTE INEN 09: Requisitos -Leche cruda, se pueden apreciar en la tabla 3.

| Requisitos        | Unidad               | MIN  | MAX |
|-------------------|----------------------|------|-----|
| Sólidos totales   | % (fracción de masa) | 11,2 | -   |
| Sólidos no grasos | % (fracción de masa) | 8,2  | -   |
| Cenizas           | % (fracción de masa) | 0,65 | -   |
| Proteínas         | % (fracción de masa) | 2,9  | -   |
| Materia grasa     | % (fracción de masa) | 3,0  | -   |

**Tabla 3.-** Características químicas de la leche

**Fuente:** (INEN 09, 2012) extracto.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

### 2.2.3. Características de la leche pasteurizada

Se denomina leche pasteurizada a la leche que ha recibido tratamiento térmico con el objetivo de eliminar los microorganismos que afecten a la salud del ser humano y que al someterse a este tratamiento no se altere las características fisicoquímicas de la sustancia. (NTE INEN 010, 2012)

Se destaca que las características de la leche pasteurizada en comparación con la leche sin procesar, no es alterada por este tratamiento, a menos que el proceso de pasteurizado haya superado los 71 °C, como suele ser el caso de la leche UHT<sup>4</sup>.

Considerando el uso de la leche pasteurizada dentro de la experimentación para garantizar la inocuidad del producto, se detallan las características comunes expuestas por la norma INEN 010: 2012 en la tabla 4.

---

<sup>4</sup> Ultra High Temperature.

| REQUISITOS LECHE ENTERA PASTEURIZADA           |                      |       |       |
|--|----------------------|-------|-------|
| Requisitos                                     | Unidad               | Min   | Max   |
| Densidad Relativa                              |                      |       |       |
| A 15 °C  | -                    | 1,029 | 1,033 |
| A 20 °C  | -                    | 1,028 | 1,032 |
| Contenido de grasa                             | % (fracción de masa) | 3,0   | -     |
| Sólidos totales                                | % (fracción de masa) | 11,30 | -     |
| Sólidos no grasos                              | % (fracción de masa) | 8,30  | -     |
| Ceniza   | % (fracción de masa) | 0,65  | 0,80  |
| Proteínas                                      | % (fracción de masa) | 2,9   | -     |
| Acidez titulable, expresada como ácido láctico | 0,13                 | 0,18  |       |

**Tabla 4.-** Requisitos de la leche entera pasteurizada

**Fuente:** (NTE INEN 010, 2012)

**Elaborado por:** Christian Rosero

### 2.3. Queso Fresco

Se entiende por queso el producto blando, semiduro, duro y extra duro, madurado o no madurado, y que puede estar recubierto. Por lo tanto, queso fresco es: el queso no madurado, ni escaldado, moldeado, de textura relativamente firme, levemente granular, preparado con leche entera, semidescremada, coagulada con enzimas y/o ácidos orgánicos, generalmente sin cultivos lácticos. También se designa como queso blanco. (NTE INEN 1528, 2012)

La preparación del queso consta de forma básica en tan sólo 2 etapas (González Villareal, 2002):

- Formación del gel (la caseína<sup>5</sup> se forma en gel)

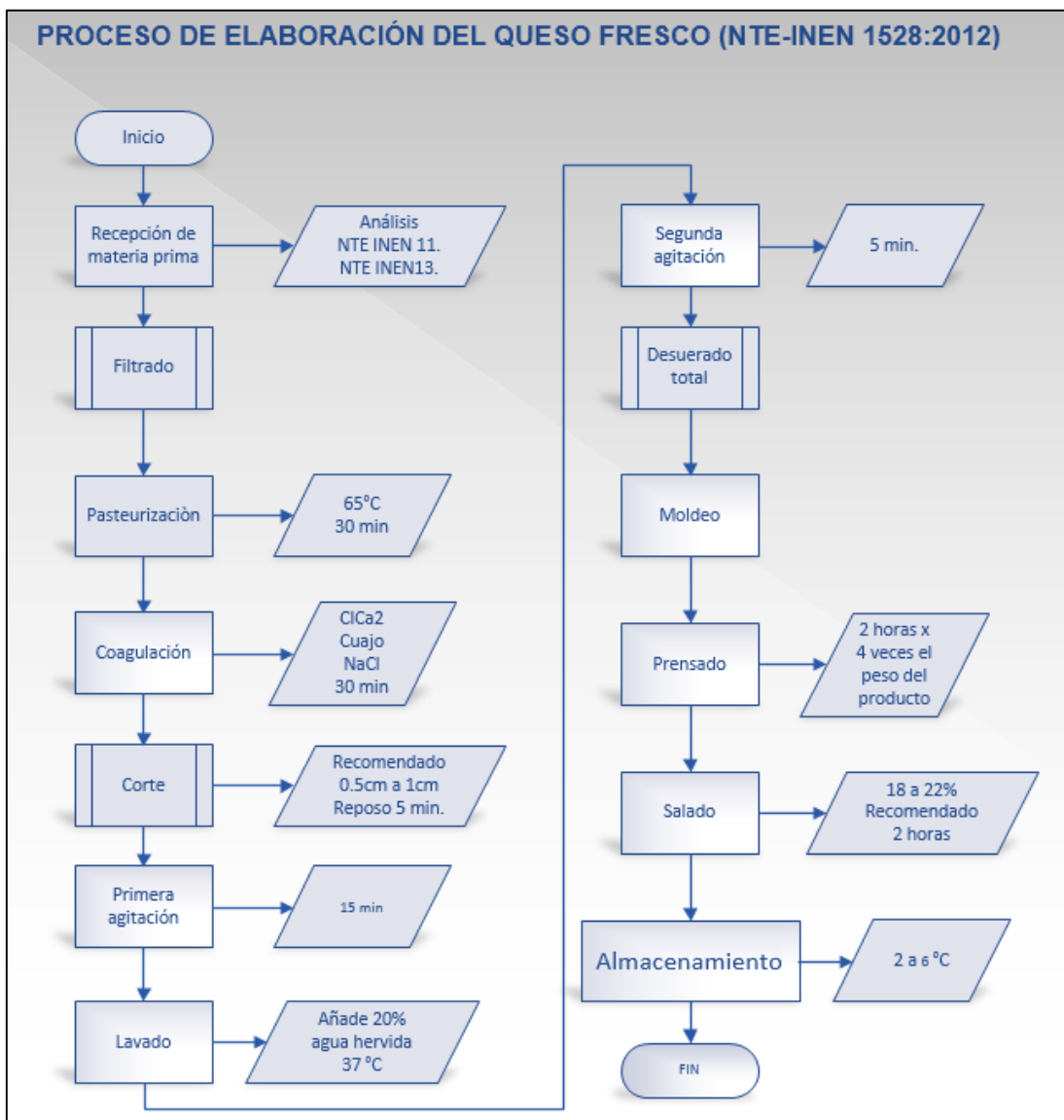
<sup>5</sup> La caseína es la proteína presente en la leche.

- Deshidratación del gel (desuerado)

Este concepto permite entender de forma clara que el queso es el resultado de la transformación de la leche en una sustancia blanda para la cual se necesita extraer el suero sobrante.

### 2.3.1. Elaboración del queso fresco

Para elaborar el queso, por formato legal se debe adoptar la norma NTE INEN 1528:2012 general para queso fresco. Aunque existen consideraciones que en la práctica muestran mejores resultados alterando ligeramente varios parámetros de elaboración de acuerdo a la necesidad, siempre que el Codex Alimentarius y la misma norma lo permitan.



**Ilustración 1.-** Flujograma para la elaboración de queso fresco

**Fuente:** NTE INEN 1528:2012

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Los parámetros que en la práctica suelen modificarse son: el tiempo de coagulación en 40 minutos para asegurar que la cuajada sea lo suficientemente consistente y el corte con la lira a 2cm x 2cm, ya que al agitar se puede romper la cuajada y deshacerse con el suero. (Pre experimentación).

### **2.3.2. Recepción de materia prima**

La recepción de materia prima se considera dentro de las buenas prácticas de manufactura como un punto de control que debe realizarse manteniendo la cadena de frío para evitar que las cepas de microorganismos se desarrollen y hagan que la leche deje de ser apta para el tratamiento de elaboración de queso o en su defecto para consumo.

### **2.3.3. Filtrado**

“Se entiende por filtrado a la separación de impurezas contenidas en la leche.” (Ramirez Guerra, 2010)

En este proceso se hace pasar a la leche a través de un cernidor o tela para reducir las impurezas que son muchas veces visibles a la vista. Comúnmente son partículas sólidas que se adhieren a la leche en el momento del ordeño.

### **2.3.4. Pasteurización**

La pasteurización de leche es el tratamiento térmico (calentamiento) al cual se somete para eliminar microorganismos patógenos<sup>6</sup>. A este proceso se somete la leche denominada cruda la cual se considera así siempre y cuando no haya superado su temperatura natural (40 grados centígrados). (NTE INEN 010, 2012)

La pasteurización es vital para desencadenar un producto adecuado en términos de salubridad. Se considera como base los 65 grados centígrados y 30 minutos, para un pasteurizado lento. Cuando se eleva la temperatura a 72 grados y este tiempo es de 15 segundos se denomina pasteurizado rápido.

Si la temperatura es excesiva se corre el riesgo de adulterar la leche y que por lo tanto no se produzca la coagulación, se le suele decir comúnmente que la leche se cocina. También se considera que la leche pasteurizada ofrece un mejor rendimiento al momento de utilizarse para producir queso ya que goza de mayor uniformidad. (Herrera, 2015)

---

<sup>6</sup> Organismos microscópicos que pueden causar enfermedades.

“Es necesario aclarar que el pasteurizado UHT (Ultra temperatura alta) se efectúa a 138 grados centígrados, sin embargo, el tiempo de exposición de la leche es de tan solo dos segundos.” (Ibañez Castillo, 2015)

### **2.3.5. Coagulación**

La coagulación, consiste en una serie de modificaciones fisicoquímicas de la caseína (proteína mayoritaria de la leche). La leche puede coagularse, bien por acidez que es lo que se entiende como coagulación láctica<sup>7</sup> o por cuajo que se conoce como coagulación enzimática. (Navarro Garrido, 2015)

### **2.3.6. Componentes utilizados en el coagulado**

Dentro la coagulación se utiliza el Cloruro de Calcio, que se lo repone porque al calentar la leche se pierde una parte de calcio de ésta. Para tal efecto la norma general recomienda 20 gramos por cada 100 litros de leche utilizados y deben ser colocados a 45 °C, mientras la temperatura desciende hasta los 36 °C.

El cloruro de sodio es lo siguiente en ser añadido en una cantidad de 2% a 3% y se procede a agitar para garantizar la mezcla homogénea en la leche.

El cuajo se adiciona con el objetivo de conseguir el surgimiento de la cuajada. Se deja reposar por 30 minutos, en este tiempo se debe vigilar la temperatura debido a que a temperaturas muy bajas el tiempo que se requiere para formarse la cuajada es mayor.

Además de estos ingredientes se permiten adicionar vinagre, agua potable, harinas y otros contemplados en el CODEX STAN 221:2001. Además de los contemplados en la norma NTE INEN 66 Aditivos para quesos.

### **2.3.7. Importancia del pH en el coagulado**

Para que el cuajo se active en este proceso, es necesario que la acidez sea adecuada. El pH ayuda a liberar los iones de calcio produciendo la cuajada.

Se recomienda como apropiado un pH de 4 y cuando se tiene un valor inferior el tiempo de coagulación es menor. Por el contrario, si este valor es mayor el tiempo que se necesita para formar la cuajada aumenta y de ser superior a 7,5 no se produce ya que se inactivan las enzimas. (Estrada Martínez, 2011)

---

<sup>7</sup> La coagulación láctica se consigue adicionando vinagre o limón.

### **2.3.8. Corte**

“El corte consiste en romper la cuajada en trozos.” (Caro Canales, 2006). Aunque la Norma INEN general para quesos frescos recomienda 1 cm. Es común realizar los cortes de 2 cm para tener una pasta más consistente. Esta acción se realiza con una lira.

Este corte se realiza con el objetivo de obtener granulación de la cuajada. Cuando es demasiado fino se corre el riesgo de deshacer el gel formado. Mientras que si es demasiado grande el cubo que se ha cortado, se tiene el conflicto de que al final del proceso el queso no se muestre compacto y uniforme en su consistencia.

### **2.3.9. Primera agitación**

La primera agitación es lenta para evitar que la cuajada se destrozé y se pierda nuevamente con el suero. En esta etapa los grumos formados aún son débiles y se retira el 30% de suero para favorecer la compactación.

Al realizar este removido se trata calentar la cuajada e impedir que los trozos del gel se peguen en el recipiente. Este proceso se puede hacer de forma automática o manual. (González Villareal, 2002)

### **2.3.10. Lavado**

En esta etapa se adiciona agua hervida, aunque esta parte del proceso se ha obviado con el tiempo y se ha hecho parte única del queso Gouda<sup>8</sup>. Para el queso fresco es muy común evitar esta etapa ya que el pH suele ser el idóneo y no requiere el lavado de la cuajada.

### **2.3.11. Segunda agitación**

La segunda agitación es más fuerte y se pretende que los trozos se rompan dejando una cuajada adecuada para ser compactada, tiene un tiempo aproximado de 5 minutos.

### **2.3.12. Desuerado total**

El desuerado permite extraer la cuajada convertida para este momento ya en grano con el método de drenaje, adicionalmente se eleva la temperatura para permitir aún más la expulsión de suero. Comúnmente este suero se utiliza en procesos ajenos al queso.

El método de desuerado no es único. Se conocen dos tipos:

- Por calentamiento de la cuajada
- Por corte

---

<sup>8</sup> Queso de color amarillento originario de Holanda.



“Cuando la filtración de suero es idónea se obtiene un color amarillento y en ocasiones verdoso con tendencia al amarillo. Si el suero es blanco se considera lechoso evidenciando que aún existen residuos de caseína y sales minerales.” (Aristizabal, 2007, págs. 17 - 18)

### **2.3.13. Moldeo**

Consiste en colocar los granos (trocitos de cuajada) en los moldes que se prefiere sean de acero inoxidable, sin embargo, también se utiliza en ocasiones plástico alimenticio. En épocas pasadas se recurría a la madera pero dentro de la Norma Técnica Sustitutiva de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados ARCSA 042-2015, no se permite este material por la facilidad de contaminación y cultivo de bacterias que puede generarse.

### **2.3.14. Prensado**

Con el objetivo de compactar y dar forma al queso se procede a prensar. El tiempo ponderado es de 2 horas con una presión de 4 veces el peso del queso que se está produciendo. Este tipo de presión es de forma mecánica. (Poncelet, 2015)

Una de las recomendaciones que se hace es que la presión que se coloca a los quesos no debe ser constante, sino que desde el momento inicial que empieza el prensado se debe variar la fuerza que se impone al producto. La razón se muestra al observar la superficie externa del queso, pues cuando se somete el queso a presión constante desde su inicio, se forma la corteza demasiado de prisa impidiendo el correcto desuerado. (Lima & Masino, 2008, págs. 65 -78)

### **2.3.15. Salado**

El salado puede darse de diversas formas (Ibañez Castillo, 2015):

- Adicionando cloruro de sodio en la leche.- este medio es muy ineficiente ya que gran parte de la sal se pierde en el suero.
- Colocando sal en la superficie de la cuajada.- esta forma es un tanto defectuosa ya que no se garantiza la uniformidad del sabor en toda la pasta.
- Por salmuera.- se realiza la inmersión durante dos horas en una mezcla al 18% – 22% de sal, o a su vez 18 °Bé<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Los grados baumé permiten conocer la concentración de las soluciones utilizando un hidrómetro.

La forma más acertada de realizar el salado se considera la inmersión por salmuera ya que no requiere esfuerzo por parte del operario y garantiza la uniformidad de absorción que permite tener el mismo sabor en cualquier área del producto, superficial e interna. Se afirma adecuado y ágil de calcular utilizar de 27 a 30 kilogramos de sal por cada 100 litros de agua.

También es necesario considerar la temperatura de la salmuera recomendada según la norma general para queso fresco INEN NTE 1528: 2012, alrededor de 12 °C.

El valor de la temperatura contribuye a un propicio desuerado. Si la salmuera es muy fría se tapan los poros que a su vez impide la liberación del suero. (Borbonet & Urrestarazu, 2010)

#### **2.3.16. Almacenamiento**

Según la norma general para queso fresco NTE INEN 1528, se debe almacenar el producto a 4 grados centígrados con una tolerancia de  $\pm 2$  grados centígrados.

El objetivo de mantener esta temperatura es impedir el crecimiento microbiano y preservar la calidad. Para coadyuvar a este propósito, se debe impedir la contaminación cruzada y respetar los protocolos de limpieza y desinfección. (Sigcho Velóz, 2013)

El correcto procedimiento de almacenaje se basa en la temperatura a la cual es expuesto el queso. Cuando existe variabilidad en este parámetro, el tiempo de vida útil del queso se aminora.

#### **2.4. Diseño de experimentos**

“Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación.” (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 5)

La experimentación parte de una idea o interrogante que requiere ser puesta a prueba para conocer su comportamiento, resultado, suceso esperado o inesperado, basándose principalmente en el proceso de investigación científico para que la objetividad de los ensayos tenga un análisis imparcial.

Para realizar las pruebas deseadas es necesario que el experimentador tenga en el control sobre las variables de interés, es de decir las variables que se requieren estudiar. Aunque

en la práctica esto es muy difícil de conseguir, se suele priorizar su estudio o a su vez recurrir a técnicas que permitan conocer de forma indirecta su influencia o su separación del análisis. Sobre esta base se plantean 3 principios básicos para tener una estructura adecuada (Florian Méndez, 2016):

- Diseñar bloques (de ser necesario)
- Establecer réplicas
- Aleatorizar el diseño

Los bloques consisten en un número de ensayos agrupados de tal manera que cada bloque sea lo más parecido uno con otro obteniendo así resultados confiables para el análisis.

Este modelo generalmente se aplica como diseño por bloques y suele depender de los objetivos de la experimentación planteados. No es necesario crear bloques cuando se trabaja con diseños diferentes.

Las réplicas son el número de veces que se repiten los experimentos. Cuando se trata de modelos simulados, la cantidad de observaciones suele ser alta, debido a que entre más réplicas se generen, menor será el error de la simulación. No obstante, cuando se trata de experimentación o pruebas de campo, se debe obtener un error experimental permisible con la menor cantidad de tratamientos o réplicas posible.

Es necesario dentro de la experimentación, entender que entre más réplicas se produzcan el costo y tiempo de la experimentación aumentará considerablemente. Además, no siempre se puede tener la cantidad de observaciones ideales que se desearían para cumplir con un modelo experimental perfecto y la misma obtención de datos limita las condiciones del diseño de experimentos.

Por ejemplo. Se desea analizar el impacto de un nuevo fármaco obtenido a partir de una planta nativa de algún lugar del caribe, el cual por supuestos de la zona deriva en la idea que puede curar la E.L.A<sup>10</sup> inclusive cuando esta enfermedad se encuentra en fase avanzada. Nótese en este caso la dificultad que representaría para el experimentador conseguir un número de observaciones alto, reflexionando la probabilidad de encontrar personas con dicha enfermedad, en cierta fase de padecimiento, en la zona de interés por si el factor de clima o condiciones por el estilo de vida afectasen el estudio.

---

<sup>10</sup> E.L.A: Esclerosis Lateral Amiotrófica. Según la OMS 2 por cada 100 mil habitantes padecen esta enfermedad.

Aunque desde un punto de vista teórico tener más repeticiones es favorable, realmente en la experimentación suele transformarse en un motivo de preocupación. Al aumentar el tiempo de investigación es más probable que las variables que no se pueden medir o se las mantiene constantes influyan finalmente en resultado. El alto costo de la experimentación es un condicionante en todo proceso investigativo.

Finalmente, una cantidad considerable de experimentos permite asumir varios supuestos estadísticos, uno de ellos el hecho de que cuando existe un número elevado de muestras, tantas que el proceso tiende a desarrollarse en la misma forma a través del tiempo, se tiene por lo tanto un manejo de datos con distribución normal. En la práctica se utiliza este principio en modelos de simulación, mientras que en experimentación se recurre a otras técnicas estadísticas o a otros supuestos algorítmicos que permitan tratar los datos de esta forma.

Por ejemplo. Se desea conocer si el nuevo chasis del auto Koenisegg Agera modelo 2015 cumple con los estándares europeos de calidad referentes a resistencia a impactos frontales y laterales. Para validar esta prueba es necesario chocar los autos contra una pared de hormigón a 230 km/h considerando que el auto es un modelo deportivo.

Ahora, se debe razonar el precio de cada vehículo cuyo valor se encuentra alrededor de 1,5 millones de euros. Es necesario entonces cuestionarse si se estaría dispuesto como jefe de calidad, a impactar 31 vehículos en la prueba tan solo por usar la distribución normal.

De esta forma es más conveniente recurrir a otras herramientas estadísticas o supuestos que permitan obtener con 1 a 3 vehículos la misma validez en los resultados que como si se tratara de 31 unidades.

#### **2.4.1. Probabilidad**

“Es el conjunto de posibilidades de que un evento ocurra o no en un momento y tiempo determinado.” (Suárez, 2012, pág. 17)

Es de conocimiento general que las probabilidades se las clasifique en un rango de cero uno, para calificar que tan probable es que el evento estudiado ocurra.

#### **2.4.2. Hipótesis**

“Es una aseveración o conjetura respecto a una o más poblaciones.” (Walpole & Myers, 2012, pág. 319)

Comúnmente se suele utilizar  $H_0$  para denominar a la hipótesis que se desea comprobar o verificar si es verdadera, bajo este precepto  $H_0$  se denomina nula y siempre se considera verdadera a no ser que exista evidencia significativa que demuestre lo contrario. (Canavos, 1988)

Al formular la hipótesis nula, siempre se acompaña de una hipótesis alternativa denotada  $H_1$ . Esta no se acepta ni se rechaza en primera instancia, sino que como consecuencia de determinarse a  $H_0$  como verdadera o falsa se afirma que  $H_1$  por lo tanto es cierta o no. De tal manera las acciones o análisis de una prueba de hipótesis se basan en  $H_0$ .

### **2.4.3. Experimento**

Es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso, que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del producto o resultado. Asimismo, el experimento permite aumentar el conocimiento acerca del sistema. (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 7)

Experimentar es cambiar las condiciones de un proceso y evaluar su efecto. Adviértase en este punto, la necesidad de trabajar con el proceso de investigación científica, ya que es el observador quien modifica las circunstancias del experimento en base al diseño o necesidades que presenta la realidad. A diferencia del método descriptivo este último describe el análisis generado en un proceso que se mantiene bajo sus propias condiciones de trabajo. (Tamayo M. , 2003)

### **2.4.4. Unidad experimental**

“Es la entidad física o el sujeto expuesto al tratamiento independientemente de otras unidades. La unidad experimental, una vez expuesta al tratamiento, constituye una sola réplica del tratamiento.” (Kuehl, 2001, pág. 4)

De manera más sencilla, la unidad experimental es un elemento sobre el cual se realizan mediciones y debe permitir efectuar modificaciones para medir sus resultados.

## **2.5. Clasificación de los diseños experimentales**

Se hace énfasis en el análisis de diseño con un solo factor y factoriales de nivel  $k$  ya que la investigación propuesta considera los principios de estos modelos para el análisis de los datos resultantes.

### 2.5.1. Diseños con un solo factor (análisis de la varianza)

Uno de los requisitos previos para crear un diseño con un solo factor, es que debe estar completamente aleatorizado. La aleatorización del diseño en este caso busca que cada efecto del factor quede equitativamente repartido. (Gutiérrez Pulido, 2008)

Este modelo también denominado DCA, requiere que se conozca si el diseño está balanceado. “Se entiende por balance cuando el número de repeticiones es el mismo para cada tratamiento” (Gutiérrez Pulido, 2008)

| A | B | C |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |

**Tabla 5.-** Modelo DCA balanceado

**Fuente:** Minitab 17.

**Elaborado por:** Christian Rosero

En el modelo de la tabla 5, se tiene una observación para las combinaciones A, B, C. (1, 1, 0); (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (0, 0, 0); (0, 1, 1); (1, 0, 1); (1, 1, 1) considerándose así un modelo balanceado.

| A | B | C |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |

**Tabla 6.-** Modelo DCA desbalanceado

**Fuente:** Minitab 17.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Cuando un modelo no presenta balance se tiene la forma expuesta en la tabla 6, donde se puede constatar que existen dos observaciones (1, 0, 1) y hace falta el tratamiento (1, 1, 1).

La estimación del modelo por tanto para un modelo completo (Kuehl, 2001) es estimada por el método de los mínimos cuadrados:

$$SCE = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r \hat{e}_{ij}^2 = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r (y_{ij} - \hat{u}_1)^2$$

Considerando SCE la suma de los cuadrados estimada para el error experimental,  $\hat{u}$  es el estimador de mínimos cuadrados, cuyo error  $\hat{e}_{ij}$  es igual  $y_{ij} - \hat{u}_1$  tal que  $y_{ij}$  es el único valor conocido al ser las observaciones.

Sin embargo, cuando la diferencia entre  $y_{ij} - \hat{u}_1$  al ser grande en valor absoluto se consigue que  $SC_T = SC_{TRAT} + SC_E$ . (Gutiérrez Pulido, 2008)

Siendo  $SC_{TRAT}$  quien mide la variación entre tratamientos y  $SC_E$  mide la variación entre tratamientos y finalmente  $SC_T$  es la suma total de cuadrados, considerando que existe un total de N observaciones, existen por tanto N-1 grados de libertad y k tratamientos.

$$N - 1 = (k - 1) + (N - k)$$

El cuadrado medio del tratamiento es consecuentemente:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{K - 1}$$

Y el cuadrado medio del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K} = \sigma^2$$

“De la teoría estadística se sabe que los cuadrados medios que siguen la distribución normal se asocian directamente con una distribución Ji-cuadrado” (Kuehl, 2001).

Entonces el valor crítico que distingue la región de aceptación de la de rechazo estará descrita por:

$$F_0 = \frac{CMT}{CME}$$

Para un modelo experimental DCA de características como las mostradas en la tabla 7.

| Tratamiento | Observaciones                                  | Totales  | Promedios      |
|-------------|--|----------|----------------|
| 1           | $Y_{11} \quad Y_{12} \quad \dots \quad Y_{1n}$ | $Y_1$    | $Y_1$          |
| 2           | $Y_{21} \quad Y_{22} \quad \dots \quad Y_{2n}$ | $Y_2$    | $Y_2$          |
| *           | **    **    **    **                           | **       | **             |
| *           | **    **    **    **                           | **       | **             |
| a           | $Y_{a1} \quad Y_{a2} \quad \dots \quad Y_{an}$ | $Y_{**}$ | $\bar{Y}_{**}$ |

**Tabla 7.-** Modelo DCA

**Fuente:** (Montgomery, 2004)

**Elaborado por:** Christian Rosero

Se constituye por lo tanto el ANOVA revelado en las tablas 8 y 9.

| Factor Valoración   | Sumatoria de cuadrados  | Grados de libertad | Valores esperados <sup>11</sup>       |
|---------------------|---|--------------------|---------------------------------------|
| <b>Tratamientos</b> | $SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i*}^2}{n_i} - \frac{Y_{j**}^2}{N}$ | $k - 1$            | $CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$ |
| <b>Error</b>        | $SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$   | $N - k$            | $CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$           |
| <b>Total</b>        | $SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{**}^2}{N}$  |                    |                                       |

**Tabla 8.-** Tabla ANOVA para un sólo factor

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero

| Factor Valoración | Valor para F crítico     | Valor P      |
|-------------------|--------------------------|--------------|
| Tratamientos      | $\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$ | $P(F > F_0)$ |
| Error             |                          |              |
| Total             |                          |              |

**Tabla 9.-** Valores críticos para ANOVA un sólo factor

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero

<sup>11</sup> Los valores esperados medios se obtienen a partir de los cuadrados medios del tratamiento y del error. (Kuehl, 2001)



También se puede apreciar un modelo con efectos fijos a través de la descomposición de los cuadrados y el teorema de Cochran (cuando los datos no necesariamente son independientes) examinando las fuentes de variación. (Montgomery, 2004)

### **2.5.2. Diseños factoriales**

El diseño factorial corresponde a un tipo de análisis diferente si se compara con mover un factor a la vez. Una desventaja de experimentar con valores para cada factor (uno a la vez) es que se requieren demasiadas muestras para tener resultados válidos y por el efecto de las posibles interacciones es extenso completar un modelo general.

“El diseño factorial es un método estadístico multi-variante, que representa las interrelaciones en un conjunto de variables” (Tanco & Viles, 2008).

Para comprender el diseño factorial se requiere analizar los efectos que tienen las variables de un sistema o proceso, este efecto es el cambio en la respuesta observada (Kuehl, 2001, pág. 177). Generalmente en un modelo DCA<sup>12</sup> y DBCA<sup>13</sup> se analizan las diferencias en el bloque o los efectos, pero no existe evidencia de que si al existir interacción su influencia será negativa o positiva del efecto dado.

El efecto resultante en ocasiones prácticas no siempre describe su comportamiento bajo una distribución normal. No obstante, el procedimiento ANOVA, admite desviaciones moderadas de los supuestos si se minimiza la falta de normalidad de las observaciones.

Existen tres métodos muy comunes para mitigar este problema (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 149):

- Utilizar métodos no paramétricos de análisis.
- Utilizar modelos lineales generalizados donde la varianza no tiene por qué ser igual, ni seguir una distribución normal.
- Realizar el análisis bajo una escala en la que los supuestos se cumplan.

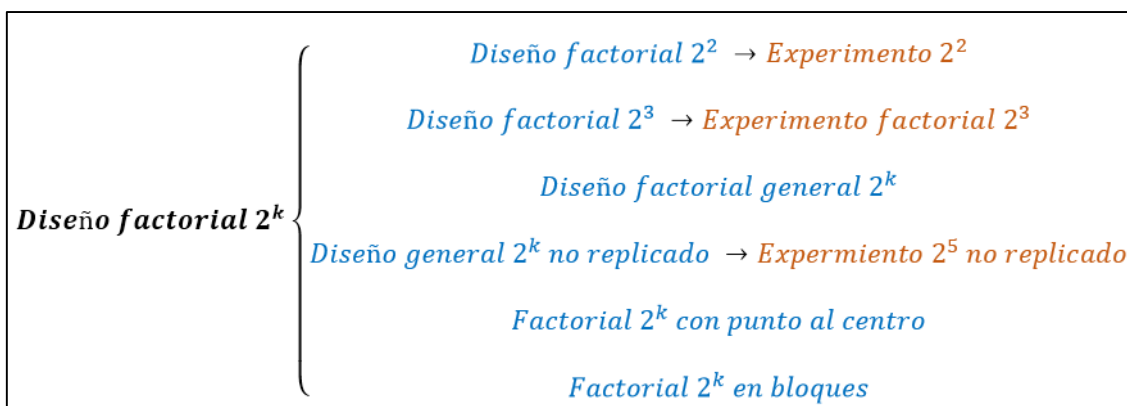
“Una forma simple ajustar la escala es aplicar una prueba de normalidad a los residuos y construir un gráfico de valores ajustados vs predichos para la cual se desea visualizar la forma de una campana.” (Gutiérrez Pulido, 2008)

---

<sup>12</sup> DCA: Diseño de bloques al azar

<sup>13</sup> DBCA: Diseño de bloques completamente al azar.

Dentro de los modelos factoriales existen varios diseños que se han generalizado por ser comúnmente utilizados entre los investigadores, de los principales y más estudiados se contemplan los reflejados en la ilustración 2.



**Ilustración 2.-**Diseños factoriales

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 167)

**Elaborado por:** Christian Rosero

### 2.5.2.1. Diseños $2^2$

Las principales consideraciones de este modelo parten de generarse 4 tratamientos y estudiar el efecto de los factores a dos niveles (+1, -1), como se puede observar en la tabla 10. La notación de Yates además de mostrar el modelo representa la suma de los tratamientos. (Gutiérrez Pulido, 2008).

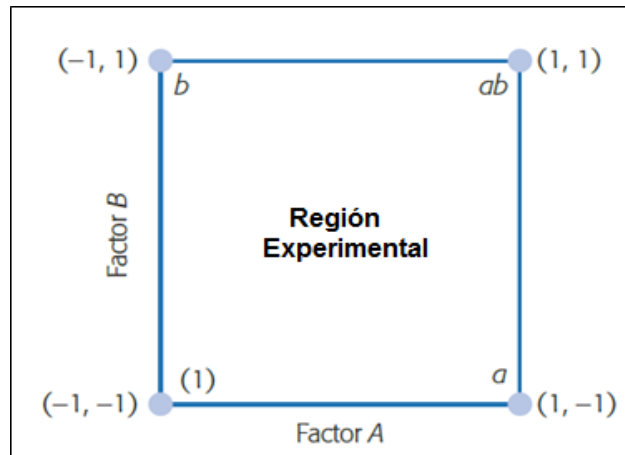
|               | A    | B    | A  | B  | A  | B  | A | B | A | B | A  | B  |     |
|---------------|------|------|----|----|----|----|---|---|---|---|----|----|-----|
| Tratamiento 1 | Bajo | bajo | A1 | B1 | A- | B- | - | - | 0 | 0 | -1 | -1 | (1) |
| Tratamiento 2 | Alto | bajo | A2 | B1 | A+ | B- | + | - | 1 | 0 | 1  | -1 | a   |
| Tratamiento 3 | Bajo | alto | A1 | B2 | A- | B+ | - | + | 0 | 1 | -1 | 1  | b   |
| Tratamiento 4 | Alto | alto | A2 | B2 | A+ | B+ | + | + | 1 | 1 | 1  | 1  | ab  |

**Tabla 10.-** Notaciones para diseños  $2 \times 2$

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero

La representación geométrica del diseño se dará tal como se expresa en la ilustración 3.



**Ilustración 3.-** Representación geométrica 2x2

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

La región experimental muestra el área para la cual los resultados de la experimentación son válidos. Los puntos que la limitan, son los vértices expresados con los dos niveles del tratamiento.

| Cálculo de los efectos utilizando la notación de yates |                                     |  |
|--|-------------------------------------|--|
| Efecto A   | $\frac{1}{2n} \{a + ab - b - (1)\}$ | Siendo n el número de corridas experimentales.   |
| Efecto B   | $\frac{1}{2n} \{b + ab - a - (1)\}$ |  |
| Efecto AB  | $\frac{1}{2n} \{ab + (1) - a - b\}$ |  |
| Cálculo de los contrastes <sup>14</sup>                |                                     |  |
| Contraste A  | $[a + ab - b - (1)]$                | Para una combinación lineal de la forma:<br>$C = \left( \sum_{i=1}^{2^k} C_i Y_i \right)^2$ Con $\sum C_i = 0$<br>Donde $Y_i$ es cada uno de los términos de la notación de yates. |
| Contraste B  | $[b + ab - a - (1)]$                |  |
| Contraste AB   | $[ab + (1) - b - a]$                |  |

**Tabla 11.-** Efectos y Contrastes

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero

<sup>14</sup> El contraste muestra que tan diferentes son los efectos entre unos factores y otros. (Gutiérrez Pulido, 2008)

Es necesario aclarar que la sumatoria de cuadrados para construir el ANOVA del modelo 2x2 se obtiene de los contrastes.

| Modelo ANOVA para diseños 2x2 |           |            |           |                        |              |
|-------------------------------|-----------|------------|-----------|------------------------|--------------|
| FV                            | SC        | GL         | CM        | Fo                     | Valor-P      |
| A                             | $SC_A$    | 1          | $CM_A$    | $\frac{CM_A}{CM_E}$    | $P(F > F_0)$ |
| B                             | $SC_B$    | 1          | $CM_B$    | $\frac{CM_B}{CM_E}$    | $P(F > F_0)$ |
| AB                            | $SC_{AB}$ | 1          | $CM_{AB}$ | $\frac{CM_{AB}}{CM_E}$ | $P(F > F_0)$ |
| Error                         | $SC_E$    | $4(n - 1)$ | $CM_E$    |                        |              |
| Total                         | $SC_T$    | $n2^2 - 1$ |           |                        |              |

**Tabla 12.-** Tabla ANOVA diseño 2x2

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero

Para la tabla 12. FV representa a la columna para los factores de valoración del modelo A y B con las combinaciones que pudiera generar si se determina que puede convertirse en un factor principal AB.

SC muestra la sumatoria de cuadrados, así como CM expresa los cuadrados medios necesarios para poder estimar la varianza en el modelo (Montgomery, 2004, págs. 187 - 189).

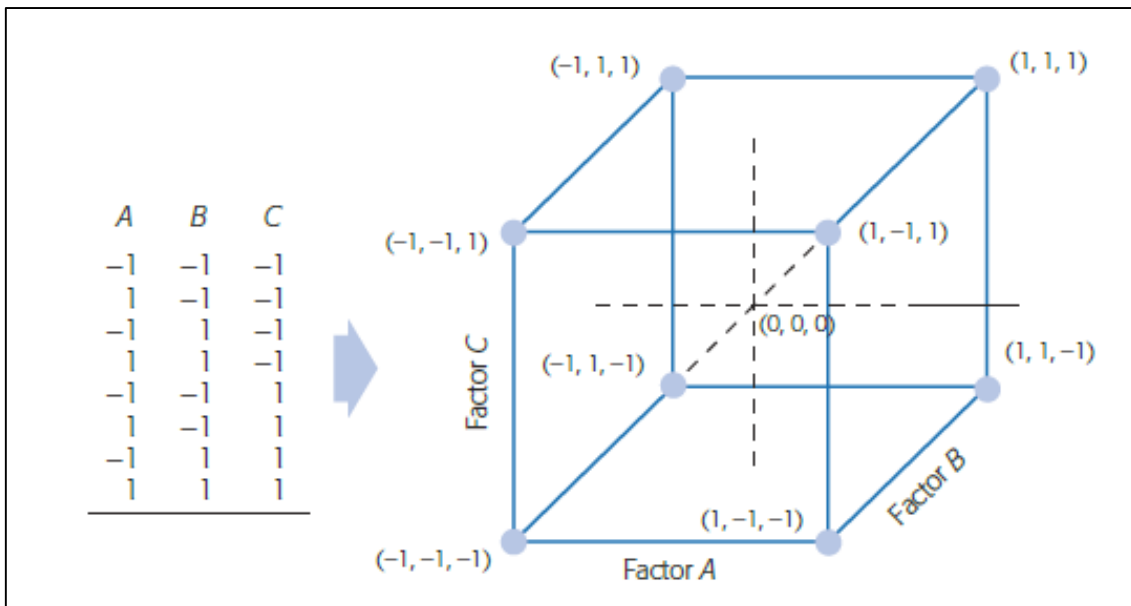
Fo es el valor crítico que limita la región experimental donde se contrasta la hipótesis nula y alternativa determinando si existe o no una diferencia marginal entre un factor y otro.

El valor P para la expresión  $F > F_0$  indica el nivel de significancia para cada prueba realizada, por lo tanto P es una probabilidad de éxito siempre que la hipótesis nula sea verdadera. (Devine, Hirt, & Gehrke, 1990)

### 2.5.2.2. Diseños 2<sup>3</sup>

De forma similar al modelo 2x2 cuando se tiene un modelo 2x3 se requiere comprobar supuestos como el de normalidad en los datos y varianzas homogéneas, aunque existen herramientas que permiten analizar datos cuando estos supuestos no se cumplen.

Considerando el ingreso de un factor C en un modelo experimental se conciben 8 tratamientos que generan una matriz geométrica en forma de cubo. (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 183)



**Ilustración 4.-** Interacción en el diseño 2x3

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 184)

En la ilustración 4 se muestra la interacción de factores A, B, C con las caras del cubo designadas a cada factor de niveles -1 y +1. El punto (0, 0, 0) que en la figura se muestra como centro del cubo es el valor hipotético medio (aunque suele variar dependiendo del estudio) que determina los valores de linealidad o curvatura del comportamiento de las variables al modificar sus valores.

Investigadores como Keppel & Englewood, (1991) o Hicks & Turner, (1999) recomiendan que el factor ABC propio de la combinación de un modelo 2x3 no sea desestimado sin hacer un previo análisis. Aunque es común en los análisis de datos observar que la mezcla de todos los factores se convierte en un efecto no determinante, no siempre podría considerarse inoperante.

El análisis de 3 factores implica mayor complejidad ya que aparecen combinaciones en los efectos propias del diseño de la forma: AB, BC, AC, ABC para diferentes niveles. Para lo cual el modelo estadístico tiene la forma (Kuehl, 2001, pág. 201):

$$\mu_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk}$$

Donde  $\mu = \bar{u}$  es la media y  $\alpha_i\beta_j\gamma_k$  representan los efectos principales A, B, C.  $\alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk}$  señalan las interacciones de dos y tres factores respectivamente, con  $i = 1,2,3 \dots a$ ;  $j = 1,2,3 \dots b$ ;  $k = 1,2,3 \dots c$  niveles para el tratamiento.

Transformando el modelo con una notación de Yates se consiguen establecer los cálculos para el contraste de la siguiente manera (Gutiérrez Pulido, 2008):

$$\text{Contraste A} = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$\text{Contraste B} = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$\text{Contraste C} = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$\text{Contraste AC} = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]$$

$$\text{Contraste AB} = [ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c]$$

$$\text{Contraste BC} = [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]$$

$$\text{Contraste ABC} = [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

Cuando se tienen  $n$  réplicas de cada tratamiento se estiman los efectos de la siguiente forma (Gutiérrez Pulido, 2008):

$$\text{Efecto A} = \frac{\text{Contraste A}}{n2^{k-1}}$$

Los cuadrados de los efectos:

$$SC_{\text{efecto}} = \frac{(\text{Contraste}_{\text{efecto}})^2}{n2^{k-1}}$$

La suma total de cuadrados se efectúa igual que en el modelo 2<sup>2</sup>.

$$SC_{\text{efecto}} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_m^n Y_{ijlm}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{n2^k}$$

Nótese en este caso que son necesarias mínimo dos réplicas para poder analizar el modelo, ya que el cuadrado medio del error tiene 0 grados de libertad cuando  $n=1$ . (Gutiérrez Pulido, 2008). Sin embargo, de requerirse el análisis en casos donde solo existe una repetición puede verse Kuehl, (2001, pág. 205) en el que se detalla la estimación de la varianza del error con una sola réplica para factores cualitativos y cuantitativos.

### 2.5.2.3. Otros tipos de diseños experimentales

Los diseños más utilizados para realizar procesos experimentales (aunque no los únicos) se resumen en la siguiente tabla, considerando los usos que suele darse.

| Tipo de diseño                     | Sub diseño                    | Uso   |
|------------------------------------|-------------------------------|---|
| Completamente al azar              |                               | Comparar dos o más tratamientos.  |
| Bloques completos al azar          |                               |   |
| Cuadros latino y grecolatino       |                               |   |
| Factoriales $2^k$                  |                               | Estudiar el efecto de varios factores sobre una o más variables de respuesta. |
| Factoriales $3^k$                  |                               |   |
| Factoriales fraccionados $2^{k-p}$ |                               |   |
| Modelo de primer orden             | Factoriales $2^k$ y $2^{k-p}$ | Optimización de procesos.   |
|                                    | Plackett-Burman               |   |
|                                    | Simplex                       |   |
| Modelo de segundo orden            | Composición central           |   |
|                                    | Box-Behnken                   |   |
|                                    | Factoriales $3^k$ y $3^{k-p}$ |   |
| Arreglos ortogonales               |                               | Diseños robustos <sup>15</sup>  |
| Con arreglos interno y externo     |                               |   |
| Simplex – reticular                |                               | Diseños de mezclas. <sup>16</sup>   |
| Simplex con centroide              |                               |   |
| Con restricciones                  |                               |   |
| Axial                              |                               |   |

**Tabla 13.-** Tipos de diseños experimentales

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero

<sup>15</sup> Diseño Robusto: Se utiliza para procesos que alcanzaron la mejora deseada pero se desea garantizar que estos beneficios se mantengan en el tiempo. (Wu & Wu, 1997)

<sup>16</sup> Para el diseño de mezclas (estadístico) la sumatoria de los valores de los factores debe ser igual a 1.

## 2.6. Constitución del DoE factorial

Los diseños factoriales no se limitan sólo a modelos 2x2 o 2x3, pueden existir modelos completos de k factores con k elementos, mixtos, de fracciones irregulares o a su vez con k-1 elementos que se denominan diseños factoriales fraccionados, entre otros, para los cuales el tratamiento de los datos dependerá del modelo seleccionado y los parámetros de experimentación.

Sin embargo, existen herramientas propias del diseño factorial que permiten realizar un análisis estructurado en los datos con un nivel de certeza apropiado para los mismos y validar los estudios realizados.

La comprobación de supuestos es un área que se ha debatido mucho en el campo experimental intentando comprender la robustez de los diseños.

### 2.6.1. Muestra y resolución

Para realizar un adecuado diseño de experimentos es necesario comprender que los datos resultantes del modelo tienen que ser descifrables con criterio de análisis estadístico. Este análisis se complica y puede conllevar a errores si los datos que se estudian son proclives a confundirse. A esto se denomina en DOE como resolución del modelo. (Montgomery, 2004)

La resolución de los experimentos se encontrará estrechamente relacionada con el tamaño de la muestra a evaluar, y esta a su vez dependerá de la cantidad de factores que se desean estudiar (Kuehl, 2001, pág. 398). Los tipos de resolución se explican en la tabla 14.

| Resolución | Confusión  |
|------------|--|
| III        | No se confunden los efectos principales entre sí, pero si se confunden los efectos principales con las interacciones. O se confunde entre las interacciones. |
| IV         | Se confunden los efectos de unas interacciones con otras, mas no se confunden los efectos principales entre sí o estos con las interacciones.                |
| V          | No existe confusión de efectos principales y tampoco de interacciones a dos factores, pero estas si lo hacen con interacciones de 3.                         |

**Tabla 14.-** Resolución del modelo

**Fuente:** (Kuehl, 2001, pág. 398)

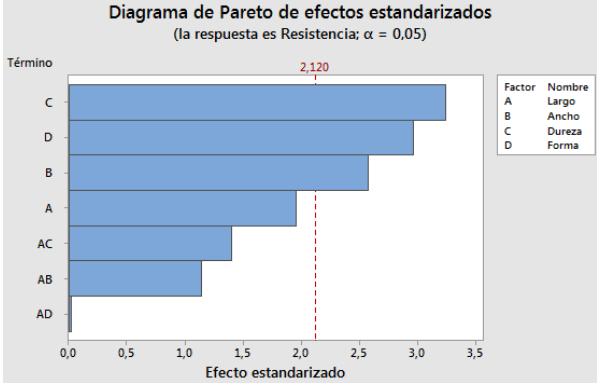
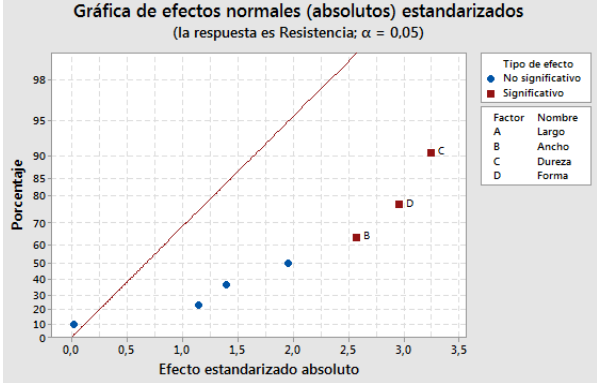
**Elaborado por:** Christian Rosero.



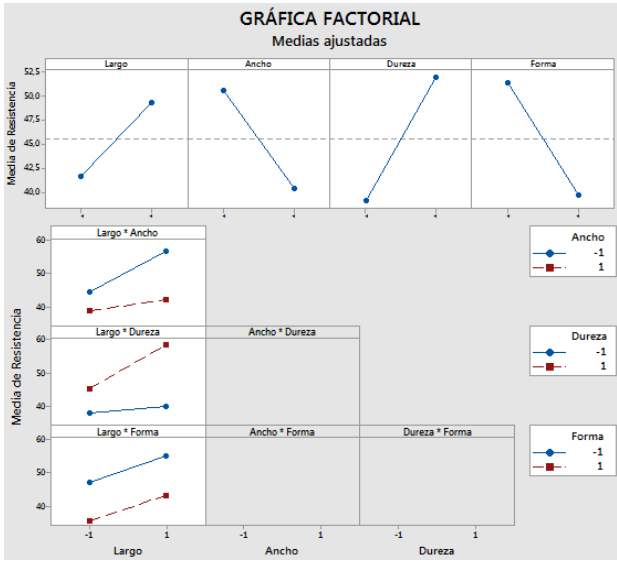
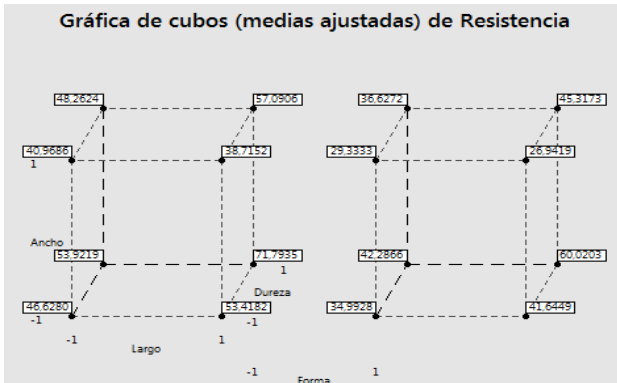
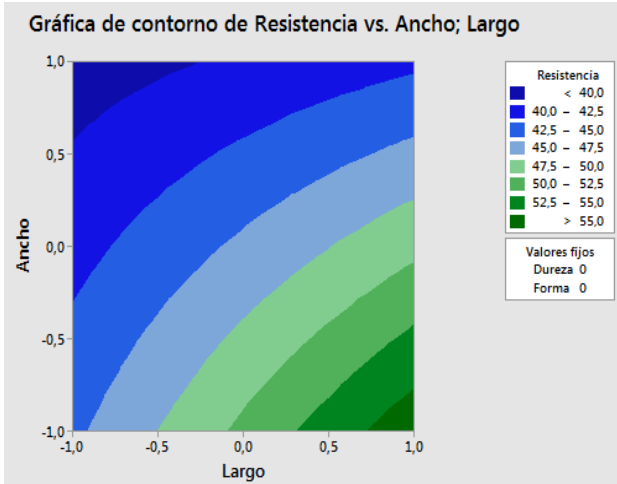
Estas confusiones en los efectos generan estructuras de alias<sup>17</sup> y se presentan en mayor medida en los diseños factoriales fraccionados, para los cuales el experimentador asume el riesgo de trabajar con un nivel de resolución bajo.

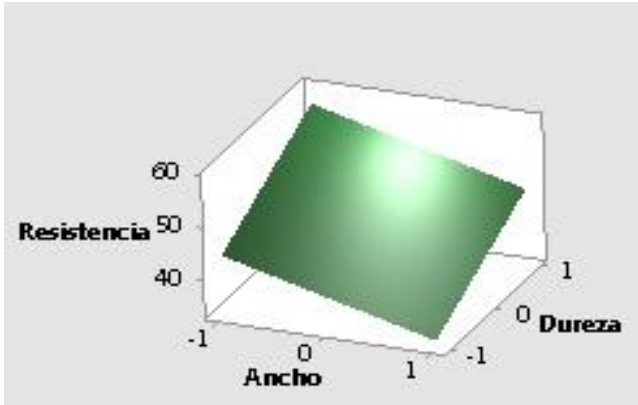
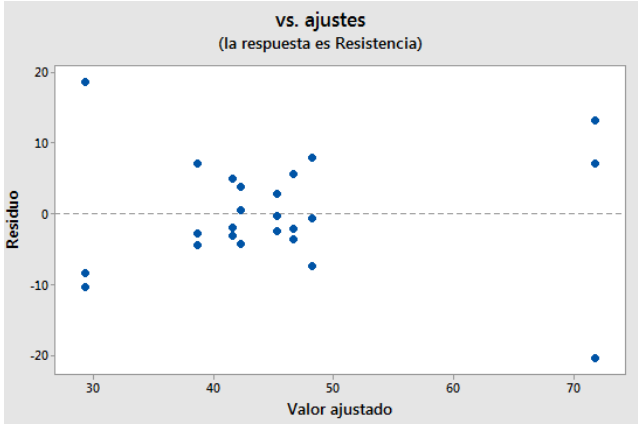
### 2.6.2. Evaluación del modelo

Aunque existen muchas herramientas de análisis para evaluar el modelo de experimentación, y de ello dependerá su simpleza o grado de complejidad como lo demande el experimento. Se contemplan varias herramientas que permiten comprender el comportamiento del sistema experimentado, dentro de las gráficas más comunes se consideran las reflejadas en la tabla 15.

| Gráfica   | Estudio   |
|---|---|
| <p>Pareto de efectos estandarizados</p>  <p>EFECTOS C, D, B significativos.</p>                       | <p>El diagrama Pareto para efectos estandarizados considera una prueba de hipótesis la cual divide a los efectos que toman importancia de los que no muestran relevancia o influencia en los efectos de los factores. (Hendricks, Geilen, &amp; Basten, 2011).</p>                      |
| <p>Gráfica de efectos estandarizados</p>  <p>Efectos más lejanos (color rojo) son significativos</p> | <p>Con una prueba de Levene, la cual aplica el principio de comparación de homogeneidad de las varianzas (Correa, Iral, &amp; Rojas, 2006), se estructura una prueba de gráfica de efectos absolutos para determinar si los efectos principales son significativos. (Minitab, 2015)</p> |

<sup>17</sup> Estructura de alias: Describe la confusión que existe en el diseño cuando no se pueden ejecutar todas las combinaciones y estudiar los efectos por separado (Minitab, 2015)

| Gráfica   | Estudio   |
|---|---|
| <p data-bbox="240 304 453 338">Gráfica factorial</p>  <p>The figure is a factorial plot titled 'GRÁFICA FACTORIAL Medias ajustadas'. It shows the mean resistance for different levels of Largo, Ancho, Dureza, and Forma. The y-axis is 'Media de Resistencia' ranging from 40.0 to 52.5. The x-axis for each plot is the factor being varied. The plots show that resistance generally increases with Largo and Dureza, and decreases with Ancho and Forma. Interaction plots are also shown for combinations of factors.</p>  | <p data-bbox="906 248 1353 943">Las gráficas factoriales de efectos principales muestran la respuesta en la variación de un factor. Estas pueden ser con efecto positivo, negativo o sin efecto. La gráfica de interacciones tiene 3 estados, sin interacción, antagonista y sinergista. Cuando el efecto principal se contradiga con la interacción, se tomara como verdadero el análisis de la interacción. (Orellana, Kaufman, &amp; Pino, 2013)</p> |
| <p data-bbox="240 965 453 999">Gráfica de Cubo</p>  <p>The figure is a cube plot titled 'Gráfica de cubos (medias ajustadas) de Resistencia'. It shows the mean resistance for each combination of Largo, Ancho, Dureza, and Forma. The y-axis is 'Media de Resistencia' ranging from 40.0 to 52.5. The x-axis is 'Largo' and the z-axis is 'Forma'. The plot shows that resistance is highest at the top-right-front vertex (Largo=1, Forma=1, Dureza=1) and lowest at the bottom-left-back vertex (Largo=-1, Forma=-1, Dureza=-1).</p>   | <p data-bbox="906 965 1353 1391">Esta gráfica permite comprender la apariencia y disposición en el diseño con o sin la respuesta (Asturias, 2014). Por lo tanto se puede entender el máximo ajuste en uno de los vértices cuando los valores no son discretos. (Garza Villegas, 2013)</p>   |
| <p data-bbox="240 1424 533 1458">Superficie de contorno</p>  <p>The figure is a contour plot titled 'Gráfica de contorno de Resistencia vs. Ancho; Largo'. The y-axis is 'Ancho' and the x-axis is 'Largo', both ranging from -1.0 to 1.0. The plot shows contour lines representing different levels of resistance. The legend indicates resistance levels: &lt; 40.0 (dark blue), 40.0 - 42.5 (blue), 42.5 - 45.0 (light blue), 45.0 - 47.5 (very light blue), 47.5 - 50.0 (light green), 50.0 - 52.5 (medium green), 52.5 - 55.0 (dark green), and &gt; 55.0 (black). The plot shows that resistance increases as Largo and Ancho increase.</p> | <p data-bbox="906 1473 1353 1951">La gráfica de contorno muestra la relación que pudiese existir al analizar 3 variables aunque no se limita a este valor solamente. Se muestra la proyección geométrica para analizar los cambios en forma o altura de la respuesta. (Fernández Melcón &amp; Piñeiro Barcia, 2004)</p>   |

| Gráfica  | Estudio  |
|--|--|
| <p data-bbox="240 248 512 282">Gráfica de superficie</p>  | <p data-bbox="901 300 1353 725">La gráfica de superficie de respuesta se apoya en el método de buscar el punto óptimo cuando se modifican las variables cuantitativas de ingreso. De esta forma se determina el valor en que las condiciones óptimas se producen. (Figuroa, 2003)</p>  |
| <p data-bbox="240 779 488 813">Gráficas residuales</p>   | <p data-bbox="901 779 1353 1308">Las gráficas residuales permiten determinar el cumplimiento de supuestos utilizados en el DOE, que permiten trabajar sobre datos que se ajustan a la estadística paramétrica o a su vez denotan la necesidad de utilizar aproximaciones para evitar sesgo en el análisis efectuado. (Kuehl, 2001)</p> |

**Tabla 15.-** Tabla de herramientas comunes en el DOE factorial

**Fuente:** Varios.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

### 2.6.3. Optimización

Uno de los problemas que se encuentra cuando se analiza un grupo de variables es que existe la posibilidad de encontrar múltiples respuestas que pretenden optimizar la respuesta de un modelo. Por su lado, los costos de la calidad siempre se pretenden reducir, pero con la menor cantidad de ensayos posibles. Teniendo esta consideración presente, se conciben varios modelos que plantean la forma de optimización de una respuesta. (Domínguez Domínguez, 2006)

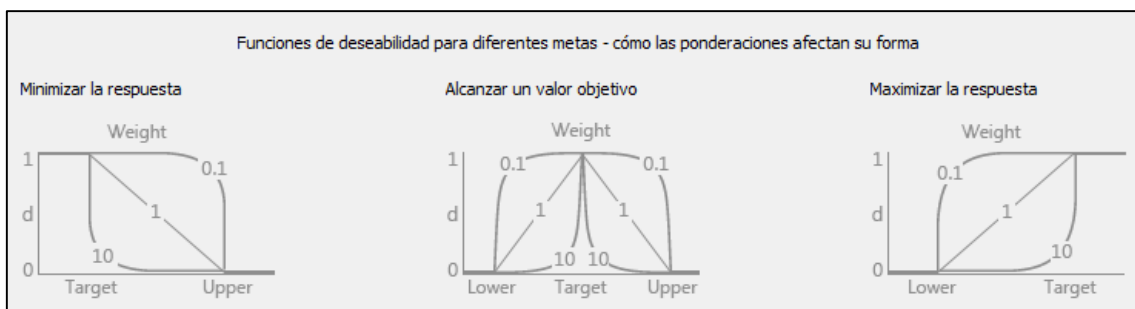
La función de conveniencia asume una relación lineal entre las respuestas encontradas y cuando no es este el caso, se trabaja con un modelo de conveniencia no lineal de

Harrington. De Villavicencio Ferrer (2002, págs. 83 - 89) recomienda utilizar ese método junto con el análisis para diseños de mezclas considerando que se pretende mejorar la función de deseabilidad global.

Limón, Rodríguez, Sánchez, & Tlapa, (2012, págs. 151 - 166) por su parte plantean la metodología bayesiana para optimizar múltiples respuestas, considerando que no todas ellas generan puntos óptimos. Se transforma el criterio a una sola variable y se plantea la relevancia de las mismas al trabajar con la media geométrica ponderada de probabilidades estudiando a cada variable para determinar si cumple o no con su especificación.

La función de deseabilidad compuesta analiza la posibilidad de que en varias respuestas se tengan puntos óptimos en donde la respuesta es ideal, este valor oscila entre 0 y 1, para el cual si el valor es 0 confirma que una o más respuestas se encuentran fuera de las especificaciones planteadas, sean estas maximización o minimización de la respuesta. El valor de transferencia se sustenta en la transformada de LaPlace para relacionar variables racionales<sup>18</sup> y obtener respuestas estáticas, temporales y de frecuencia. (Alós Peñarrocha, Sanchis, & Romero Pérez, 2009)

La función de deseabilidad permite tener gráficas de optimización con el tratamiento expresado en la ilustración 5.



**Ilustración 5.-** Función de deseabilidad para diferentes metas

**Fuente:** (Minitab, 2015)

Los criterios de optimización que se manejan son minimizar, maximizar y alcanzar un valor objetivo, con una ponderación e importancia de 0,1 a 10. Donde 0,1 es el nivel menos importante de asignación en el modelo y 10 es una asignación vital para alcanzar una respuesta objetivo.

<sup>18</sup> Se busca que el conjunto de respuestas óptimas no generen cero en el denominador al calcular su dominio.

En general se pide minimizar los costos o materiales usados, maximizar beneficios económicos o rendimientos en procesos y alcanzar valores meta cuando se desea alcanzar el diseño preestablecido.

## **2.7. Pruebas de significancia**

Cuando se establece el modelo experimental y se pone a prueba los ensayos desde un modo analítico, se convierte en una necesidad evaluar la posibilidad de haber cometido el error tipo I<sup>19</sup> o tipo II<sup>20</sup> estadístico.

El aceptar hipótesis nulas cuando son en realidad falsas o viceversa, es una posibilidad que puede aparecer y para la cual se requiere someter los modelos a pruebas que validen la certeza de los resultados logrados. Aunque en muchas investigaciones se esquivan este análisis, es aún más preocupante la falta de bases que con las que se justifican dichos estudios. De allí que varios estadistas debatan ampliamente la mejor forma de realizar estas pruebas y las condiciones apropiadas de cálculo. (González, 2010, págs. 349 - 356)

Varios autores suelen recomendar un método de análisis u otro según el nivel de potencia que tiene la prueba, de estos se suele destacar el test de Tukey por su simplicidad y significancia aceptable (García Villalpando, Castillo Morales, Ramírez gúzman, Rendón Sánchez, & Larqué Saavedra, 2001, págs. 79-86)

Sin embargo, esto es debatible para varios especialistas, ya que se afirma que el uso de pruebas de comparación múltiple permite evaluar la significancia práctica estadística de las diferencias entre las medias al analizar los intervalos e hipótesis o ambos, considerando la finalidad de cada prueba (Minitab, 2015). Por lo tanto, cada test planteado no debe aplicarse por ser el más fácil o el más potente, se debe tener en cuenta el objeto de comparación y análisis. (González, 2010)

### **2.7.1. Prueba de Dunnett**

Esta prueba permite comparar los tratamientos contra un control, generando un rango de intervalos de confianza bilaterales y colocando la diferencia significativa a uno de los lados de dicho intervalo. (Kuehl, 2001, pág. 106)

Como ejemplo suponga que debe exportar lotes mensuales de 25 000 unidades de queso a un país Z. La condición de entrega es que el sabor del queso debe parecerse al elaborado

---

<sup>19</sup> Error tipo I: Rechazar  $H_0$  cuando es verdadero. La probabilidad de hacerlo es  $\alpha$ .

<sup>20</sup> Error tipo II: Aceptar  $H_0$  cuando es falso. La probabilidad de hacerlos es  $\beta$

por una marca dominante del sector y por lo tanto efectúa un diseño de experimentos para ajustar su proceso. En este caso el grupo de control será el producto de la empresa que ya produce el sabor característico, y la prueba de Dunnett permitirá evaluar si su lote tiene o no una diferencia significativa con el testigo<sup>21</sup>. Así se podrá saber si se cumple o no con la petición.

### **2.7.2. Prueba de Tukey**

También se denomina método de la diferencia significativa honesta (DSH) y es considerada una prueba conservadora<sup>22</sup>. Se realiza la comparación de las medias de los tratamientos contra un valor crítico dado por la relación entre el rango estandarizado y el cuadrado del error medio con n grados de libertad.

Para entender esta prueba, ahora suponga que no puede cumplir el pedido de 25 000 unidades con una sola planta de producción, lo cual lo lleva a utilizar las 4 plantas restantes de las cuales dispone.

Cada planta tiene una asignación de 5 000 unidades a producir, pero considere que el lote de entrega es único y la calidad esperada es que todas las unidades tengan las mismas características sin importar en qué planta se produjeron. Con la prueba de Tukey puede determinarse si existe diferencia significativa de alguna media entre estos lotes.<sup>23</sup>

### **2.7.3. Prueba LSD de Fisher**

Utilizando el estadístico de Fisher (valor F) se generan intervalos de confianza para las diferencias de las medias, controlando el error individual y el número de comparaciones de los tratamientos (Minitab, 2015). La prueba requiere que exista una diferencia mínima significativa entre las medias muestrales para afirmar que realmente lo existe también entre los tratamientos. (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 75)

En el ejemplo propuesto, dentro los 5 lotes de 5 000 unidades de queso, no solo pueden existir diferencias entre los lotes, y de lotes respecto al grupo de control. Puede también considerarse que existen diferencias entre las unidades de un mismo lote. En este caso un test LSD puede encontrar tales diferencias. En un caso experimental la prueba revelaría que tratamiento del diseño es diferente de los demás.

---

<sup>21</sup> Se llama testigo al grupo de control.

<sup>22</sup> En estadística conservador significa débil.

<sup>23</sup> Esto explica porque la Prueba de Tukey se suele asociar mucho con un DOE – DBCA para probar si existe diferencia significativa entre los bloques.

#### **2.7.4. Prueba MCB de HSU**

Esta prueba permite identificar los mejores niveles de los factores, asignando el criterio de mejor, a la media más alta o la más baja según se requiera. MCB significa método de comparaciones múltiples con el mejor y se considera un test potente al generar intervalos más estrechos que los de Tukey. (Hsu, 1985, págs. 2009-2028)

#### **2.7.5. Prueba de Duncan**

Duncan pone a prueba todos los pares de medias para evaluar la hipótesis nula de que  $\mu_i = \mu_j$ , para lo cual se requiere que los promedios de los tratamientos se coloquen en forma ascendente. (Vicente, Girón, Nieto, & Pérez, 2005).

El proceso de Duncan compara la relación de pares empezando por las más pequeñas hasta las más grandes, tales que, si los pares comparados aumentan es necesario que las diferencias sean mayores para tener niveles significativos. (Vicente, Girón, Nieto, & Pérez, 2005)

Esta prueba suele usarse comúnmente en comparaciones de todos los pares de medias de categoría no planeadas cuando son de igual tamaño. (Mendoza H, 2002)

#### **2.7.6. Método de Bonferroni**

Se utiliza este método en forma general para establecer comparaciones de medias cuando son pequeñas. Es muy fácil de utilizar pero tiene como desventaja que es una de las pruebas menos potentes por generar intervalos de confianza amplios. Esta prueba tiene como hipótesis nula que todas las hipótesis iniciales son verdaderas al mismo tiempo, varios autores afirman que este método causa más problemas de lo que soluciona. (Pernejer, 1998, págs. 1236-1238)

### **2.8. Criterios de la Calidad**

Es necesario comprender la concepción de calidad para saber qué esperar del resultado de una optimización y determinar si los alcances logrados son los correctos en base a un enfoque adecuado.

Según el modelo de la norma ISO 9000, (2005) calidad es el “grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos”, entendiéndose por requisito “necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria”.

### 2.8.1. Calidad mundial vs Calidad total

Se ha debatido el criterio acerca de qué enfoque permite alcanzar la mejor noción de calidad. El enfoque de Calidad Total (TQM) se basa en el contacto directo con el cliente y se toma sus necesidades como base inicial para el desarrollo QFD<sup>24</sup> (Powell, 1995, págs. 15-37), en tanto calidad mundial ( $6\sigma$ ) adopta un criterio de cero defectos teórico, aceptando una variabilidad en el proceso que permite establecer tolerancias de hasta 3,4 DPMO<sup>25</sup> (Breyfogle III, 2003).

Estos enfoques han logrado con el transcurso del tiempo tener detractores hacia cada uno de ellos. Estadísticos como Donald J. Wheeler han calificado de una falacia y hasta de arrogante a six sigma, al considerar que las bases de esta filosofía no se sustentan por asumir variables en los procesos como normativas, una de ellas el cambio de  $1,5\sigma$  que se asume al replicar los procesos en el tiempo y justificándola como variación natural del proceso.

Investigadores a favor de esta filosofía afirman que sólo se trataría de una confusión por la falta de información (Tadikamalla, 1994), ya que six sigma es entre varias cosas, una marca comercial y de servicio registrada por Motorola.

La idea de Calidad total y mejora continua no se ha salvado a las críticas, aunque se promueven sus beneficios y se la asocia a las doctrinas mostradas por las norma ISO 9000 e ISO 9001 (Fuentes Fuentes, 1997), es la práctica y aplicación la que genera debate, al considerarla una “poesía” y con débiles criterios estadísticos o matemáticos, para medir los objetivos logrados con TQM.

Esta parecería ser la falencia aprovechada por defensores de la calidad mundial llegándola a considerar como una salida a las crisis económicas en las que se ven envueltas las industrias, por sustentar que el cumplimiento de especificaciones sin desvíos de calidad permite reducir los costos empresariales. (Corcoba, 2010), y más aún cuando se instituyó la normativa de métodos cuantitativos en la mejora de procesos ISO 13053:2011.

Con estas consideraciones, se destaca la importancia de generar calidad con bases sólidas que respalden la validez de resultados y no se descuide la voz del cliente.

---

<sup>24</sup> QFD: Despliegue de la función calidad.

<sup>25</sup> DPMO: Defectos por millón de oportunidades de error.



### 2.8.2. El Diseño de experimentos en Six Sigma

Es muy común considerar que el corazón del Six Sigma es el Diseño de Experimentos. En tanto que se considera a  $6\sigma$  una filosofía medible y alcanzable generalmente con metodologías como DMAIC o DMADV (entre otras) (Cronemyr, 2007, págs. 193-209), el diseño de experimentos permite que en las fases analizar y mejorar para Dmaic o diseñar para Dmadv, se planteen procesos con alto grado de mejora, optimizados en parámetros de calidad y robustos<sup>26</sup>. (Brutu, 2010, págs. 37-42)

La complejidad que presenta el diseño de experimentos por sus herramientas y rigurosidad de análisis, suelen hacer que las empresas eviten esta práctica de mejora y acudan a herramientas menos demandantes pero débiles para garantizar cambios significativos en la gestión de calidad. (Tanco & Viles, 2008)

Esto ha hecho que aparezcan diferentes enfoques y críticas a los modelos que pretenden dar una estructura sistemática al proceso de experimentación, de los más destacables el enfoque clásico, de Shainin y Taguchi (Tanco, Viles, & Pozueta, 2009, págs. 29-37).

Por su parte Six Sigma causa temor a los CEO que ven a esta filosofía como una práctica de alto costo y altamente consumidora de recursos. Por lo que se ha llevado a fusionar su visión de calidad con metodologías más conocidas como el ciclo PHVA y herramientas EFQM<sup>27</sup> de mejora continua propias del concepto de calidad total. (Sokovic, Pavletic, & Pipan, 2010, págs. 476-483)

Es común que Six sigma se vea sometido a la mediocridad de ejecución. Se busca mejorar procesos, evitando entrar en el estudio DOE, lo que lleva a solucionar los problemas y optimizar procesos con cambios de maquinaria o renovación de tecnología, sin llegar a comprender si esa es la única solución factible y que resulta casi siempre muy costosa. Se suele conformar con analizar los procesos a través de cartas de control o índices de capacidad, pero estas herramientas ayudan a entender cuál es la variabilidad del sistema, pero no ayudan a diseñar soluciones que modifiquen el proceso de forma acertada y que garantice en el tiempo sostener la mejora.

Sin duda, la mejor sinergia la representa el DOE con filosofía six sigma, ya que las mejoras alcanzables como resultado de la aplicación de herramientas potentes y objetivos

---

<sup>26</sup> Un diseño robusto permite garantizar que las mejoras se mantendrán a través del tiempo.

<sup>27</sup> EFQM: European Foundation for Quality Management.

claramente medibles, contribuyen a que calidad mundial sea el concepto adecuado para ausentar los errores. Además esta estrategia permite fusionar las mejoras encontradas al rediseño del sistema con herramientas “lean”<sup>28</sup> reduciendo costos, tiempo y dificultad de operación con las nuevas mejoras. (Mike, Rowlands, & Kastle, 2007)

### **2.8.3. PHVA**

Conocido como círculo de la calidad consiste en cuatro etapas (Pérez Villa & Múnera Vásquez, 2007, pág. 50):

- Planear.- Es la etapa inicial, se establecen y definen las metas y el plan que se seguirá en el proyecto general.
- Hacer.- Esta etapa es de ejecución, se recuerda a Deming afirmando que es este el momento donde *“se debe despedir a los ingenieros y contratar a gente que trabaje”* Testificando que esta es la parte más laboriosa y demandante en el ciclo y se necesita llevar a cabo las ideas (Walton, 1988). También es necesario no olvidar los controles para verificar que el plan se esté cumpliendo como se esperaba.
- Verificar.- Aquí se comparan los resultados planeados con los que se obtienen realmente.
- Actuar.- Sistematización y documentación de los resultados planteados.

Si se toma como referencia este método y se lo compara con el Dmaic, se encuentran múltiples similitudes y se entiende por qué varios investigadores migran sus métodos a este ciclo, obteniendo sencillez y orden en los sistemas de experimentación.

---

<sup>28</sup> Lean: Concepto que representa agilidad y simplificación en los procesos.

## CAPÍTULO 3

### 3. DELIMITACIÓN DE VARIABLES

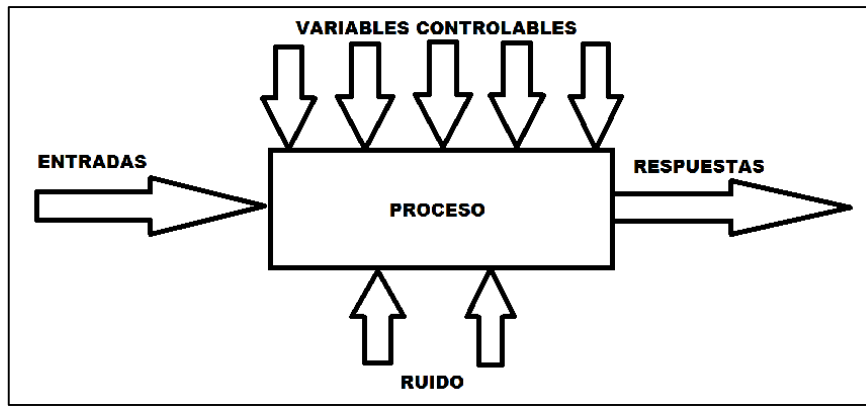
Para dar tratamiento<sup>29</sup> a las variables involucradas en la experimentación, se requiere priorizar las mismas. Esto debido a que resulta muy difícil y costoso en cualquier experimento modelar todos los factores que intervienen en un caso de análisis. (Ferré & Rius, 2002)

De esta forma las variables que no se puedan examinar debido a su costo, tiempo requerido para determinar su valor, baja precisión de sus valores por los instrumentos o método de medición utilizados, se sabe por anteriores referencias u investigaciones previas que no influyen en los resultados buscados, peligrosidad al realizar su manipulación, condiciones no adecuadas para su análisis, entre otros, se podrán aislar, bloquear o considerar constantes (Tanco & Viles, 2008).

- Se considera aislamiento de una variable cuando por información previa ya se conoce que el efecto en las variables de estudio es irrelevante o por su naturaleza puede resultar peligrosa para ser manipulada.
- Se tiene una variable en estado de bloqueo cuando por su dificultad para ser medida, no se puede tener datos o a su vez los valores observados tienen alto grado de incertidumbre.
- Se consideran constantes los valores de una variable, cuando no se puede tener mediciones y aunque existieran cambios en la realidad del experimento, se sabe que estos no tienen influencia representativa en las variables de estudio.
- Finalmente a estas variables se la denomina ruido y aunque no se consideren dentro de la experimentación no significa que no se pueda determinar su influencia en la investigación. Ya que, al existir datos no concordantes con la realidad de los procesos analizados, significa que una variable no considerada ejerce influencia dentro del análisis.

---

<sup>29</sup> Se denomina tratamiento cuando el método de experimentación es factorial o a su vez el objetivo es determinar comportamientos o tendencias de las variables de estudio.



**Ilustración 6.-** Representación de un proceso con la teoría de la caja negra

**Fuente:** (Tanco & Viles, 2008, pág. 20)

Varios expertos señalan que es conveniente realizar tratamientos de 2 a 3 variables, ya que las combinaciones resultantes siguen un comportamiento exponencial y tener demasiadas afecta a la resolución<sup>30</sup> del experimento y por consiguiente es muy compleja su interpretación.

### 3.1. Variables de entrada

Considerando el propósito de la investigación para el cual se requiere analizar el impacto que tiene la densidad de la leche en el producto final (queso fresco), se tiene a la densidad como variable de entrada para la prueba.

La manipulación de la misma o la aleatorización de acuerdo al valor tomado en la leche constituye los valores de experimentación.

#### 3.1.1. Determinación de la densidad

Existen dos métodos avalados para determinar la densidad de la leche de forma confiable (NTE INEN 0011, 1984)

- a) Picnómetro
- b) Lactodensímetro

Para la investigación se utilizó el método del lactodensímetro cuyas consideraciones a tener en cuenta son (NTE INEN 0011, 1984):

- Colocar la muestra en una probeta, hasta el valor final (250 cm<sup>3</sup> en este caso).

<sup>30</sup> Describe hasta qué punto los efectos de un diseño se pueden confundir con otros y que por lo tanto no se pueden estimar por separado. Minitab, Inc. (2014). Minitab Statistical Software, Versión 17-para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.

- Evitar que se genere espuma y mantener una temperatura estable.
- Sumergir el lactodensímetro hasta su posición en equilibrio y dar un giro para evitar que se pegue a las paredes de la probeta.
- Cuando el lactodensímetro se encuentre estable tomar la medición.

Para el cálculo se debe tener en consideración la temperatura de la muestra en el momento que se realiza la medición de la densidad, esta sirve como un factor de corrección si el valor es diferente de 20°C. Expresándose:

$$d_{20} = d + 000,2(t - 20)$$

Donde:

$d_{20}$ : densidad a 20°C.

d: densidad aparente.

t: temperatura de la muestra.

### **3.2. Variables de estudio**

Las variables de estudio y fuentes de tratamiento para evaluar si existe compensación ante la inestabilidad de la densidad se adoptarán dentro del proceso de coagulado, ya que por experiencia empírica de las Microempresas se presume que los componentes de este proceso alterarían favorablemente el producto final. Dentro de este proceso se tienen las siguientes variables:

- Cantidad de Cloruro de calcio
- Cantidad de Cloruro de sodio
- Cantidad de Cuajo
- Temperatura de coagulado
- Temperatura de enfriamiento
- Temperatura ambiente
- Tiempo de coagulado
- Tiempo de enfriamiento

Por lo tanto, un análisis de todas las variables resulta además de extenso, ineficiente, si se considera que estas al interactuar dentro del proceso de coagulado generan interacciones, por lo cual se requiere realizar una discriminación de variables, como se muestra en la tabla 16.

| <b>Variable</b>               | <b>Requiere estudio</b> | <b>Fundamento</b>   | <b>Tipo de acción</b> |
|-------------------------------|-------------------------|---|-----------------------|
| Cantidad de Cloruro de calcio | SI                      | Variable que por presunción puede alterar la variable de respuesta.   | Analizable            |
| Cantidad de Cloruro de sodio  | SI                      | Variable que por presunción puede alterar la variable de respuesta  | Analizable            |
| Cantidad de Cuajo             | SI                      | Variable que por presunción puede alterar la variable de respuesta  | Analizable            |
| Temperatura de coagulado      | NO                      | Se conoce que cuando la temperatura supera los 71 grados centígrados, el proceso de coagulado se detiene. Por el contrario, cuando la temperatura es baja (inferior a 35°C) es proceso de coagulación es demasiado lento aunque si se consigue elaborar el queso. (NTE INEN 1528, 2012) | Aislada               |
| Temperatura de enfriamiento   | NO                      | Según la norma INEN NTE 1528 Norma general para queso fresco, la temperatura a la cual se debe llevar concluida la fase de pasteurización es de 35°C  | Aislada               |
| Temperatura ambiente          | NO                      | Considerando las condiciones del laboratorio no se puede manipular esta variable.   | Bloqueo               |
| Tiempo de coagulado           | NO                      | La temperatura de coagulado afecta favorablemente las condiciones organolépticas del queso fresco, cuando este es de 35 minutos, considerando los tiempos 30 – 35 – 40 minutos. (Ibáñez Castillo, 2015)   | Aislada               |
| Tiempo de enfriamiento        | NO                      | Debido al método prediseñado para el experimento, esta variable es difícil medirla debido que para conseguir la temperatura adecuada (65°C de pasteurizado - 35°C para coagulación) no se dispone de un tiempo idóneo, más allá del señalado como el menor posible.                     | Bloqueo               |

**Tabla 16.-** Selección de variables de estudio

**Fuente:** Varios

**Elaborado por:** Christian Rosero

### 3.3. Variables críticas de calidad

Considerando el lineamiento de la investigación y su alcance a nivel organoléptico, se consideran las variables expuestas en la tabla 17.

| Variable           | Tipo         | Evaluación  |
|--------------------|--------------|-------------|
| Peso (neto)        | Cuantitativa | Medición    |
| Sabor              | Cualitativa  | Degustación |
| Olor <sup>31</sup> | Cualitativa  | Degustación |
| Apariencia         | Cualitativa  | Degustación |
| Impresión general  | Cualitativa  | Degustación |

**Tabla 17.-** Variables críticas de calidad

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** Christian Rosero

Se descarta realizar la evaluación de la textura, ya que esta variable es cuantitativa y requiere un instrumento de medición adecuado, igualmente su valoración por el método de degustación es difícil de llevarse a cabo con resultados confiables. Además, varios investigadores recomiendan que en modelos de primer nivel se analice una sola variable de respuesta cuantitativa para reducir el tiempo de investigación.

Asimismo, se descarta la evaluación de variables sensoriales como el aroma, textura, deformabilidad, consistencia, adherencia, entre otras, debido a que evaluar cuantiosas variables de estudio para el grupo de degustación en la práctica representa un problema.

### 3.4. Planteamiento de hipótesis

#### 3.4.1. Hipótesis nula

H<sub>0</sub>: La modificación en los valores de los factores involucrados en el proceso de coagulado (calcio, cuajo, sodio)<sup>32</sup> afectan favorablemente las variables críticas de calidad cuando existe baja densidad en la leche.

#### 3.4.2. Hipótesis alternativa

H<sub>1</sub>: La modificación de los factores involucrados en el proceso de coagulado (calcio, cuajo, sodio) no afectan favorablemente las variables críticas de calidad cuando existe baja densidad en la leche.

---

<sup>31</sup> Nótese la diferencia entre Aroma y Olor. El aroma es la sensación que se experimenta al tener la prueba o unidad en el paladar y se requiere contener el aire para percibirla; el olor por su parte se aprecia por la nariz en forma externa. (Molina Hernández, 2011, pág. 2)

<sup>32</sup> Entiéndase por calcio y sodio, a los ingredientes Cloruro de Calcio y Cloruro de Sodio.

## CAPÍTULO 4

### 4. EXPERIMENTACIÓN

#### 4.1. Modelo

Considerando que la investigación es nueva, sin información experimental previa sobre los factores de análisis y las relaciones entre las mismas. Se procede a seleccionar un modelo de cribado<sup>33</sup>, para el cual se tiene:

Variable de entrada (independiente):

- Densidad de la leche. Se evalúa este valor ya que, si se adiciona agua en la leche, se puede saberlo midiendo la densidad a través de la prueba rápida<sup>34</sup>.

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)

##### 4.1.1. Localización

PROVINCIA:           IMBABURA

CANTÓN:             IBARRA

PARROQUIA:         SAN FRANCISCO

---

<sup>33</sup> Los Diseños de cribado permiten realizar discriminación de factores con baja o nula incidencia en el experimento.

<sup>34</sup> Se conoce como prueba rápida al método de análisis de densidad con el lactodensímetro.



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    |

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Datos correspondientes al segundo semestre de 2015. (Disponible en línea).

#### **4.1.2. Materiales**

Los materiales utilizados en el proceso de experimentación fueron:

- 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:  $0,1^\circ\text{C}$  /  $0,1^\circ\text{F}$
- Lactodensímetro Quevenne  
Escala: 1,015 - 1,040:  
Resolución:  $0,001\text{ g/cm}^3$
- 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: +- 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

#### **4.1.3. Método**

El método de realización del queso fresco fue de acuerdo a la norma NTE INEN 1528:2012 General para queso fresco. Cuyos valores en el proceso de coagulado se asignaron siguiendo el método de investigación científico, donde el observador altera las condiciones del proceso en condiciones de control. (Blaxter, Hughes, & Tight, 2008). (Ver anexo A). 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. (Ver anexo B).

## 4.2. Metodología de la experimentación

La metodología propuesta se basa en el método científico. La observación considera la recolección de datos. Proposición, establecer las dudas a estudiar. Hipótesis que deberá ser contrastada. Experimentación y verificación que consiste en poner a prueba las hipótesis planteadas y conclusiones que indican el porqué de los resultados. (Tamayo M., 2001). Estructurando en un procedimiento de la siguiente manera.

### 4.2.1. Fase Planear

En esta etapa de delimitaron las variables de estudio a un máximo de tres para tener un modelo experimental manejable. Se establecieron los niveles de estudio en dos (máximo, mínimo).

#### 4.2.1.1. Niveles

Los valores máximos se denotan como “+” y valores mínimos como “-”.

Las variables de estudio se fijaron para: Cloruro de calcio: A. Cuajo: B. Cloruro de sodio: C. Tal como se expresa en la tabla 18.

| Variable          | Símbolo | Niveles | Nivel bajo <sup>35</sup> | Nivel alto <sup>36</sup> |
|-------------------|---------|---------|--------------------------|--------------------------|
| Cloruro de calcio | A       | 2       | -                        | +                        |
| Cuajo             | B       | 2       | -                        | +                        |
| Cloruro de sodio  | C       | 2       | -                        | +                        |

**Tabla 18.-** Niveles de los factores de experimentación

**Fuente:** El autor.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

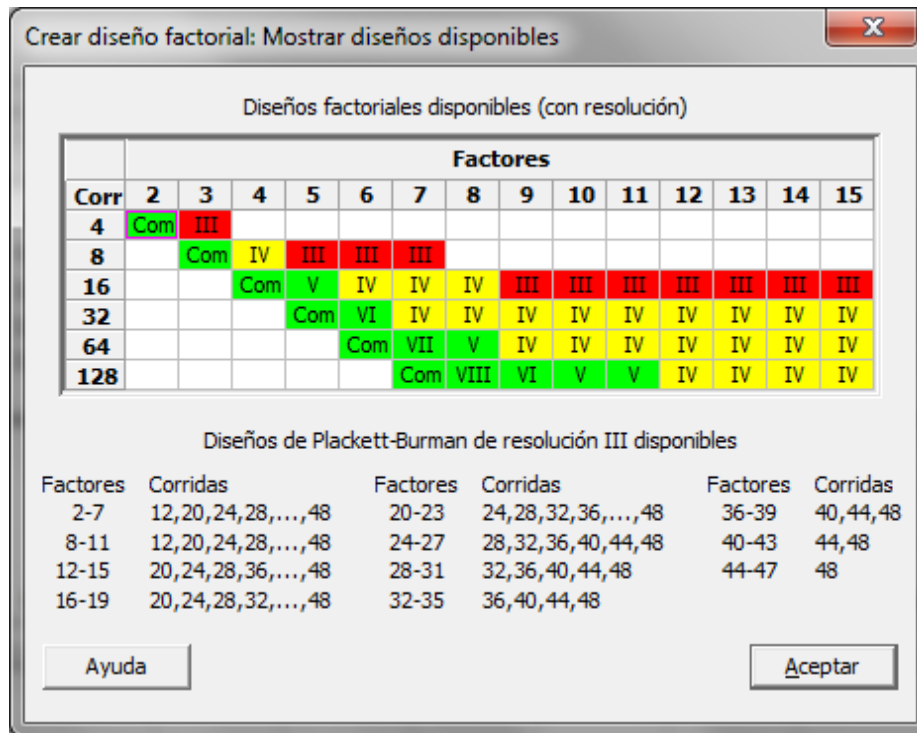
Con los niveles y el número de variables se consideró el modelo factorial  $2^3$ . Se examina este modelo ya que permite determinar una combinación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea mejor, analizando con el mismo interés dichos factores. (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 25)

#### 4.2.1.2. Población y muestra

Para la investigación se trabajó con un diseño factorial completo, para obtener una resolución ideal sobre los factores con las características reflejadas en la ilustración 7.

<sup>35</sup> El nivel bajo también se lo representa como (-1)

<sup>36</sup> El nivel alto también se lo representa como (+1)



**Ilustración 7.-** Diseños y resoluciones para modelos factoriales

**Fuente:** Minitab 17

Para el modelo factorial 2x3 se requieren mínimo 8 corridas experimentales que generan un diseño completo, o a su vez 4 corridas para tener un diseño de resolución<sup>37</sup> III, el cual no es recomendable ya que los niveles III y IV generan confusión del efecto resultante de los factores de estudio.

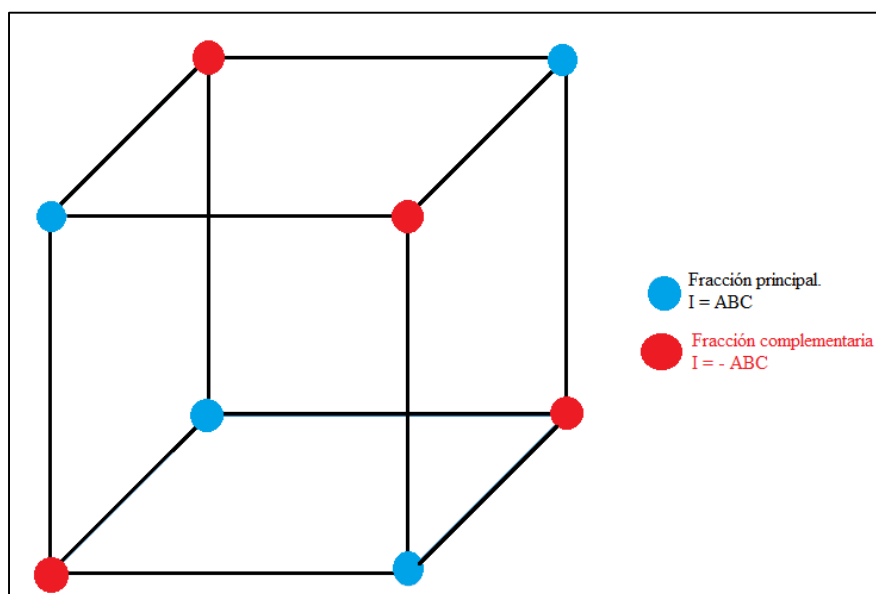
Para comprender la idea de la resolución experimental, se considera en este caso el modelo 2x3 también denotado 2<sup>3</sup>. En este sistema de análisis se pueden estimar 7 efectos siendo estos: A, B, C los efectos de los factores A, B, C. sin embargo se necesita reflexionar que dichos factores pueden interactuar entre sí en los procesos, por lo que se tienen los además los efectos AB, AC, BC, ABC. (Gutiérrez Pulido, 2008)

Ahora, es muy común que la experimentación repasando en parámetros de tiempo e inversión monetaria, sea considera costosa. Por lo cual, no siempre resulta fácil manejar diseños completos y se debe trabajar con una fracción del modelo ideal estimando los efectos de los tratamientos con la misma certeza estadística.

<sup>37</sup> La resolución de los diseños permite que los efectos resultantes de los factores en una experimentación no se confundan entre sí.

De las múltiples investigaciones realizadas por expertos, se conoce que el tratamiento que comúnmente es el menos influyente en la experimentación suele ser el efecto ABC. (Gutiérrez Pulido, 2008, pág. 262)

Esta información permite la creación de los modelos factoriales fraccionados denominados  $2^{k-p}$  y para generar la fracción se hace uso de los valores “+” para la fracción principal y “-” la fracción complementaria. Esta estructura se basa en los modelos de ortogonalidad cuyos efectos se estiman a partir del contraste<sup>38</sup> obtenido.



**Ilustración 8.-** Diseño factorial 2x3 sin interacción ABC

**Fuente:** (Gutiérrez Pulido, 2008)

**Elaborado por:** Christian Rosero

En el caso del cubo de la ilustración 8, se representan los factores A, B, C sin interacción como efecto ABC. Cuando los efectos tienden a confundirse entre los factores estudiados se genera una estructura de alias (Montgomery, 2004), donde se muestra las posibles confusiones que puede presentar el diseño.

Debido a que se analizan 3 factores con 2 niveles tanto la densidad de la leche como los factores de coagulado para constituir datos legibles, es necesario formar 4 bloques de estudio. Los bloques pares se designarán al estudio de la densidad (Máximo) y los

<sup>38</sup> El contraste muestra que tan diferentes son los efectos entre unos factores y otros. (Gutiérrez Pulido, 2008)

impares (Mínimo), cuyos valores se obtendrán a partir de la pre-experimentación, así mismo, la validación y discriminación de resultados no aptos.

Se generarán cuatro replicas para tener un total de 44 corridas experimentales, que satisfacen ampliamente la resolución de un modelo  $2^3$  completo, evitando que los factores principales se confundan con factores combinados. Por lo tanto el modelo sugerido es un diseño factorial completo con las características reveladas en la tabla 19.

Factores: 3    Diseño de la base: 3; 8  
 Corridas: 44    Réplicas: 4  
 Bloques: 4    Puntos centrales (total): 12  
 Generadores de bloques: réplicas  
 Todos los términos están libres de estructuras alias.

| OrdenEst | OrdenCorrid | PtCentral | Bloques | A  | B  | C  |
|----------|-------------|-----------|---------|----|----|----|
| 1        | 1           | 1         | 1       | -1 | -1 | -1 |
| 2        | 2           | 1         | 1       | 1  | -1 | -1 |
| 3        | 3           | 1         | 1       | -1 | 1  | -1 |
| 4        | 4           | 1         | 1       | 1  | 1  | -1 |
| 5        | 5           | 1         | 1       | -1 | -1 | 1  |
| 6        | 6           | 1         | 1       | 1  | -1 | 1  |
| 7        | 7           | 1         | 1       | -1 | 1  | 1  |
| 8        | 8           | 1         | 1       | 1  | 1  | 1  |
| 9        | 9           | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  |
| 10       | 10          | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  |
| 11       | 11          | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  |
| 12       | 12          | 1         | 2       | -1 | -1 | -1 |
| 13       | 13          | 1         | 2       | 1  | -1 | -1 |
| 14       | 14          | 1         | 2       | -1 | 1  | -1 |
| 15       | 15          | 1         | 2       | 1  | 1  | -1 |
| 16       | 16          | 1         | 2       | -1 | -1 | 1  |
| 17       | 17          | 1         | 2       | 1  | -1 | 1  |
| 18       | 18          | 1         | 2       | -1 | 1  | 1  |
| 19       | 19          | 1         | 2       | 1  | 1  | 1  |
| 20       | 20          | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  |
| 21       | 21          | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  |
| 22       | 22          | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  |
| 23       | 23          | 1         | 3       | -1 | -1 | -1 |
| 24       | 24          | 1         | 3       | 1  | -1 | -1 |
| 25       | 25          | 1         | 3       | -1 | 1  | -1 |
| 26       | 26          | 1         | 3       | 1  | 1  | -1 |
| 27       | 27          | 1         | 3       | -1 | -1 | 1  |
| 28       | 28          | 1         | 3       | 1  | -1 | 1  |
| 29       | 29          | 1         | 3       | -1 | 1  | 1  |
| 30       | 30          | 1         | 3       | 1  | 1  | 1  |
| 31       | 31          | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  |
| 32       | 32          | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  |
| 33       | 33          | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  |
| 34       | 34          | 1         | 4       | -1 | -1 | -1 |
| 35       | 35          | 1         | 4       | 1  | -1 | -1 |

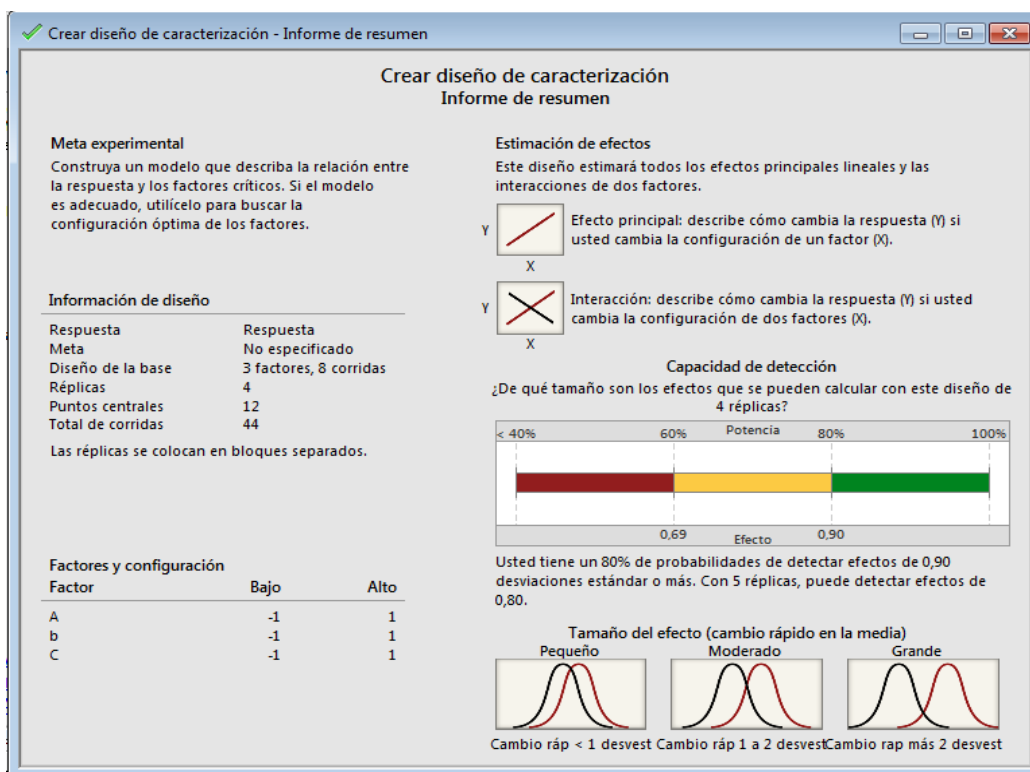
| OrdenEst | OrdenCorrid | PtCentral | Bloques | A  | B  | C  |
|----------|-------------|-----------|---------|----|----|----|
| 36       | 36          | 1         | 4       | -1 | 1  | -1 |
| 37       | 37          | 1         | 4       | 1  | 1  | -1 |
| 38       | 38          | 1         | 4       | -1 | -1 | 1  |
| 39       | 39          | 1         | 4       | 1  | -1 | 1  |
| 40       | 40          | 1         | 4       | -1 | 1  | 1  |
| 41       | 41          | 1         | 4       | 1  | 1  | 1  |
| 42       | 42          | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  |
| 43       | 43          | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  |
| 44       | 44          | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  |

**Tabla 19.-** Tabla de diseño sin aleatorizar

**Fuente:** El autor

**Elaborado por:** Christian Rosero.

No se ha especificado la meta matemática del diseño ya que el objetivo es determinar el comportamiento de las variables y sus interacciones a los dos niveles con el mismo interés, es decir, se analizarán los resultados obtenidos tanto para la maximización y minimización con la misma atención. De esta manera, se puede conseguir estimar los efectos a 0,9 desviaciones estándar (considerados cambios pequeños) con una probabilidad de éxito del 80%, tal como se muestra en la ilustración 9.



**Ilustración 9.-** Caracterización del diseño

**Fuente:** El autor obtenido del diseño preliminar

**Elaborado por:** Christian Rosero

#### **4.2.1.3. Aleatorización y tiempo de experimentación**

Dentro del análisis estadístico existen varios supuestos necesarios para utilizar herramientas que permitan conocer y cumplir condiciones teóricas de estudio. La aleatorización de las corridas contribuye a:

- Separar el error casual. Al aleatorizar las corridas se reduce la posibilidad de que los datos sean sesgados y se puede conocer el error real de experimentación, así como la real influencia de los factores de estudio.
- Evitar el efecto derivado en el proceso por la curva de aprendizaje y fenómeno de olvido del experimentador. Al realizar las corridas experimentales y hacer el ensayo, el experimentador aprende de forma empírica a optimizar el proceso alterando su patrón de trabajo. Es necesario que el método de creación de las muestras experimentales sea por lo tanto lo más similar entre sí y además aleatorizadas para reducir el impacto del observador sobre el proceso.
- Reducir la influencia de variables no consideradas o discriminadas. Al aleatorizar el diseño se concibe un patrón de corridas diferentes en la secuencia, esto contribuye significativamente a reducir la interferencia de agentes externos no controlables.

En ocasiones no siempre se puede alterar el patrón de datos y generar corridas al azar. Como en el caso de experimentación con altas y muy bajas temperaturas. Considere el caso de un proceso de optimización en la fibra de carbono, donde se considera adecuado el análisis a 2 niveles de temperatura para establecer la tendencia del comportamiento del material en términos de resistencia a impactos. Si la temperatura de nivel alto es 1 500 °C y el nivel bajo se cree conveniente establecerlo en 410 °C, es fácilmente comprensible que elevar la temperatura para bajarla y nuevamente llevarla al nivel alto demanda demasiado tiempo y esfuerzo. Por lo tanto, en estos casos las corridas no siguen un modelo aleatorio.

Tan importante como entender el principio anterior es necesario considerar el tiempo de experimentación. Dentro de toda investigación experimental el tiempo es vital y muchos expertos afirman que se debe considerar el menor tiempo posible para realizar experimentos y corridas. Las razones principales:

- Evitar la influencia de la curva de aprendizaje.
- Evitar el tiempo como variable de análisis.
- Tener resultados aptos sin sesgo a causa de factores externos al diseño.



- Mantener un costo monetario aceptable de investigación.

Considere un experimento para desarrollar una vacuna contra la alergia al polen en la época de primavera. Si el tiempo es muy extenso, la vacuna se generaría cuando la población vulnerable ya estuviera con los síntomas respectivos. Es posible que exista mutación en el agente investigado y la vacuna ya no sirva, entre otras.

Para el caso de la elaboración del queso fresco, un factor a considerar es las pruebas de degustación para obtener las variables de respuesta (organolépticas) para el cual el grupo de catadores se enfrenta a las condiciones climáticas del medio. Si la investigación tarda demasiado, es posible que uno de los integrantes se enferme o se ausente de la prueba.

“Si bien es necesario reducir el tiempo del estudio, tampoco se sugiere que todos los experimentos se desarrollen en un solo día. Porque también se generaría sesgo en los datos obtenidos.” (Namakforoosh, 2005)

Por consiguiente, el diseño aleatorizado 2x3 se da como se refleja en la tabla 20.

Factores: 3    Diseño de la base: 3; 8  
 Corridas: 44    Réplicas: 4  
 Bloques: 4    Puntos centrales (total): 12

Generadores de bloques: réplicas

Todos los términos están libres de estructuras alias.

Tabla de diseño (aleatorizada)

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | A  | B  | C  |
|----------|--------------|-----------|---------|----|----|----|
| 18       | 1            | 1         | 2       | -1 | 1  | 1  |
| 16       | 2            | 1         | 2       | -1 | -1 | 1  |
| 22       | 3            | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  |
| 15       | 4            | 1         | 2       | 1  | 1  | -1 |
| 19       | 5            | 1         | 2       | 1  | 1  | 1  |
| 17       | 6            | 1         | 2       | 1  | -1 | 1  |
| 13       | 7            | 1         | 2       | 1  | -1 | -1 |
| 12       | 8            | 1         | 2       | -1 | -1 | -1 |
| 20       | 9            | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  |
| 21       | 10           | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  |
| 14       | 11           | 1         | 2       | -1 | 1  | -1 |
| 5        | 12           | 1         | 1       | -1 | -1 | 1  |
| 1        | 13           | 1         | 1       | -1 | -1 | -1 |
| 10       | 14           | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  |
| 11       | 15           | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  |

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | A  | B  | C  |
|----------|--------------|-----------|---------|----|----|----|
| 3        | 16           | 1         | 1       | -1 | 1  | -1 |
| 9        | 17           | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  |
| 7        | 18           | 1         | 1       | -1 | 1  | 1  |
| 8        | 19           | 1         | 1       | 1  | 1  | 1  |
| 2        | 20           | 1         | 1       | 1  | -1 | -1 |
| 6        | 21           | 1         | 1       | 1  | -1 | 1  |
| 4        | 22           | 1         | 1       | 1  | 1  | -1 |
| 44       | 23           | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  |
| 40       | 24           | 1         | 4       | -1 | 1  | 1  |
| 37       | 25           | 1         | 4       | 1  | 1  | -1 |
| 39       | 26           | 1         | 4       | 1  | -1 | 1  |
| 36       | 27           | 1         | 4       | -1 | 1  | -1 |
| 42       | 28           | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  |
| 41       | 29           | 1         | 4       | 1  | 1  | 1  |
| 35       | 30           | 1         | 4       | 1  | -1 | -1 |
| 38       | 31           | 1         | 4       | -1 | -1 | 1  |
| 34       | 32           | 1         | 4       | -1 | -1 | -1 |
| 43       | 33           | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  |
| 30       | 34           | 1         | 3       | 1  | 1  | 1  |
| 26       | 35           | 1         | 3       | 1  | 1  | -1 |
| 27       | 36           | 1         | 3       | -1 | -1 | 1  |
| 25       | 37           | 1         | 3       | -1 | 1  | -1 |
| 29       | 38           | 1         | 3       | -1 | 1  | 1  |
| 33       | 39           | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  |
| 31       | 40           | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  |
| 23       | 41           | 1         | 3       | -1 | -1 | -1 |
| 24       | 42           | 1         | 3       | 1  | -1 | -1 |
| 28       | 43           | 1         | 3       | 1  | -1 | 1  |
| 32       | 44           | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  |

**Tabla 20.-** Diseño factorial completo aleatorizado con puntos centrales

**Fuente:** El autor obtenido del diseño preliminar

**Elaborado por:** Christian Rosero.

#### 4.2.2. Fase Hacer

En esta fase, se recreó el proceso de elaboración del queso fresco considerando la modificación de los factores según el diseño planteado. Se elaboró 1 unidad de queso fresco para cada tratamiento, dado a que la relevancia del estudio no está en la cantidad de queso que se hace por lote sino en la cantidad de veces que se repiten<sup>39</sup> los lotes para reducir la coincidencia en el resultado.

<sup>39</sup> Varios autores aclaran la diferencia entre replicar y repetir un experimento. Réplica es repetir el experimento en otro momento o por otro observador, mientras que repetición se denomina a las unidades experimentales que reciben el mismo tratamiento de forma independiente. (Rueda , 2015, pág. 1)

#### 4.2.2.1. Pre-experimentación

Con el modelo planteado se realizó la pre-experimentación con los datos manifiestos en la tabla 21.

| % de agua | Variable          | Niveles de tratamiento |        | Bloque | Resultado  |            |
|-----------|-------------------|------------------------|--------|--------|------------|------------|
|           |                   | -1                     | +1     |        | -1         | +1         |
| 10        | Cloruro de calcio | 0,1 g                  | 1,0 g  | 1      | Procedente | inconforme |
| 10        | Cuajo             | 0,1 g                  | 1,0 g  | 1      | Procedente | Inconforme |
| 10        | Cloruro de sodio  | 0,1 g                  | 1,0 g  | 1      | inconforme | Inconforme |
| 30        | Cloruro de calcio | 0,1 g                  | 1,0 g  | 2      | Inconforme | Inconforme |
| 30        | Cuajo             | 0,1 g                  | 1,0 g  | 2      | Inconforme | Inconforme |
| 30        | Cloruro de sodio  | 0,1 g                  | 1,0 g  | 2      | Inconforme | Inconforme |
| 10        | Cloruro de calcio | 0,1 g                  | 0,3 g  | 3      | Procedente | Procedente |
| 10        | Cuajo             | 0,1 g                  | 0,3 g  | 3      | Procedente | Procedente |
| 10        | Cloruro de sodio  | 2,0 g                  | 7,0 g  | 3      | Procedente | Procedente |
| 30        | Cloruro de calcio | 0,5 g                  | 1,5 g  | 4      | Inconforme | Inconforme |
| 30        | Cuajo             | 0,2 g                  | 0,4 g  | 4      | Inconforme | Inconforme |
| 30        | Cloruro de sodio  | 3,0 g                  | 10,0 g | 4      | Inconforme | Inconforme |

**Tabla 21.-** Porcentaje de agua en la pre-experimentación

**Fuente:** El autor obtenido de la pre-experimentación

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Considerando el modelo aleatorio se construye la aleatorización de la tabla 22.

| OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | A  | B  | C  | Respuesta  |
|--------------|-----------|---------|----|----|----|------------|
| 1            | 1         | 2       | -1 | 1  | 1  | Inconforme |
| 2            | 1         | 2       | -1 | -1 | 1  | Inconforme |
| 3            | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  | Inconforme |
| 4            | 1         | 2       | 1  | 1  | -1 | Inconforme |
| 5            | 1         | 2       | 1  | 1  | 1  | Inconforme |
| 6            | 1         | 2       | 1  | -1 | 1  | Inconforme |
| 7            | 1         | 2       | 1  | -1 | -1 | Inconforme |
| 8            | 1         | 2       | -1 | -1 | -1 | Inconforme |
| 9            | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  | Inconforme |
| 10           | 0         | 2       | 0  | 0  | 0  | Inconforme |
| 11           | 1         | 2       | -1 | 1  | -1 | Inconforme |
| 12           | 1         | 1       | -1 | -1 | 1  | Procedente |
| 13           | 1         | 1       | -1 | -1 | -1 | Procedente |
| 14           | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  | adecuado   |
| 15           | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  | adecuado   |
| 16           | 1         | 1       | -1 | 1  | -1 | Procedente |
| 17           | 0         | 1       | 0  | 0  | 0  | adecuado   |
| 18           | 1         | 1       | -1 | 1  | 1  | Procedente |
| 19           | 1         | 1       | 1  | 1  | 1  | Procedente |
| 20           | 1         | 1       | 1  | -1 | -1 | Procedente |
| 21           | 1         | 1       | 1  | -1 | 1  | Procedente |
| 22           | 1         | 1       | 1  | 1  | -1 | Procedente |
| 23           | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  | adecuado   |
| 24           | 1         | 4       | -1 | 1  | 1  | Inconforme |
| 25           | 1         | 4       | 1  | 1  | -1 | Inconforme |
| 26           | 1         | 4       | 1  | -1 | 1  | Inconforme |
| 27           | 1         | 4       | -1 | 1  | -1 | Inconforme |
| 28           | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  | Inconforme |
| 29           | 1         | 4       | 1  | 1  | 1  | Inconforme |
| 30           | 1         | 4       | 1  | -1 | -1 | Inconforme |
| 31           | 1         | 4       | -1 | -1 | 1  | Inconforme |
| 32           | 1         | 4       | -1 | -1 | -1 | Inconforme |
| 33           | 0         | 4       | 0  | 0  | 0  | Inconforme |
| 34           | 1         | 3       | 1  | 1  | 1  | Procedente |
| 35           | 1         | 3       | 1  | 1  | -1 | Procedente |
| 36           | 1         | 3       | -1 | -1 | 1  | Procedente |
| 37           | 1         | 3       | -1 | 1  | -1 | Procedente |
| 38           | 1         | 3       | -1 | 1  | 1  | Procedente |
| 39           | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  | adecuado   |
| 40           | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  | adecuado   |
| 41           | 1         | 3       | -1 | -1 | -1 | Procedente |
| 42           | 1         | 3       | 1  | -1 | -1 | Procedente |
| 43           | 1         | 3       | 1  | -1 | 1  | Procedente |
| 44           | 0         | 3       | 0  | 0  | 0  | adecuado   |

**Tabla 22.-** Niveles aleatorizados de pre-experimentación

**Fuente:** El autor obtenido de la pre-experimentación

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Las corridas pre-experimentales se formaron para establecer los niveles adecuados de trabajo en la experimentación. Es destacable que en esta etapa se suele obviar este modelado si se cuenta con personal experto en el proceso y que conozca previamente los valores adecuados de análisis o procedentes para un experimento.

Para el 10% de agua en la leche los resultados que se consideraron inconformes se debieron a que produjeron quesos altamente amargos y quebradizos, por la excesiva cantidad utilizada de los ingredientes. Con el 30% de agua en la leche, los resultados se denominaron inconformes ya que no se pudo obtener una cuajada consistente, independiente de los valores tratados.

Para los dos casos no se consideraron cantidades más pequeñas en la medición de los ingredientes por la restricción de la resolución en los instrumentos de medición. (Ver anexo C).

Los valores de puntos centrales adecuados se consideraron bajo el criterio de si se producía el queso o no. Sin embargo, al no poder obtener datos inferiores equidistantes con el valor 0, 0, 0. Se proceden a descartar de la experimentación y tomar como base de referencia objetivo de condiciones normales.

En condiciones normales<sup>40</sup> la pre-experimentación arrojó que se puede realizar 480.39 gramos (promedio) de queso fresco con una desviación estándar de 2.3891 con los datos expresados en la tabla 23.

| Corrida | PtCentral | A | B | C | Respuesta (gramos) |        |
|---------|-----------|---|---|---|--------------------|--------|
| 1       | 0         | 0 | 0 | 0 | 479,4              |        |
| 2       | 0         | 0 | 0 | 0 | 477,8              |        |
| 3       | 0         | 0 | 0 | 0 | 482,2              |        |
| 4       | 0         | 0 | 0 | 0 | 477,5              |        |
| 5       | 0         | 0 | 0 | 0 | 480,1              |        |
| 6       | 0         | 0 | 0 | 0 | 478,3              |        |
| 7       | 0         | 0 | 0 | 0 | 480,7              |        |
| 8       | 0         | 0 | 0 | 0 | 485,5              |        |
| 9       | 0         | 0 | 0 | 0 | 481,0              |        |
| 10      | 0         | 0 | 0 | 0 | 481,4              |        |
|         |           |   |   |   | $\bar{X}$          | $S$    |
|         |           |   |   |   | 480,39             | 2,3891 |

**Tabla 23.-** Gramaje resultante con densidad normal (sin alteración en la leche)

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

<sup>40</sup> Las condiciones normales se tienen con leche sin agregar agua y los factores en posición (0, 0, 0) para este caso, los valores recomendados por la norma INEN NTE 2012: General para queso fresco.

El valor de 480,39 gramos será el valor referente para el caso de la optimización y recuperación del producto elaborado.

El factor de entrada es la medida de la densidad y es consecuentemente una variable que debe permanecer teóricamente constante. Si se incrementa en todos los casos el 10% de agua y a esto se involucra la desviación generada por las características de la leche (que ya pudieran estar alteradas con agua), es necesario compensar tan solo el nivel faltante para tener un valor homogéneo apto para el estudio.

De esta forma, dentro del procedimiento las distintas fundas de leche entera se combinan entre sí para homogenizar la densidad. Así también, al tener varios días de experimentación la forma de conseguir un valor constante teórico entre los días, es tomar el valor de la densidad inicial como parámetro a seguir.

Es decir, se busca replicar el valor de la densidad para todos los días de experimentación y para ello no se tiene un valor constante de adición de agua (10%) sino que se debe incrementar la cantidad necesaria para obtener el valor deseado.

#### 4.2.2.2. Experimentación

Posterior a discriminar tratamientos y valores no aptos para la experimentación en la fase previa se tiene como modelo de análisis el expuesto en la tabla 24.

Factores: 3      Diseño de la base: 3; 8  
 Corridas: 32      Réplicas: 4  
 Bloques: 1      Puntos centrales (total): 0

Todos los términos están libres de estructuras alias.

Tabla de diseño (aleatorizada)

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | A  | B  | C  |
|----------|--------------|-----------|---------|----|----|----|
| 2        | 1            | 1         | 1       | 1  | -1 | -1 |
| 9        | 2            | 1         | 1       | -1 | -1 | -1 |
| 20       | 3            | 1         | 1       | 1  | 1  | -1 |
| 16       | 4            | 1         | 1       | 1  | 1  | 1  |
| 22       | 5            | 1         | 1       | 1  | -1 | 1  |
| 30       | 6            | 1         | 1       | 1  | -1 | 1  |
| 17       | 7            | 1         | 1       | -1 | -1 | -1 |
| 5        | 8            | 1         | 1       | -1 | -1 | 1  |
| 25       | 9            | 1         | 1       | -1 | -1 | -1 |
| 27       | 10           | 1         | 1       | -1 | 1  | -1 |
| 1        | 11           | 1         | 1       | -1 | -1 | -1 |
| 18       | 12           | 1         | 1       | 1  | -1 | -1 |
| 6        | 13           | 1         | 1       | 1  | -1 | 1  |
| 28       | 14           | 1         | 1       | 1  | 1  | -1 |
| 31       | 15           | 1         | 1       | -1 | 1  | 1  |

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | A  | B  | C  |
|----------|--------------|-----------|---------|----|----|----|
| 4        | 16           | 1         | 1       | 1  | 1  | -1 |
| 8        | 17           | 1         | 1       | 1  | 1  | 1  |
| 10       | 18           | 1         | 1       | 1  | -1 | -1 |
| 3        | 19           | 1         | 1       | -1 | 1  | -1 |
| 11       | 20           | 1         | 1       | -1 | 1  | -1 |
| 12       | 21           | 1         | 1       | 1  | 1  | -1 |
| 7        | 22           | 1         | 1       | -1 | 1  | 1  |
| 21       | 23           | 1         | 1       | -1 | -1 | 1  |
| 23       | 24           | 1         | 1       | -1 | 1  | 1  |
| 32       | 25           | 1         | 1       | 1  | 1  | 1  |
| 15       | 26           | 1         | 1       | -1 | 1  | 1  |
| 13       | 27           | 1         | 1       | -1 | -1 | 1  |
| 24       | 28           | 1         | 1       | 1  | 1  | 1  |
| 26       | 29           | 1         | 1       | 1  | -1 | -1 |
| 19       | 30           | 1         | 1       | -1 | 1  | -1 |
| 29       | 31           | 1         | 1       | -1 | -1 | 1  |
| 14       | 32           | 1         | 1       | 1  | -1 | 1  |

**Tabla 24.-** Diseño de análisis aleatorizado

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborado por:** Christian Rosero

Los valores obtenidos para la densidad se detallan en la tabla 25.

| Días experimentales | Corridas | DENSIDAD RELATIVA |                           |                      |                            |
|---------------------|----------|-------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
|                     |          | Densidad aparente | Temperatura de la muestra | Factor de corrección | Densidad relativa 20/20 °C |
| 1                   | 4        | 1,028             | 19,0                      | 0,002                | 1,0260                     |
| 2                   | 4        | 1,031             | 17,3                      | 0,002                | 1,0256                     |
| 3                   | 4        | 1,024             | 20,9                      | 0,002                | 1,0258                     |
| 4                   | 4        | 1,027             | 19,5                      | 0,002                | 1,0260                     |
| 5                   | 4        | 1,032             | 16,9                      | 0,002                | 1,0258                     |
| 6                   | 4        | 1,029             | 18,7                      | 0,002                | 1,0264                     |
| 7                   | 4        | 1,030             | 17,5                      | 0,002                | 1,0250                     |
| 8                   | 4        | 1,027             | 19,5                      | 0,002                | 1,0260                     |

**Tabla 25.-** Densidad con aumento de 10% de agua

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero

Como se desear un valor teórico igual de la densidad en todos los experimentos para un solo día, se homogeniza al mezclar la leche de todas las corridas que se harán en un día,

sin embargo, para saber si el valor de la densidad del primer día es significativamente igual en los demás días se compara a través de una prueba de hipótesis, tal que:

**Hipótesis nula:** el promedio de los valores para la densidad en los días experimentales son iguales al valor observado en el día 1.

**Hipótesis alternativa:** el promedio de los valores para la densidad en los días experimentales no son iguales al valor observado en el día 1.

Como se tiene una cantidad de corridas diseñadas para 8 días de experimentación, y la varianza poblacional se desconoce, no se puede utilizar la distribución Z. (Martínez Bencardino, 2012, pág. 353)

Como la prueba requiere un valor teórico igual, se debe trabajar con un nivel de significancia<sup>41</sup> alto, en este caso se escoge al 1%. El valor de la densidad del día uno para las 4 unidades experimentales fue de 1,028. Por tanto, este dato se convierte en valor objetivo.

Entonces:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \text{Para } i=1; j = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.$$

Nivel de significancia: 1% o lo que equivale a decir que se tiene una confianza para la prueba del 99%.

Considerando que la desviación estándar no representa un parámetro poblacional por la cantidad de datos, se concibe el planteamiento a través de la distribución T:

### T de una muestra: días experimentales

\*\*\*\*\*  
Prueba de  $\mu = 1,026$  vs.  $\neq 1,026$

| Variable | N | Media   | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 99%          | T     | P     |
|----------|---|---------|-----------|----------------------------|--------------------|-------|-------|
| Densidad | 8 | 1,02583 | 0,00041   | 0,00014                    | (1,02532; 1,02633) | -1,22 | 0,262 |

\*\*\*\*\*

<sup>41</sup> El nivel de significancia es el valor que se le da a la región de rechazo. Cuando el valor del estadístico de prueba cae en dicha se región la hipótesis nula (Ho) será rechazada. (Martínez Bencardino, 2012)



El valor P de la distribución T (0,262) es mayor que el nivel de significancia (0,01) por lo tanto se puede concluir estadísticamente que el promedio de los valores para la densidad en los días experimentales es igual al valor observado en el día 1.

Con el valor de la densidad evaluado se realizaron los experimentos obteniendo los resultados mostrados en la tabla 26.

| 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 26.-** Resultados de la experimentación con aumento al 10% de agua

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero

<sup>42</sup> VG: Valoración General del queso fresco, de carácter sensorial.

### 4.3. Presentación y análisis de resultados (Fase Verificar)

Continuando con el desarrollo PHVA para la fase Verificar se tiene la presentación de los resultados obtenidos de la investigación y la validación de los mismos.

#### 4.3.1. Variable Gramaje

En la tabla 27 se muestran los resultados para el gramaje, al producir una unidad de queso fresco con 3 600 ml de leche y 400 ml de agua aproximados<sup>43</sup>, simulando una adulteración en la leche del 10% de agua.

| OrdenEs | OrdenCorr | PtCent | Bloques | Calcio | Cuajo | Sodio | gramaje |
|---------|-----------|--------|---------|--------|-------|-------|---------|
| 2       | 1         | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 420     |
| 9       | 2         | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 410     |
| 20      | 3         | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 439     |
| 16      | 4         | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 438     |
| 22      | 5         | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 422     |
| 30      | 6         | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 423     |
| 17      | 7         | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 413     |
| 5       | 8         | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 412     |
| 25      | 9         | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 412     |
| 27      | 10        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 433     |
| 1       | 11        | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 410     |
| 18      | 12        | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 421     |
| 6       | 13        | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 420     |
| 28      | 14        | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 439     |
| 31      | 15        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 431     |
| 4       | 16        | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 440     |
| 8       | 17        | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 442     |
| 10      | 18        | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 419     |
| 3       | 19        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 430     |
| 11      | 20        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 431     |
| 12      | 21        | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 441     |
| 7       | 22        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 432     |
| 21      | 23        | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 409     |
| 23      | 24        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 429     |
| 32      | 25        | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 443     |
| 15      | 26        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 433     |
| 13      | 27        | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 411     |
| 24      | 28        | 1      | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 440     |
| 26      | 29        | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 418     |
| 19      | 30        | 1      | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 428     |
| 29      | 31        | 1      | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 411     |
| 14      | 32        | 1      | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 424     |

**Tabla 27.-** Cantidad de gramaje por unidad experimental

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

<sup>43</sup> El valor es aproximado ya que no siempre se utilizó esta combinación entre leche y agua. Se añadió la cantidad necesaria de agua para tener el 10% de adulteración en la leche.

### 4.3.1.1. Tabla de resultados

| AJUSTES1 | RESI1 | RESS1    | RESZ1    | 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 28.-** Resultados del diseño 2x3 para la variable "gramaje"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación

**Elaborado por:** Christian Rosero

Para la tabla 28. 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.

#### **4.3.1.2. Discriminación de efectos**

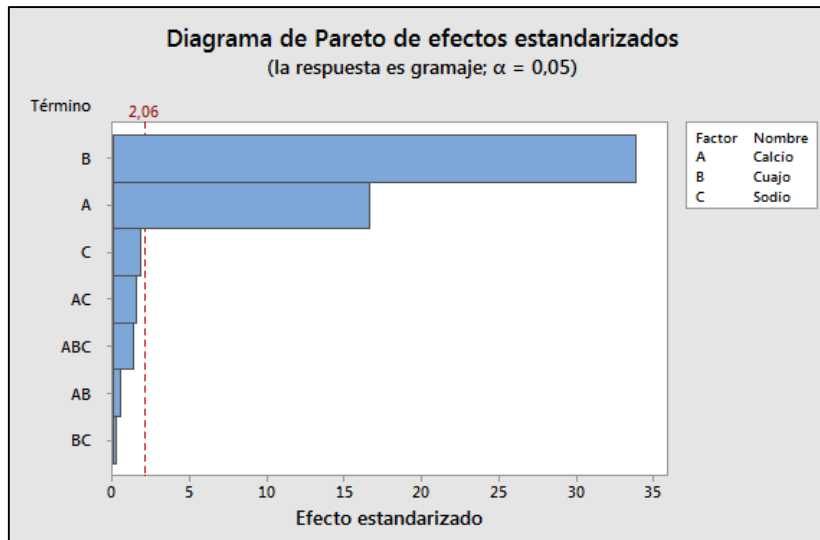
Con los datos del modelo se procede al estudio de los efectos de los factores, para discriminar los principales de los que no tienen relevancia significativa en el resultado.

##### **4.3.1.2.1. Efectos estandarizados**

Es recomendable ejecutar las pruebas de Pareto y efectos absolutos a la vez y no confiarse de una sola, ya que aunque tengan el mismo objetivo de discriminar los efectos, no siempre pueden mostrar los mismos resultados al tener métodos diferentes de evaluación.

De ser ese caso se debe recurrir a pruebas de varianzas y realizar pruebas en valores atípicos, para determinar si existe degeneración en el modelo o la alteración por algún valor que no es el esperado dentro del análisis.

Cuando existe duda por la contradicción de las pruebas se recomienda efectuar un ANOVA para efectos estandarizados y conocer el valor de los efectos.



**Ilustración 10.-** Pareto para Efectos estandarizados

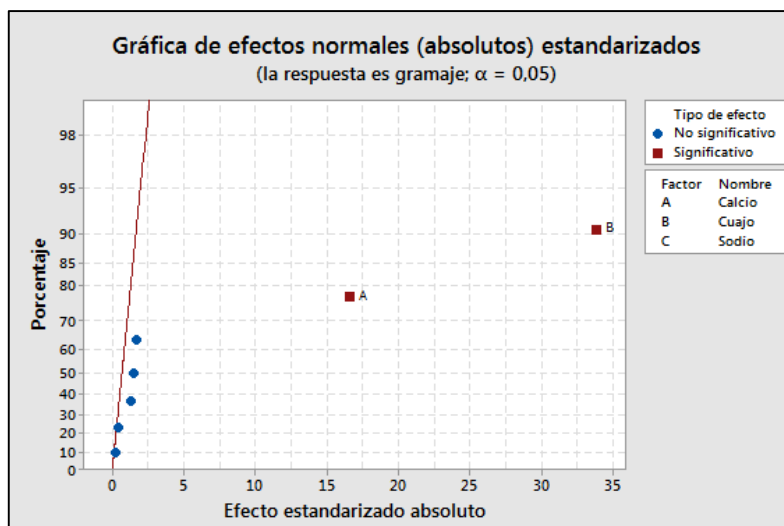
**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

En la Ilustración 10, se puede observar que los efectos principales son B, A correspondientes a los factores B y A. Por consiguiente, los efectos C y las combinaciones AC, ABC, AB y BC no tienen un efecto representativo en el resultado generado. Esta determinación es importante para discriminar efectos y reducir el análisis de los datos.

#### 4.3.1.2.2. Efectos normales absolutos estandarizados

Aplicando el test de Levene se puede generar el análisis de efectos para valores observados, aunque se recomienda utilizar los estandarizados por ajuste del modelo.



**Ilustración 11.-** Gráfica de efectos normales estandarizados

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Con la gráfica de efectos normales estandarizados se puede comprobar al 95% de confianza que los efectos A y B (señalados de color rojo) son significativos siendo para A el 77% y B el 90,5% del total de influencia en los resultados obtenidos para el gramaje.

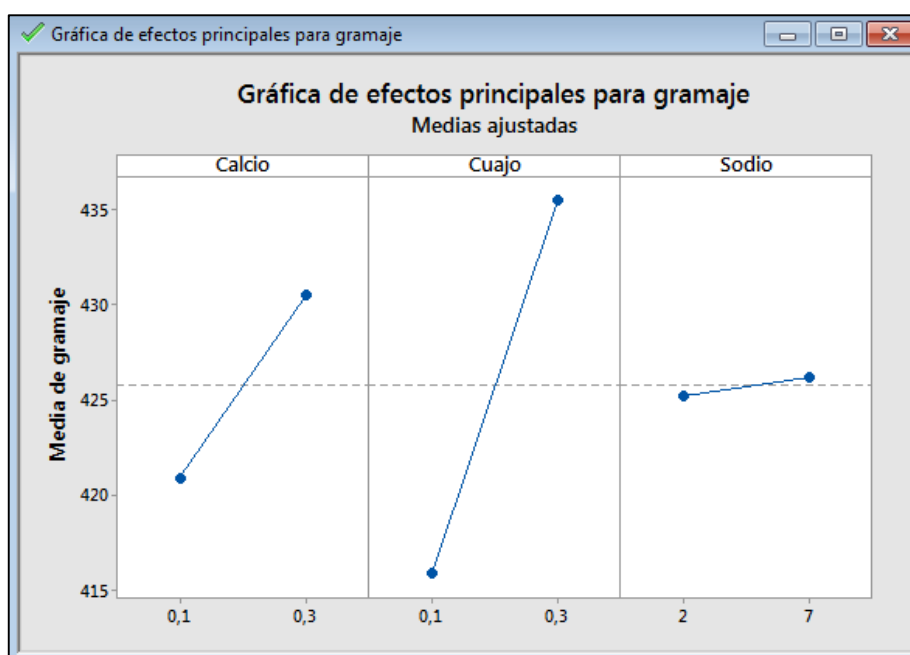
Los efectos restantes (color azul) se encuentran sobre el valor crítico de la prueba de Levene, por lo que se consideran no significativos.

#### 4.3.1.3. Análisis de efectos

Este análisis se compone de los efectos principales y de las interacciones resultantes si existieran. De esta manera se advierte el comportamiento de la respuesta según el efecto dado.

##### 4.3.1.3.1. Efectos principales

Los efectos principales aparecen al verse afectada la respuesta por los diferentes niveles en los factores.



**Ilustración 12.-** Gráfica de efectos principales

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

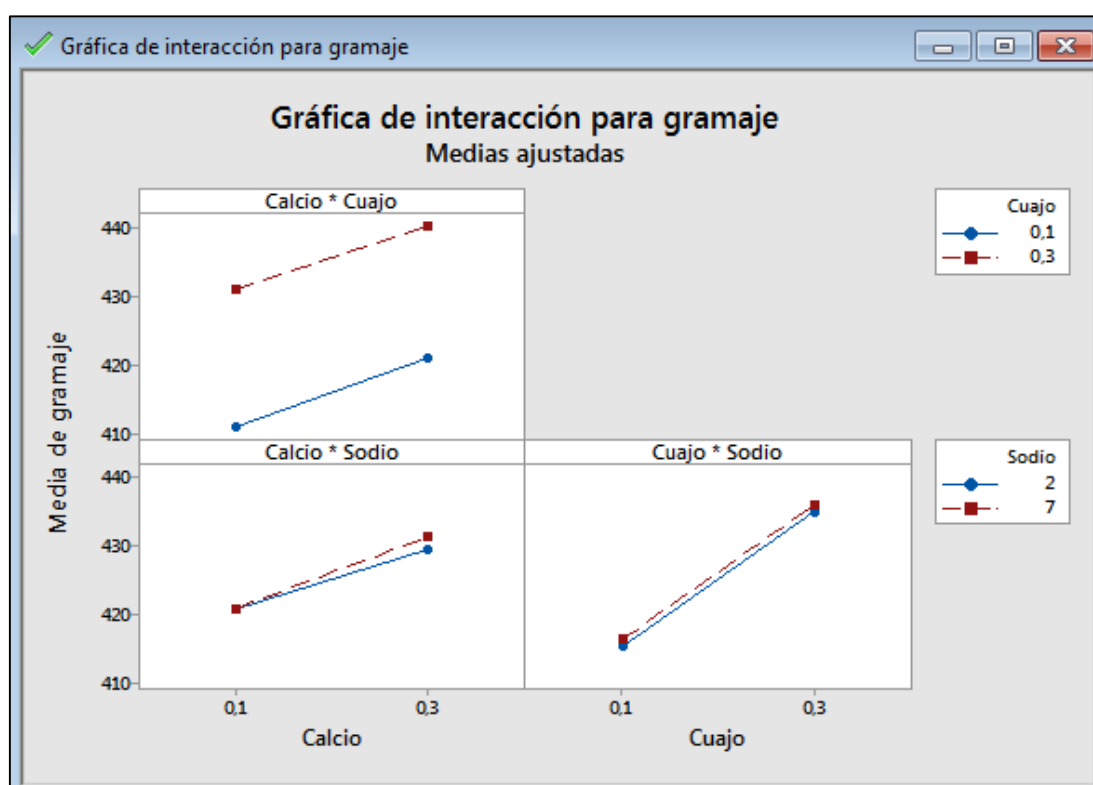
**Elaborado por:** Christian Rosero.

La gráfica factorial de efectos principales (Ilustración 12), revela que el cuajo tiene la mayor influencia efectiva en la variable "gramaje", al aumentar su cantidad entre 0,1 y 0,3 gramos con pendiente positiva. Adicionalmente se puede notar que la adición de cloruro de calcio aporta beneficiosamente al rendimiento del gramaje aunque el cuajo mantiene su hegemonía.

El cloruro de sodio revela que tiene un aporte no significativo al rendimiento del gramaje mostrando una ligera pendiente de valor positivo, sin embargo, por el nivel de influencia que acciona el cuajo el resultado (ilustración 10), bien podría considerarse que el efecto real del cloruro de sodio es nulo y del cloruro de calcio es menor, y que sus efectos fueron arrastrados por el efecto predominante.

#### 4.3.1.3.2. Interacción de efectos

Existe interacción si los efectos de un factor dependen del nivel del otro factor.



**Ilustración 13.-** Gráfica de interacciones

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero.

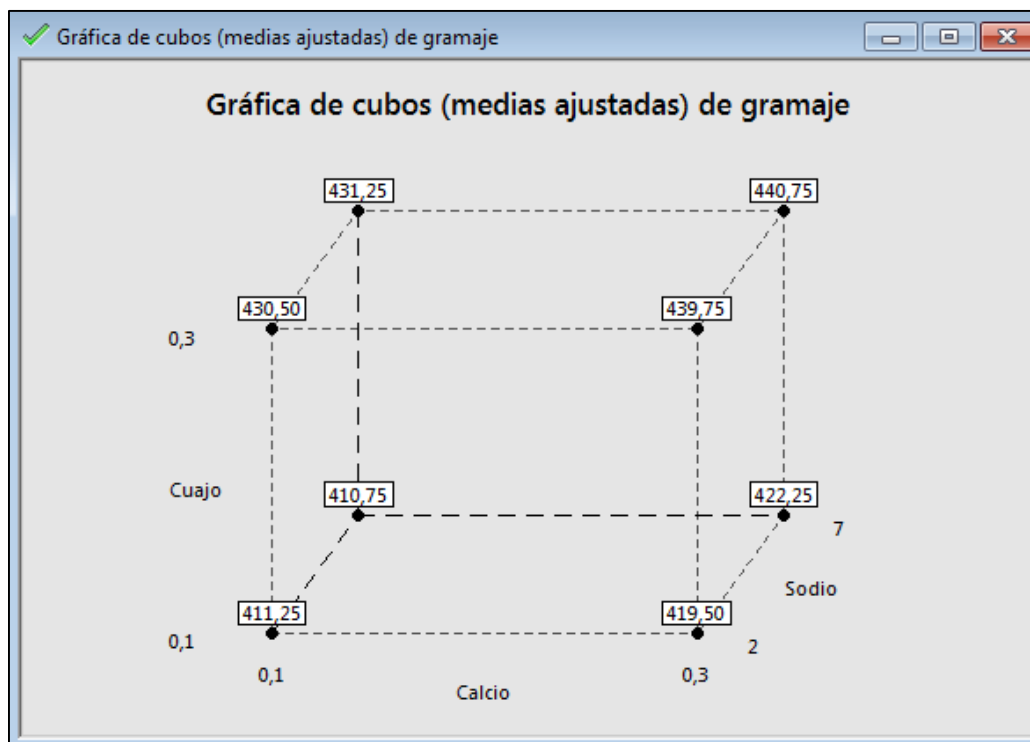
En la gráfica de interacción de “calcio\*cuajo” (primer recuadro – ilustración 13) se denota que no existe interacciones entre sí. Sin embargo por la diferencia entre el paralelismo de pendiente positiva en la gráfica se puede destacar que el calcio si aporta al incremento de la respuesta (gramaje). Esto explica por qué se consigue elaborar queso fresco tan solo adicionando cuajo y sin necesidad de cloruro de calcio (aunque sin gramaje óptimo).

Tanto las interacciones de “calcio\*sodio” y “cuajo\*sodio” no son significativas ya que el efecto del sodio se discriminó por tener un efecto insignificante (Ilustración 10). El aumento o variación entre los valores mínimos y máximos de las interacciones de estos

factores es apreciable en la gráfica como mínima y nula, por su escasa diferencia y paralelismo.

#### 4.3.1.3.3. Efectos para medias ajustadas

Se realiza el análisis sobre las medias ajustadas, ya que estas se encuentran estandarizadas con valores esperados respecto al modelo generado.



**Ilustración 14.-** Gráfica de cubos para medias ajustadas

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborador por:** Christian Rosero.

La gráfica de cubo refleja los efectos esperados para A (calcio), B (Cuajo), C (Sodio) con las interacciones correspondientes de las medias ajustadas. Se utilizan las medias ajustadas ya que estas se acoplan mejor al modelo diseñado y permiten proyectar el nivel viable de gramaje esperado para la variable “gramaje”.

La cara frontal del cubo se designó para el factor Calcio por lo tanto su lado correspondiente es la cara posterior. La parte superior del cubo es designada al sodio cuyo lado le corresponde a la cara inferior y los laterales expresan el factor Cuajo.

El vértice de la cara frontal en el punto inferior izquierdo cubo proyecta el peor tratamiento considerando que el objetivo del modelo es maximizar el gramaje. Se consiguen en promedio ajustado 410,75 gramos.

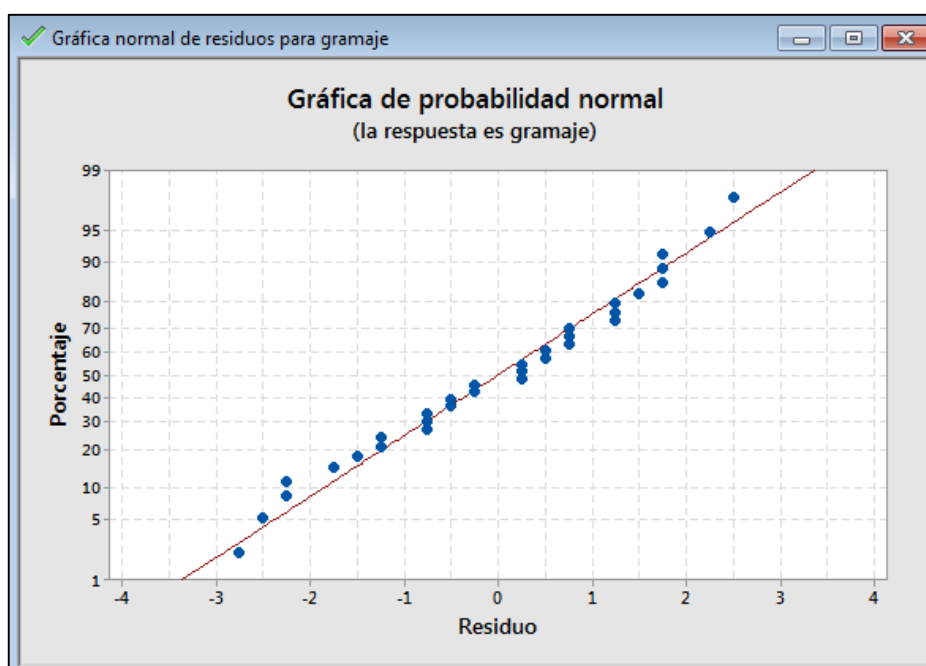


El vértice de la cara posterior en el punto superior derecho refleja un tratamiento posible de valor medio ajustado a 444,75 gramos.

#### 4.3.1.4. Verificación de supuestos

La verificación de supuestos constituye una parte importante para realizar un correcto análisis de la variabilidad de los datos. Después de tener el estudio de los efectos se requiere verificar que los datos obtenidos del modelo sigan un patrón estadístico<sup>44</sup>, el cual permite utilizar las herramientas adecuadas bajo los criterios de que los datos siguen o no una distribución normal.<sup>45</sup>

##### 4.3.1.4.1. Prueba de normalidad



**Ilustración 15.-** Gráfica de probabilidad normal

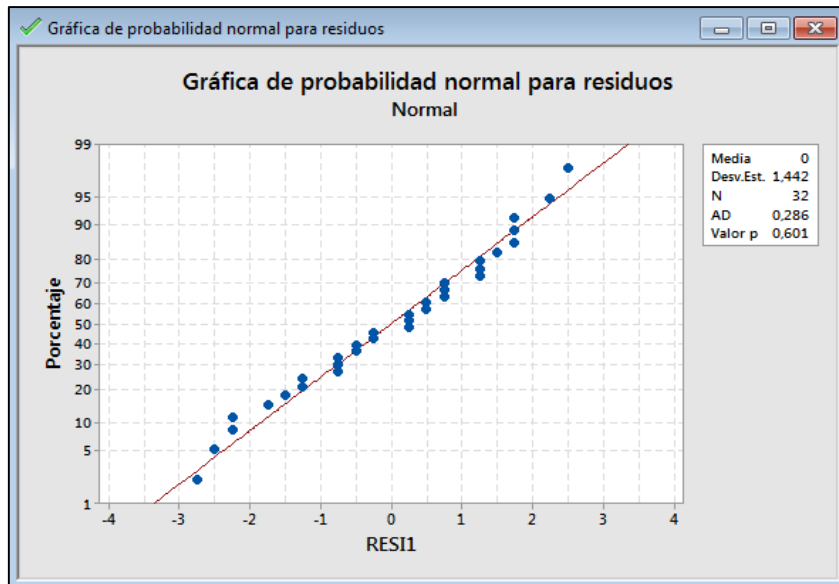
**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

En la ilustración 15, se tiene el análisis de los residuos respecto a una función de distribución teórica normal, para la cual se puede estimar si los valores del gramaje de las unidades experimentales de queso se ajustan a una distribución. Cuanto más cerca se encuentran se la línea teórica normal y siguen un patrón lineal o semejante, se acepta que los valores resultantes tienden a comportarse bajo la distribución normal.

<sup>44</sup> El patrón puede ser parte de la estadística paramétrica o no paramétrica.

<sup>45</sup> El supuesto de normalidad es útil para construir el ANOVA. Aunque no es necesario que se cumpla, ya que de no hacerlo se puede utilizar el método de Kruskal-Wallis.



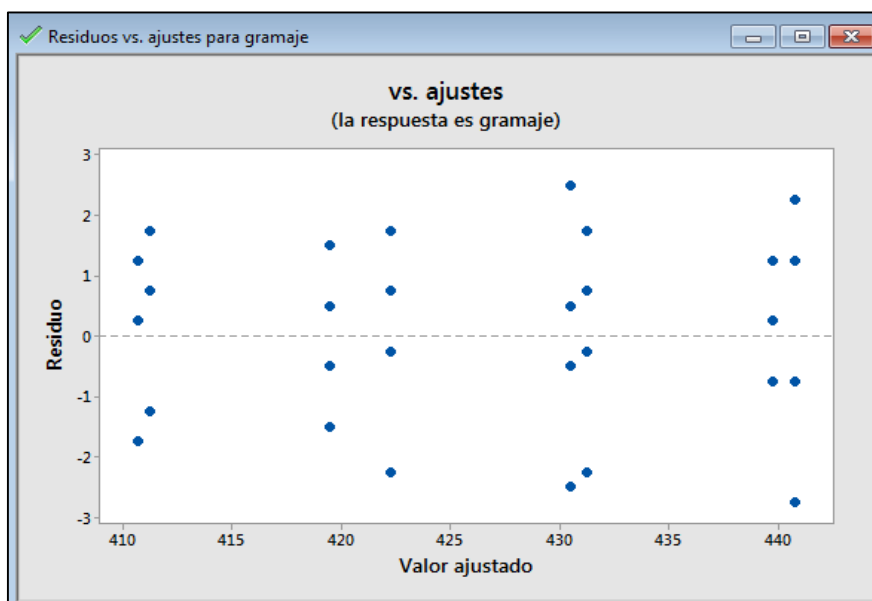
**Ilustración 16.-** Gráfica de probabilidad normal para residuos estudentizados

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación

**Elaborador por:** Christian Rosero.

Aplicando el test de Anderson Darling para los residuos (Ilustración 16), se tiene un valor p de 0,601 que al considerar el 95% de confianza (5% significancia) sobre el cual se realizó la prueba se observa que  $0,601 > 0,05$ , por lo cual se concluye que los valores resultantes para el gramaje siguen una distribución normal.

#### 4.3.1.4.2. Prueba de igualdad de varianzas



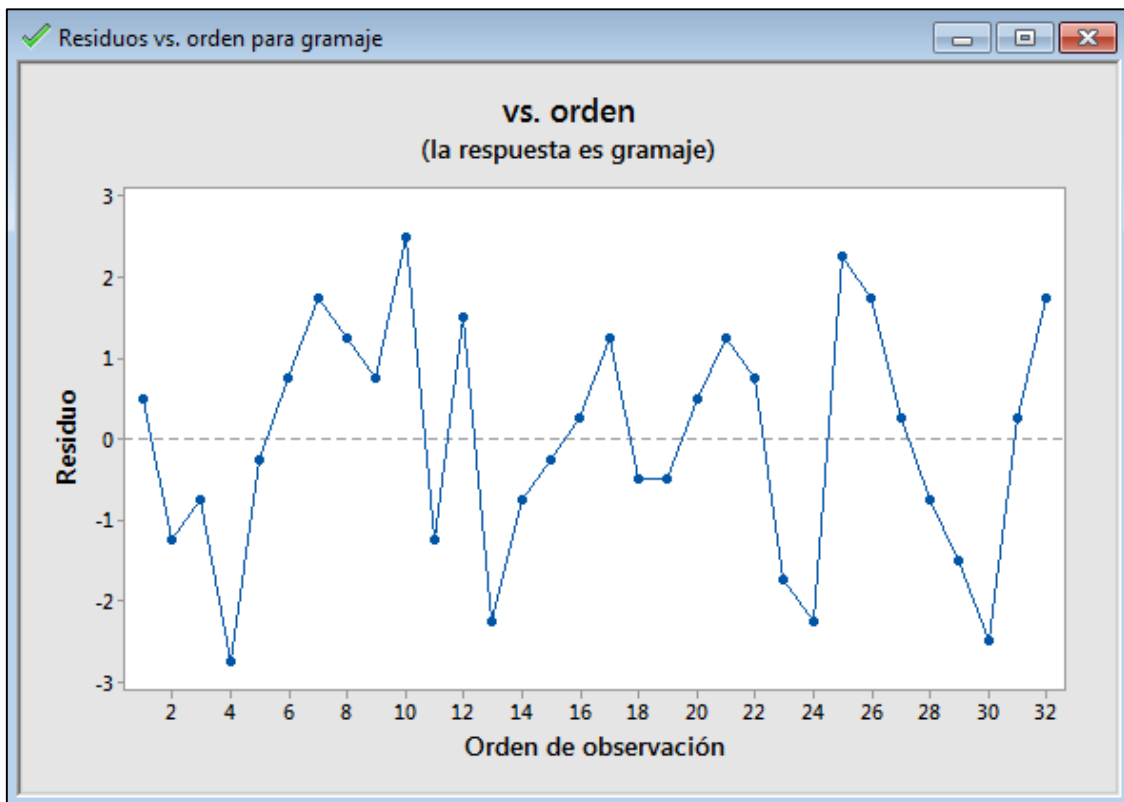
**Ilustración 17.-** Residuos vs valores ajustados

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación

**Elaborado por:** Christian Rosero

En la ilustración 17, se muestra el patrón de datos de los valores del gramaje. Al tener los datos apilados a los dos lados de cero, sin ningún punto separándose de las agrupaciones (dato atípico) y sin tendencia de incremento respecto a los valores ajustados (figura próxima a una campana), se tiene por lo tanto un supuesto de igualdad de varianzas<sup>46</sup>.

#### 4.3.1.4.3. Prueba de independencia



**Ilustración 18.-** Residuos vs orden

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La ilustración 18 identifica si el cumplimiento de aleatorización es adecuado, entre más irregularidad tenga la curva existe una mejor aleatorización de datos. De forma general se espera que no existan ciclos recurrentes obvios o tendencias claras en el patrón de datos.

Para el gramaje se tiene una dispersión entre corridas experimentales aceptable. Esta gráfica permite asumir el tercer supuesto de que los errores de las corridas son independientes de cualquier tipo de error.

<sup>46</sup> Cuando no se cumple este supuesto se sugiere utilizar el ANOVA con el método de Welch.

### 4.3.1.5. Análisis del gramaje

El gramaje constituye una variable cuantitativa, por lo cual, es necesario además de analizar su comportamiento, predecir y optimizar la respuesta esperada. Además se requiere validar la significancia de la prueba.

#### 4.3.1.5.1. Análisis de la varianza

\*\*\*\*\*

Regresión factorial: gramaje vs calcio; cuajo; sodio.

Análisis de Varianza

| Fuente                      | GL | SC Sec. | Contribución | SC Ajust. | MC Ajust. |
|-----------------------------|----|---------|--------------|-----------|-----------|
| Modelo                      | 7  | 3841,50 | 98,35%       | 3841,50   | 548,79    |
| Lineal                      | 3  | 3830,25 | 98,06%       | 3830,25   | 1276,75   |
| Calcio                      | 1  | 741,13  | 18,97%       | 741,12    | 741,12    |
| Cuajo                       | 1  | 3081,12 | 78,88%       | 3081,13   | 3081,13   |
| Sodio                       | 1  | 8,00    | 0,20%        | 8,00      | 8,00      |
| Interacciones de 2 términos | 3  | 6,75    | 0,17%        | 6,75      | 2,25      |
| Calcio*Cuajo                | 1  | 0,50    | 0,01%        | 0,50      | 0,50      |
| Calcio*Sodio                | 1  | 6,13    | 0,16%        | 6,13      | 6,13      |
| Cuajo*Sodio                 | 1  | 0,12    | 0,00%        | 0,12      | 0,12      |
| Interacciones de 3 términos | 1  | 4,50    | 0,12%        | 4,50      | 4,50      |
| Calcio*Cuajo*Sodio          | 1  | 4,50    | 0,12%        | 4,50      | 4,50      |
| Error                       | 24 | 64,50   | 1,65%        | 64,50     | 2,69      |
| Total                       | 31 | 3906,00 | 100,00%      |           |           |

| Fuente                      | Valor F | Valor p |
|-----------------------------|---------|---------|
| Modelo                      | 204,20  | 0,000   |
| Lineal                      | 475,07  | 0,000   |
| Calcio                      | 275,77  | 0,000   |
| Cuajo                       | 1146,47 | 0,000   |
| Sodio                       | 2,98    | 0,097   |
| Interacciones de 2 términos | 0,84    | 0,487   |
| Calcio*Cuajo                | 0,19    | 0,670   |
| Calcio*Sodio                | 2,28    | 0,144   |
| Cuajo*Sodio                 | 0,05    | 0,831   |
| Interacciones de 3 términos | 1,67    | 0,208   |
| Calcio*Cuajo*Sodio          | 1,67    | 0,208   |

\*\*\*\*\*

Los valores del modelo para calcio y cuajo tienen un valor p de 0,000 que a su vez es menor a 0,05 ( $0 < 0,05$ ) en este caso la hipótesis nula de que no existe diferencia significativa en los efectos evaluados se rechaza y se afirma que existe suficiente evidencia para aceptar que estos valores son representativos.

#### 4.3.1.5.2. Resumen del modelo

\*\*\*\*\*

| S       | R-cuad. | R-cuad. (ajustado) | PRESS   | R-cuad. (pred) | DW      |
|---------|---------|--------------------|---------|----------------|---------|
| 1,63936 | 98,35%  | 97,87%             | 114,667 | 97,06%         | 1.55993 |

\*\*\*\*\*

El resumen indica para R cuadrada (R-Cuad) que el modelo ajustado explica el 98,35% de la variabilidad del gramaje. R ajustado (R-Cuad ajustado) es conveniente y propicio al analizar más de una variable independiente, que no es el caso de este modelo. El error estándar estimado a partir de la sumatoria de cuadrados (S) muestra que existe una desviación de los residuos de 1,63936. El error medio absoluto (PRESS) es de 114,667 obtenido del promedio de los residuos. 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 1,55993 (P = 0,1288) lo cual indica que no existe auto correlación serial<sup>47</sup> en los residuos con un nivel de confianza del 95%. Indicando que la prueba y el modelo seleccionado son correctos.

#### 4.3.1.5.3. Coeficientes codificados

```
*****
Termino          Efecto      Coef      EE del      IC de 95%      Valor T
Constante                425,750    0,290    (425,152; 426,348)    1469,11
Calcio              9,625      4,813    0,290    ( 4,214; 5,411)      16,61
Cuajo              19,625     9,812    0,290    ( 9,214; 10,411)     33,86
Sodio               1,000      0,500    0,290    (-0,098; 1,098)      1,73
Calcio*Cuajo       -0,250     -0,125   0,290    (-0,723; 0,473)     -0,43
Calcio*Sodio        0,875      0,438    0,290    (-0,161; 1,036)      1,51
Cuajo*Sodio        -0,125     -0,062   0,290    (-0,661; 0,536)     -0,22
Calcio*Cuajo*Sodio -0,750     -0,375   0,290    (-0,973; 0,223)     -1,29

Valor p      VIF
0,000
0,000 1,00
0,000 1,00
0,097 1,00
0,670 1,00
0,144 1,00
0,831 1,00
0,208 1,00
*****
```

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.

```
*****
Estructura de alias
```

<sup>47</sup> Auto-correlación serial: muestra si existe alguna correlación basándose en el orden que se presentan los datos. (Diebold X & Robert S, 2012, págs. 134 - 144)

| Factor | Nombre | Alias    |
|--------|--------|----------|
|        |        | I        |
| A      | Calcio | A B C    |
| B      | Cuajo  | AB AC BC |
| C      | Sodio  | ABC      |

\*\*\*\*\*

La estructura de alias indica que no existen efectos que se puedan confundir entre sí y que el modelo mantiene una resolución adecuada.

#### 4.3.1.5.4. Predicción

\*\*\*\*\*

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Gramaje} = 399,15 + 29,3 \text{ Calcio} + 88,3 \text{ Cuajo} - 0,700 \text{ Sodio} + 55,0 \text{ Calcio} \cdot \text{Cuajo} + 4,75 \text{ Calcio} \cdot \text{Sodio} + 2,75 \text{ Cuajo} \cdot \text{Sodio} - 15,0 \text{ Calcio} \cdot \text{Cuajo} \cdot \text{Sodio}$$

| Variable | Valor de configuración |
|----------|------------------------|
| Calcio   | 0,3                    |
| Cuajo    | 0,1                    |
| Sodio    | 2                      |

\*\*\*\*\*

Se presenta la ecuación del modelo ajustado con unidades no codificadas, dicho de otra forma, con los valores correspondientes de los factores de estudio. De esta forma al tener los valores ajustados pronosticados se construye el intervalo de confianza donde los datos tienen la probabilidad de encontrarse, también se estima el intervalo de predicción con el ajuste de los valores con los siguientes resultados:

| PFITS1 | AJTEPEE1 | LIMC1   | LIMC2   | LIMP1   | LIMP2   |
|--------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 419,50 | 0,819680 | 417,808 | 421,192 | 415,717 | 423,283 |
| 411,25 | 0,819680 | 409,558 | 412,942 | 407,467 | 415,033 |
| 439,75 | 0,819680 | 438,058 | 441,442 | 435,967 | 443,533 |
| 440,75 | 0,819680 | 439,058 | 442,442 | 436,967 | 444,533 |
| 422,25 | 0,819680 | 420,558 | 423,942 | 418,467 | 426,033 |
| 422,25 | 0,819680 | 420,558 | 423,942 | 418,467 | 426,033 |
| 411,25 | 0,819680 | 409,558 | 412,942 | 407,467 | 415,033 |
| 410,75 | 0,819680 | 409,058 | 412,442 | 406,967 | 414,533 |
| 411,25 | 0,819680 | 409,558 | 412,942 | 407,467 | 415,033 |
| 430,50 | 0,819680 | 428,808 | 432,192 | 426,717 | 434,283 |
| 411,25 | 0,819680 | 409,558 | 412,942 | 407,467 | 415,033 |
| 419,50 | 0,819680 | 417,808 | 421,192 | 415,717 | 423,283 |
| 422,25 | 0,819680 | 420,558 | 423,942 | 418,467 | 426,033 |
| 439,75 | 0,819680 | 438,058 | 441,442 | 435,967 | 443,533 |
| 431,25 | 0,819680 | 429,558 | 432,942 | 427,467 | 435,033 |
| 439,75 | 0,819680 | 438,058 | 441,442 | 435,967 | 443,533 |
| 440,75 | 0,819680 | 439,058 | 442,442 | 436,967 | 444,533 |
| 419,50 | 0,819680 | 417,808 | 421,192 | 415,717 | 423,283 |
| 430,50 | 0,819680 | 428,808 | 432,192 | 426,717 | 434,283 |

| PFITS1 | AJTEPEE1 | LIMC1   | LIMC2   | LIMP1   | LIMP2   |
|--------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 430,50 | 0,819680 | 428,808 | 432,192 | 426,717 | 434,283 |
| 439,75 | 0,819680 | 438,058 | 441,442 | 435,967 | 443,533 |
| 431,25 | 0,819680 | 429,558 | 432,942 | 427,467 | 435,033 |
| 410,75 | 0,819680 | 409,058 | 412,442 | 406,967 | 414,533 |
| 431,25 | 0,819680 | 429,558 | 432,942 | 427,467 | 435,033 |
| 440,75 | 0,819680 | 439,058 | 442,442 | 436,967 | 444,533 |
| 431,25 | 0,819680 | 429,558 | 432,942 | 427,467 | 435,033 |
| 410,75 | 0,819680 | 409,058 | 412,442 | 406,967 | 414,533 |
| 440,75 | 0,819680 | 439,058 | 442,442 | 436,967 | 444,533 |
| 419,50 | 0,819680 | 417,808 | 421,192 | 415,717 | 423,283 |
| 430,50 | 0,819680 | 428,808 | 432,192 | 426,717 | 434,283 |
| 410,75 | 0,819680 | 409,058 | 412,442 | 406,967 | 414,533 |
| 422,25 | 0,819680 | 420,558 | 423,942 | 418,467 | 426,033 |

**Tabla 29.-** Resultados Estimados para la variable "gramaje"

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborado por:** Christian Rosero

En la tabla 29. La columna PFITS representa los valores ajustados pronosticados de las corridas experimentales dentro del análisis de regresión. AJTPEE1 son los valores de los errores estándar de los valores pronosticados. LIMC1 y LIMC2 son los valores que describen los intervalos de confianza al 95% representando la probabilidad que los datos de la regresión se encuentren en la región descrita. LIMP1 y LIMP2 muestran el intervalo de predicción donde la media se incluya en los predictores, este intervalo como se puede observar es más ancho que el intervalo de confianza ya que incluye la incertidumbre del modelo: (Calcio Cuajo Sodio Calcio\*Cuajo Calcio\*Sodio Cuajo\*Sodio Calcio\*Cuajo\*Sodio).

#### 4.3.1.5.5. Camino de Máximo Ascenso

| Factor_A | Factor_B | Factor_C | Predicción para |
|----------|----------|----------|-----------------|
| (CALCIO) | (CUAJO)  | (SODIO)  | GRAMAJE         |
| 0,0      | 0,0      | 0,0      | (gr)            |
| 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         |

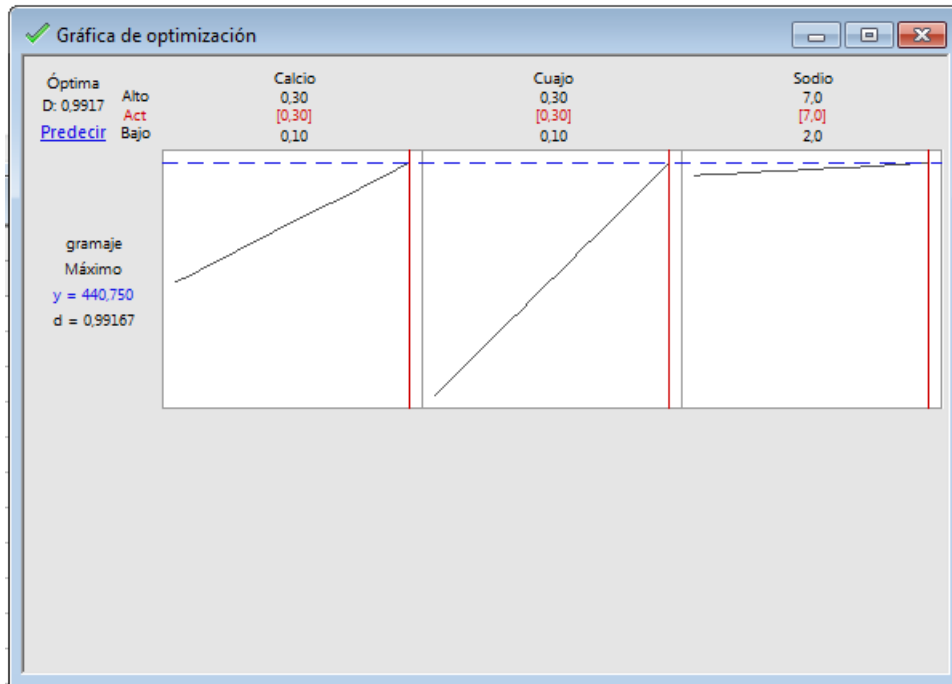
**Tabla 30.-** Valores de Máximo ascenso

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero

El trayecto de ascenso o descenso máximo refleja la región en la que el gramaje experimenta un cambio considerando el mínimo o menor cambio en el efecto experimental (Tabla 30). De esta forma se tiene seis niveles cambiando el factor calcio en 1,0. Este cálculo refleja que el comportamiento de una de las variables estudiadas pudiera ser no lineal.

#### 4.3.1.5.6. Optimización de la respuesta



**Ilustración 19.-** Función de deseabilidad

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero.

```

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

Soluciones
                gramaje Deseabilidad
Solución  Calcio  Cuajo    Sodio    Ajuste    compuesta
1         0,3   0,3      7        440,750   0,991667
2         0,3   0,299947 7        440,745   0,991504
3         0,3   0,3      2,01258 439,753   0,958417

Predicción de respuesta múltiple

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

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

```



El modelo de optimización utiliza como datos de entrada el valor mínimo (411) y máximo (441) del modelo ajustado cuya meta es maximizar la cantidad de queso fresco expresada en gramos.

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.

#### 4.3.1.5.7. Significancia de la prueba

Para determinar la significancia de la prueba estadística se requiere hacer pruebas de comparación múltiple. En este caso, como se espera encontrar el tratamiento que maximice el gramaje del queso fresco significativamente, corresponde ejecutar una prueba de MCB de HSU.

\*\*\*\*\*

#### **Prueba de varianzas iguales: T1; T2; T3; T4; T5; T6; T7; T8**

Método

Hipótesis nula                    Todas las varianzas son iguales  
Hipótesis alterna                Por lo menos una varianza es diferente  
Nivel de significancia         $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| Muestra | N | Desv.Est. | IC                  |
|---------|---|-----------|---------------------|
| T1      | 4 | 1,50000   | (0,212074; 33,5311) |

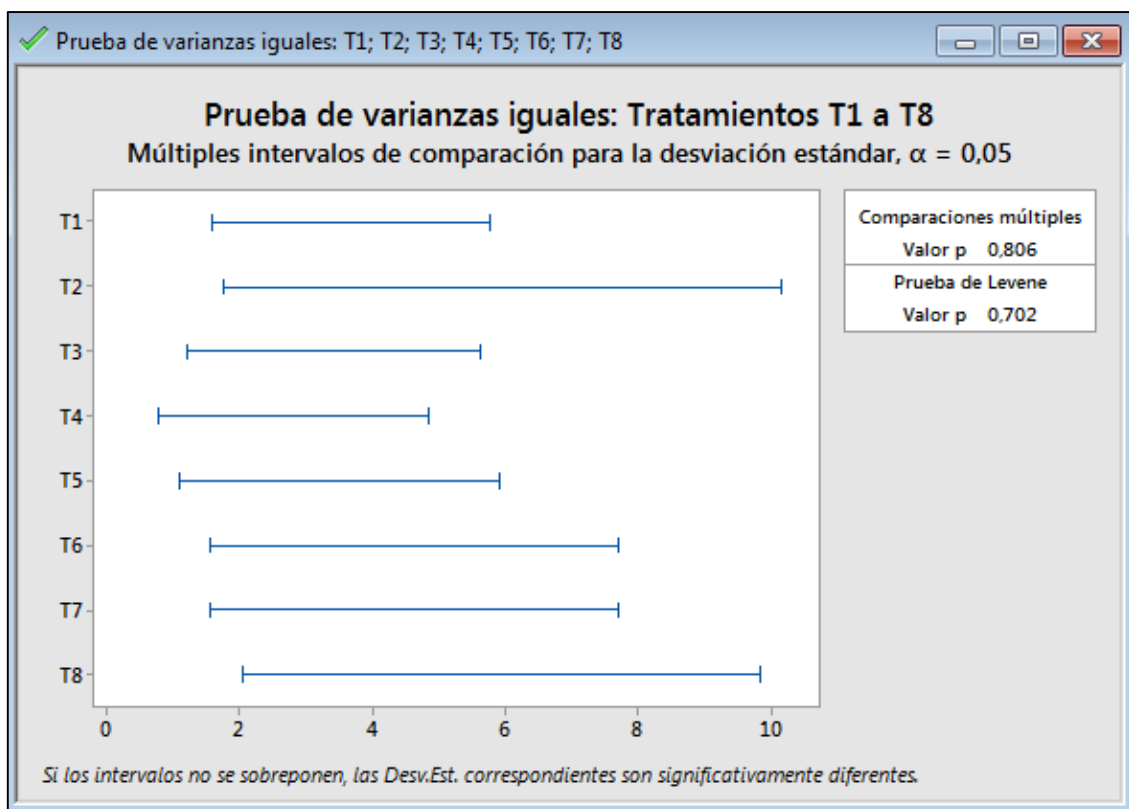
|    |   |         |                     |
|----|---|---------|---------------------|
| T2 | 4 | 2,08167 | (0,157380; 87,0213) |
| T3 | 4 | 1,29099 | (0,121185; 43,4664) |
| T4 | 4 | 0,95743 | (0,091014; 31,8314) |
| T5 | 4 | 1,25831 | (0,075378; 66,3868) |
| T6 | 4 | 1,70783 | (0,129929; 70,9471) |
| T7 | 4 | 1,70783 | (0,129929; 70,9471) |
| T8 | 4 | 2,21736 | (0,223530; 69,5164) |

Nivel de confianza individual = 99,375%

Pruebas

| Método                  | Estadística de prueba | Valor p |
|-------------------------|-----------------------|---------|
| Comparaciones múltiples | -                     | 0,806   |
| Levene                  | 0,66                  | 0,702   |

\*\*\*\*\*



**Ilustración 20.-** Prueba de igualdad de varianzas

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero

Como el valor de la probabilidad de éxito es mayor que el nivel de significancia de la prueba ( $0,806 > 0,05$  &  $0,702 > 0,05$ ) se acepta la hipótesis nula, es decir, las varianzas de los datos son iguales.

Con la validación de este supuesto se procede a realizar la prueba MCB de HSU con el criterio de que la media más grande es mejor.

\*\*\*\*\*

## Análisis de medias: T1; T2; T3; T4; T5; T6; T7; T8

Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna        Por lo menos una media es diferente  
Nivel de significancia    $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor Niveles    Valores  
Factor            8    T1; T2; T3; T4; T5; T6; T7; T8

Análisis de Varianza

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 7  | 3841,50   | 548,786   | 204,20  | 0,000   |
| Error  | 24 | 64,50     | 2,687     |         |         |
| Total  | 31 | 3906,00   |           |         |         |

Resumen del modelo

| S       | R-cuad. | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) |
|---------|---------|--------------------|----------------|
| 1,63936 | 98,35%  | 97,87%             | 97,06%         |

Medias

| Factor | N | Media   | Desv.Est. | IC de 95%          |
|--------|---|---------|-----------|--------------------|
| T1     | 4 | 411,250 | 1,500     | (409,558; 412,942) |
| T2     | 4 | 430,50  | 2,08      | ( 428,81; 432,19)  |
| T3     | 4 | 419,500 | 1,291     | (417,808; 421,192) |
| T4     | 4 | 439,750 | 0,957     | (438,058; 441,442) |
| T5     | 4 | 410,750 | 1,258     | (409,058; 412,442) |
| T6     | 4 | 431,250 | 1,708     | (429,558; 432,942) |
| T7     | 4 | 422,250 | 1,708     | (420,558; 423,942) |
| T8     | 4 | 440,75  | 2,22      | ( 439,06; 442,44)  |

Desv.Est. agrupada = 1,63936

\*\*\*\*\*

La prueba para medias iguales tiene un valor P de cero por lo tanto la Hipótesis nula se rechaza ( $0 > 0,05$  FALSO) y como consecuencia de este rechazo se acepta la hipótesis alternativa de que por lo menos una media es diferente.

\*\*\*\*\*

## Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de HSU

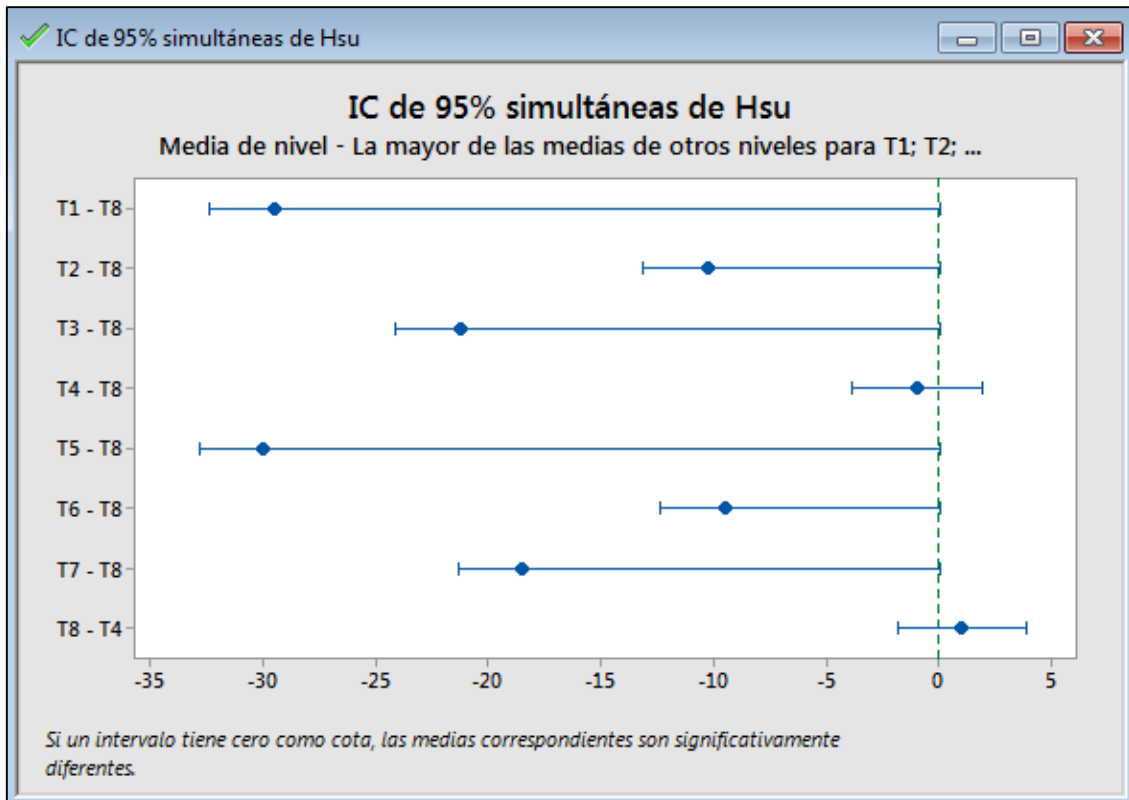
Pruebas simultáneas de Hsu para la media de nivel - La mayor de las medias de otros niveles

| Diferencia de niveles | Diferencia de las medias | EE de diferencia | IC de 95%      | Valor T | Valor p ajustado |
|-----------------------|--------------------------|------------------|----------------|---------|------------------|
| T1 - T8               | -29,50                   | 1,16             | (-32,38; 0,00) | -25,45  | 0,000            |
| T2 - T8               | -10,25                   | 1,16             | (-13,13; 0,00) | -8,84   | 0,000            |
| T3 - T8               | -21,25                   | 1,16             | (-24,13; 0,00) | -18,33  | 0,000            |
| T4 - T8               | -1,00                    | 1,16             | (-3,88; 1,88)  | -0,86   | 0,545            |
| T5 - T8               | -30,00                   | 1,16             | (-32,88; 0,00) | -25,88  | 0,000            |
| T6 - T8               | -9,50                    | 1,16             | (-12,38; 0,00) | -8,20   | 0,000            |
| T7 - T8               | -18,50                   | 1,16             | (-21,38; 0,00) | -15,96  | 0,000            |
| T8 - T4               | 1,00                     | 1,16             | (-1,88; 3,88)  | 0,86    | 0,545            |

Nivel de confianza individual = 97,95%

\*\*\*\*\*

La prueba MCB revela que los niveles de los tratamientos T4-T8 & T8-T4 son diferentes a un nivel de confianza del 97,95%.



**Ilustración 21.-** Intervalos de confianza de la prueba MCB de Hsu

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Se observa en la ilustración 21 los valores de las comparaciones de T1 hasta T8. Los valores que se diferencian resto de tratamientos, cuya cota es la más próxima al valor cero son T4-T8 & T8-T4 por lo cual son significativamente favorables en relación con la variable “gramaje”.

### 4.3.2. Variable Aspecto físico

El aspecto físico es una variable cualitativa, por lo cual, el análisis de los resultados obtenidos se relaciona con el gramaje para su correspondiente interpretación.

#### 4.3.2.1.1. Resultados

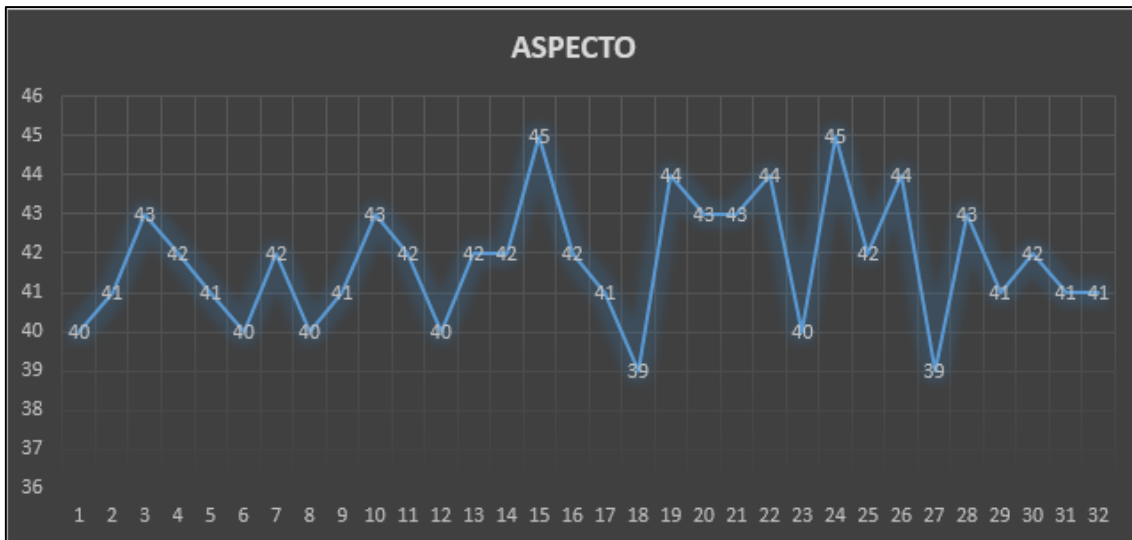
La valoración del aspecto físico del queso fresco se obtuvo a través del grupo de degustación, los cuales calificaron cada corrida experimental en un rango de 1 (mínimo) y 5 (máximo), atendiendo a su apreciación como desagradable o muy agradable según corresponda. Estos valores se muestran en la tabla 31.

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | Calcio | Cuajo | Sodio | Aspecto |
|----------|--------------|-----------|---------|--------|-------|-------|---------|
| 2        | 1            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 40      |
| 9        | 2            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 41      |
| 20       | 3            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 43      |
| 16       | 4            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42      |
| 22       | 5            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 41      |
| 30       | 6            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 40      |
| 17       | 7            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 42      |
| 5        | 8            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 40      |
| 25       | 9            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 41      |
| 27       | 10           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 43      |
| 1        | 11           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 42      |
| 18       | 12           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 40      |
| 6        | 13           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 42      |
| 28       | 14           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 42      |
| 31       | 15           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 45      |
| 4        | 16           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 42      |
| 8        | 17           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 41      |
| 10       | 18           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 39      |
| 3        | 19           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 44      |
| 11       | 20           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 43      |
| 12       | 21           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 43      |
| 7        | 22           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 44      |
| 21       | 23           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 40      |
| 23       | 24           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 45      |
| 32       | 25           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42      |
| 15       | 26           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 44      |
| 13       | 27           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 39      |
| 24       | 28           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 43      |
| 26       | 29           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 41      |
| 19       | 30           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 42      |
| 29       | 31           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 41      |
| 14       | 32           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 41      |

**Tabla 31.-** Valoración de la variable "Aspecto"

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborado por:** Christian Rosero.



**Ilustración 22.-** Valoración de la variable "Aspecto" por corrida experimental

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

En la ilustración 22, se detallan las corridas experimentales evaluadas respecto al aspecto físico del producto. De 10 degustadores que pueden calificar dentro de un rango de 1 a 5 para cada observación, se encuentra que el valor máximo posible es de 50 y el mínimo de 5.

El eje vertical representa el valor de la calificación resultante de las pruebas de degustación, mientras que el eje horizontal de la gráfica corresponde a las corridas experimentales (32).

Como esta apreciación es intrínseca, se procedió a sumar los resultados de las degustaciones de las réplicas para evitar que la posibilidad de compensación o las observaciones atípicas pudieran ejercer control sobre los resultados. (Ver tabla 32).

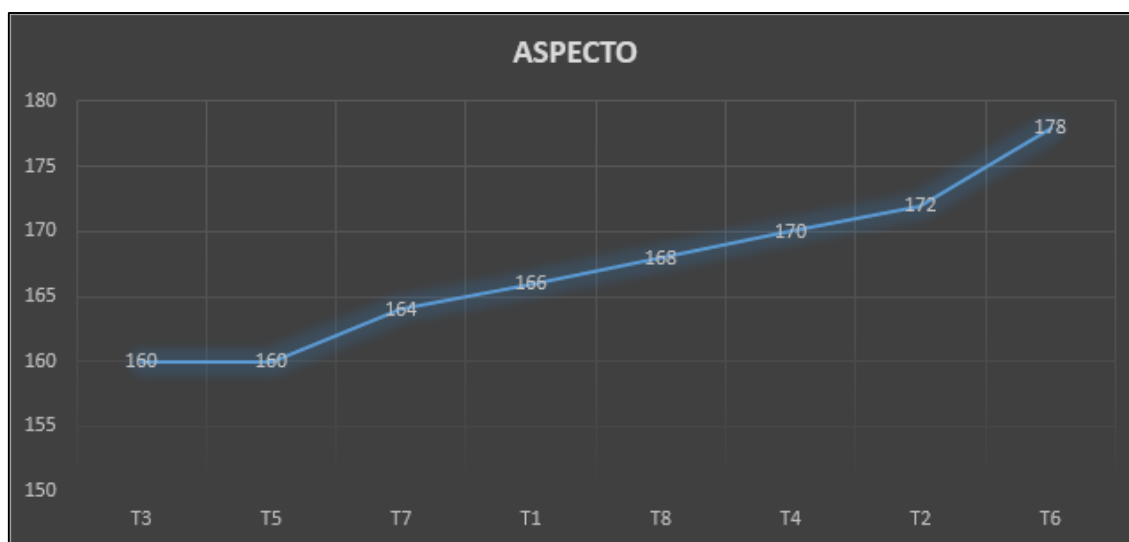
| ASPECTO |             |       |       |          |    |    |    |           |
|---------|-------------|-------|-------|----------|----|----|----|-----------|
| N°      | TRATAMIENTO |       |       | RÉPLICAS |    |    |    | RESPUESTA |
|         | Calcio      | Cuajo | Sodio |          |    |    |    |           |
| T3      | 0,3         | 0,1   | 2     | 40       | 39 | 40 | 41 | 160       |
| T5      | 0,1         | 0,1   | 7     | 40       | 39 | 40 | 41 | 160       |
| T7      | 0,3         | 0,1   | 7     | 41       | 40 | 41 | 42 | 164       |
| T1      | 0,1         | 0,1   | 2     | 41       | 42 | 41 | 42 | 166       |
| T8      | 0,3         | 0,3   | 7     | 42       | 41 | 42 | 43 | 168       |

| Nº | Calcio | Cuajo | Sodio | Réplicas |    |    |    | Respuesta |
|----|--------|-------|-------|----------|----|----|----|-----------|
| T4 | 0,3    | 0,3   | 2     | 42       | 43 | 42 | 43 | 170       |
| T2 | 0,1    | 0,3   | 2     | 43       | 44 | 43 | 42 | 172       |
| T6 | 0,1    | 0,3   | 7     | 44       | 45 | 44 | 45 | 178       |

**Tabla 32.-** Valoración de la variable "Aspecto" por tratamiento

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.



**Ilustración 23.-** Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Aspecto"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Para la ilustración 23, se suman los valores de las cuatro réplicas de cada tratamiento, referente a la variable "aspecto". Por consiguiente, al tener 4 réplicas con una calificación de 1 a 5 cada una, el valor máximo de la evaluación para la variable "aspecto" será de 200 y el mínimo de 20.

El eje vertical refleja los valores dados por el grupo de degustación para cada tratamiento experimental y el eje horizontal representa el número de tratamientos de la experimentación.

El valor observado más favorable corresponde al tratamiento 6 (-1; +1; +1) con una valoración de 178 puntos, mientras que el tratamiento menos propicio respecto a la variable considerada es T3 (+1; -1; -1) y T5 (-1; -1; +1), los dos con una tasación de 160 puntos.

#### 4.3.2.1.2. Gramaje vs Aspecto

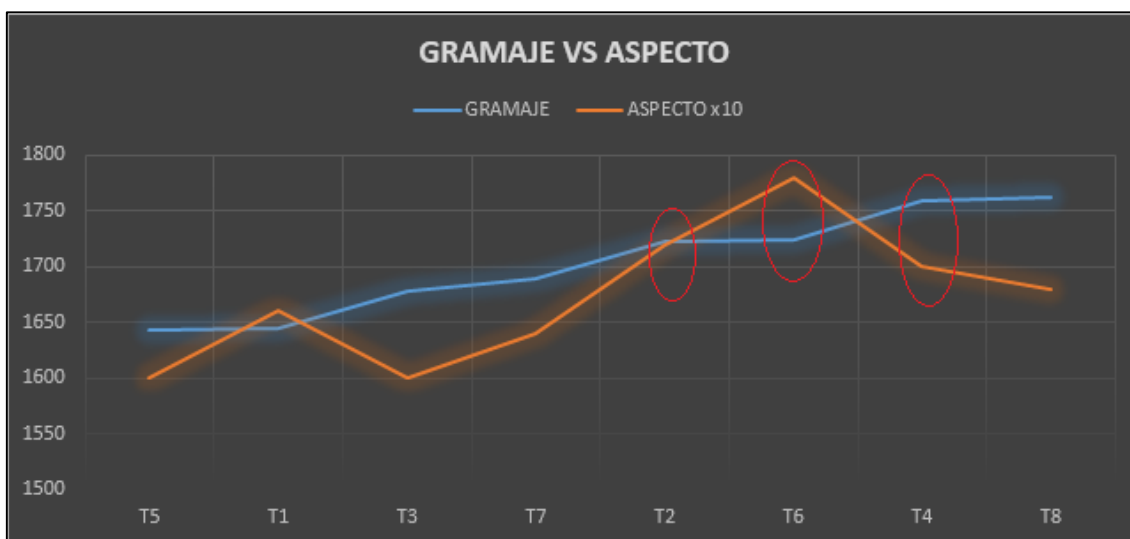
| Tratamiento | Corridas |     |     |     | Gramaje<br>(en gramos) | Puntuación<br>del aspecto | Puntuación<br>x10 |
|-------------|----------|-----|-----|-----|------------------------|---------------------------|-------------------|
|             | 1        | 2   | 3   | 4   |                        |                           |                   |
| T5          | 412      | 409 | 411 | 411 | 1 643                  | 160                       | 1 600             |
| T1          | 410      | 413 | 412 | 410 | 1 645                  | 166                       | 1 660             |
| T3          | 420      | 421 | 419 | 418 | 1 678                  | 160                       | 1 600             |
| T7          | 422      | 423 | 420 | 424 | 1 689                  | 164                       | 1 640             |
| T2          | 433      | 430 | 431 | 428 | 1 722                  | 172                       | 1 720             |
| T6          | 431      | 432 | 429 | 433 | 1 725                  | 178                       | 1 780             |
| T4          | 439      | 439 | 440 | 441 | 1 759                  | 170                       | 1 700             |
| T8          | 438      | 442 | 443 | 440 | 1 763                  | 168                       | 1 680             |

**Tabla 33.-** Relación entre las variables "Gramaje" y "Aspecto"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Para evaluar el mejor tratamiento considerando la relación entre el aspecto del queso fresco y el gramaje obtenido, es necesario que las dos variables tengan la misma escala para poder ser representados en la misma gráfica. De tal forma, se mantiene constante el valor del gramaje obtenido y se multiplica por 10 el valor de la variable “aspecto”, evitando utilizar decimales en el análisis. (Ver tabla 33).



**Ilustración 24.-** Gramaje vs Aspecto

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.



En la ilustración 24 se observa el comportamiento de las variables aspecto (color naranja) y gramaje (color azul) en función de los puntajes alcanzados.

El eje horizontal de la gráfica muestra los 8 tratamientos experimentales y la cantidad de queso producido expresada en gramos.

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.

#### 4.3.2.1.3. Optimización

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

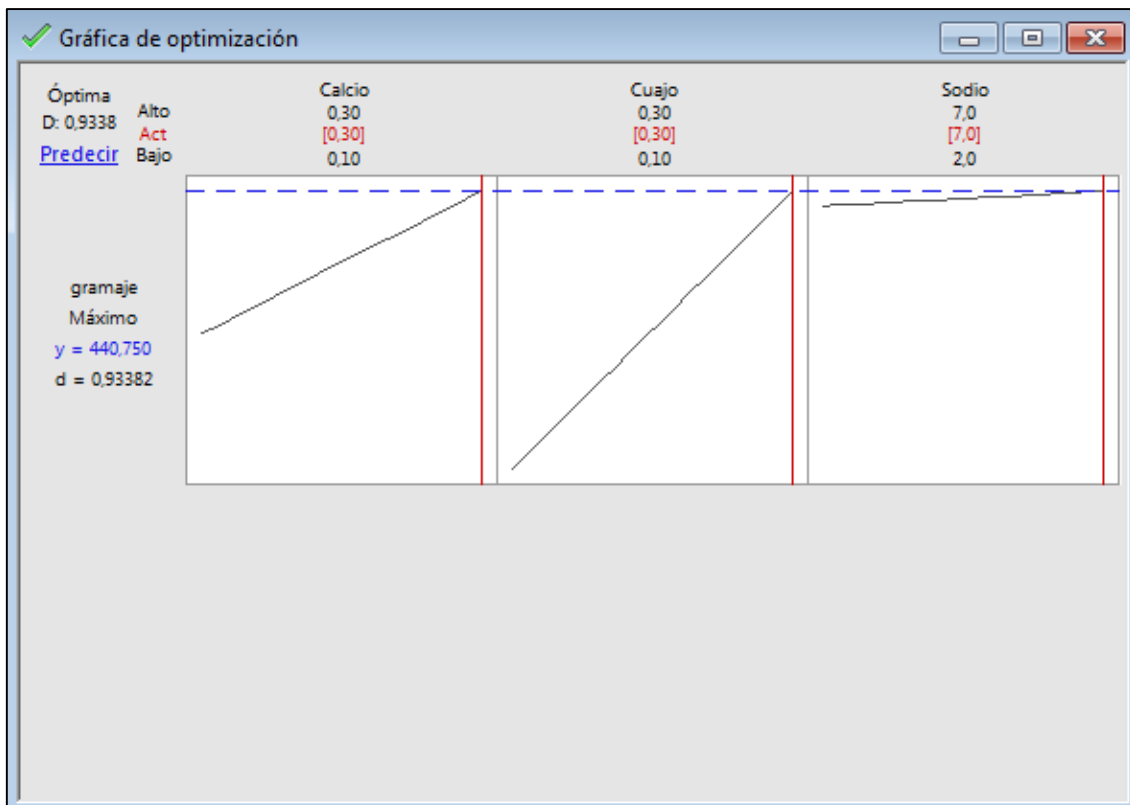
| Factor | Restricción             | Valor fijo | Inferior | Superior |
|--------|-------------------------|------------|----------|----------|
| Calcio | Restricción para región |            | 0,1      | 0,3      |
| Cuajo  | Retención en valor      | 0,3        |          |          |
| Sodio  | Restricción para región |            | 2        | 7        |

**Tabla 34.-** Parámetros de optimización

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Los valores de restricción fijo o de región de la tabla 34, se obtienen de los valores comunes entre los factores de los mejores tratamientos. Cuando un tratamiento comparte un solo valor se considera retención, si tiene dos valores diferentes para un mismo factor, se analiza la región del intervalo que genera.



**Ilustración 25.-** Función de deseabilidad para la variable "Aspecto"

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero.

### Optimización de respuesta: gramaje

\*\*\*\*\*

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 Ajuste | Deseabilidad compuesta |
|----------|----------|-------|---------|----------------|------------------------|
| 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 ajuste 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.

### 4.3.3. Variable Sabor

El sabor es una variable cualitativa por lo que su interpretación requiere que se haga una relación con el gramaje resultante.

#### 4.3.3.1. Resultados

Cada corrida experimental se calificó entre 1 y 5 según el rango de desagradable a agradable, respectivamente. Los valores de la sumatoria de tales ponderaciones se observan en la tabla 35.

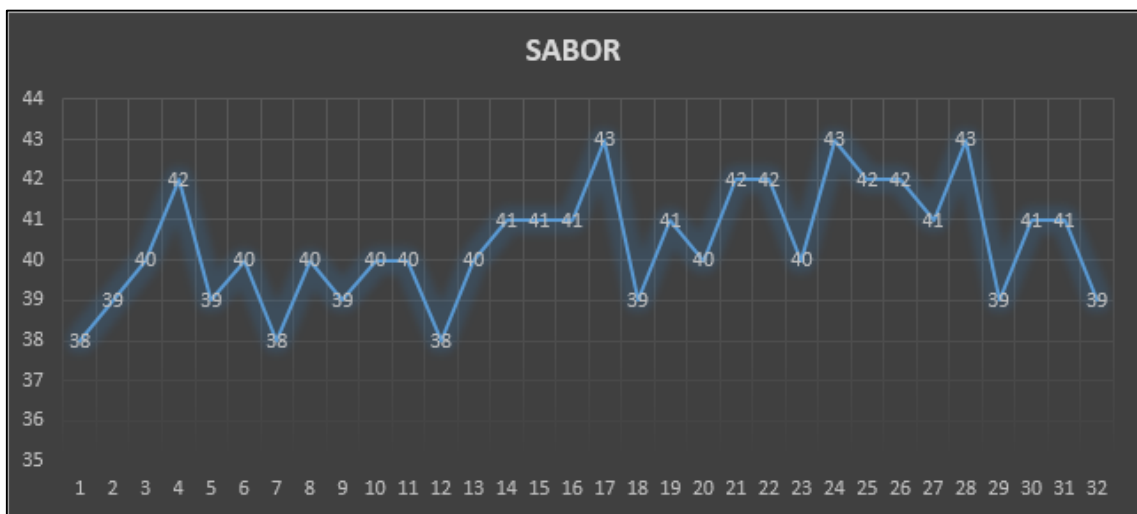
| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | Calcio | Cuajo | Sodio | Sabor |
|----------|--------------|-----------|---------|--------|-------|-------|-------|
| 2        | 1            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 38    |
| 9        | 2            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 39    |
| 20       | 3            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 40    |
| 16       | 4            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42    |
| 22       | 5            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 39    |
| 30       | 6            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 40    |
| 17       | 7            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 38    |
| 5        | 8            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 40    |
| 25       | 9            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 39    |
| 27       | 10           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 40    |
| 1        | 11           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 40    |
| 18       | 12           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 38    |
| 6        | 13           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 40    |

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | Calcio | Cuajo | Sodio | Sabor |
|----------|--------------|-----------|---------|--------|-------|-------|-------|
| 28       | 14           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 41    |
| 31       | 15           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 41    |
| 4        | 16           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 41    |
| 8        | 17           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 43    |
| 10       | 18           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 39    |
| 3        | 19           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 41    |
| 11       | 20           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 40    |
| 12       | 21           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 42    |
| 7        | 22           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 42    |
| 21       | 23           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 40    |
| 23       | 24           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 43    |
| 32       | 25           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42    |
| 15       | 26           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 42    |
| 13       | 27           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 41    |
| 24       | 28           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 43    |
| 26       | 29           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 39    |
| 19       | 30           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 41    |
| 29       | 31           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 41    |
| 14       | 32           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 39    |

**Tabla 35.-** Valoración de la variable "Sabor"

**Fuente:** El autor, Obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero



**Ilustración 26.-** Valoración de la variable "Sabor" por corrida experimental

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

De la misma forma que en la evaluación del aspecto físico, para el sabor se tienen 32 corridas experimentales, representadas en el eje horizontal de la ilustración 26. La calificación para cada corrida está dada por la sumatoria de las calificaciones de los degustadores, este valor corresponde al eje vertical.

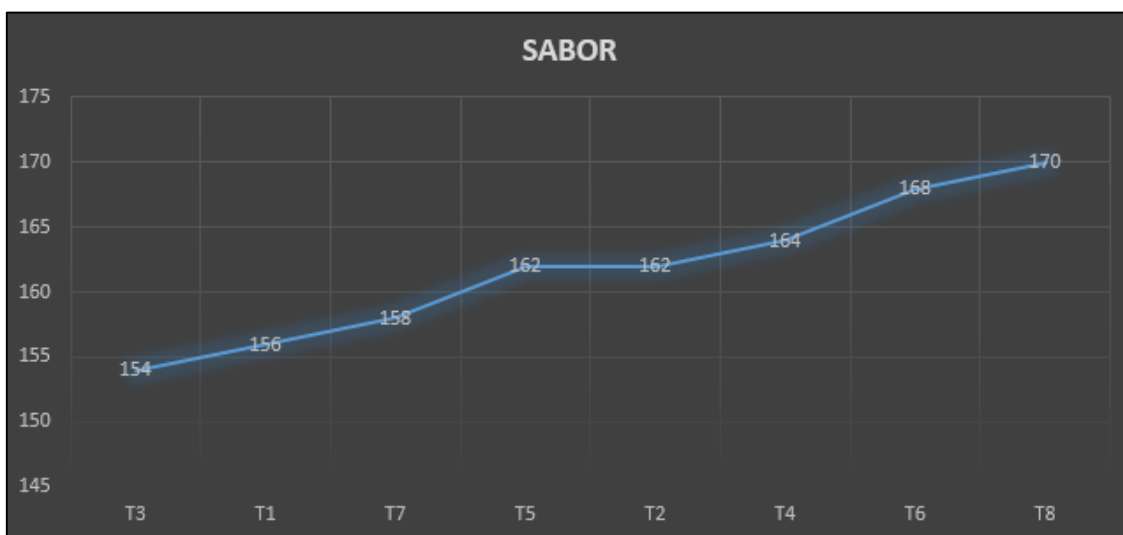
| SABOR |             |       |       |          |    |    |    |           |
|-------|-------------|-------|-------|----------|----|----|----|-----------|
| Nº    | TRATAMIENTO |       |       | RÉPLICAS |    |    |    | RESPUESTA |
|       | Calcio      | Cuajo | Sodio |          |    |    |    |           |
| T3    | 0,3         | 0,1   | 2     | 38       | 39 | 38 | 38 | 154       |
| T1    | 0,1         | 0,1   | 2     | 39       | 38 | 39 | 39 | 156       |
| T7    | 0,3         | 0,1   | 7     | 39       | 40 | 39 | 39 | 158       |
| T5    | 0,1         | 0,1   | 7     | 40       | 41 | 40 | 40 | 162       |
| T2    | 0,1         | 0,3   | 2     | 40       | 41 | 40 | 40 | 162       |
| T4    | 0,3         | 0,3   | 2     | 41       | 40 | 41 | 41 | 164       |
| T6    | 0,1         | 0,3   | 7     | 42       | 41 | 42 | 42 | 168       |
| T8    | 0,3         | 0,3   | 7     | 42       | 43 | 42 | 42 | 170       |

**Tabla 36.-** Valoración de la variable "Sabor" por tratamiento

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Para evitar que las observaciones atípicas ejerzan influencia en los resultados se sumaron los valores obtenidos de las réplicas, como se expresa en la tabla 36.



**Ilustración 27.-** Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Sabor"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La ilustración 27, muestra en el eje horizontal los 8 tratamientos conformados de cuatro réplicas cada uno, en tanto que el eje horizontal señala la sumatoria de las calificaciones de dichas réplicas.

La calificación mínima es de 20 y la máxima de 200, al tratarse de una sumatoria para cuatro corridas con calificaciones de 1 a 5 cada una.

Se puede apreciar que el tratamiento experimental T8 (+,+,+) tiene un total de 170 puntos, siendo este el más favorable y el tratamiento T3 (+,-,-) alcanzó los 154 puntos correspondiéndole la peor puntuación.

Los tratamientos T5 y T2 no presentaron diferencia en la percepción del sabor aun cuando el único valor que comparten estos dos tratamientos es el del factor calcio (0,1). En este caso el valor de diferenciación lo da el gramaje resultante.

#### 4.3.3.2. Gramaje vs Sabor

| Tratamiento | Corridas |     |     |     | Gramaje<br>(en gramos) | Puntuación<br>del sabor | Puntuación<br>x10 |
|-------------|----------|-----|-----|-----|------------------------|-------------------------|-------------------|
|             | 1        | 2   | 3   | 4   |                        |                         |                   |
| T5          | 412      | 409 | 411 | 411 | 1 643                  | 162                     | 1 620             |
| T1          | 410      | 413 | 412 | 410 | 1 645                  | 156                     | 1 560             |
| T3          | 420      | 421 | 419 | 418 | 1 678                  | 154                     | 1 540             |
| T7          | 422      | 423 | 420 | 424 | 1 689                  | 158                     | 1 580             |
| T2          | 433      | 430 | 431 | 428 | 1 722                  | 162                     | 1 620             |
| T6          | 431      | 432 | 429 | 433 | 1 725                  | 168                     | 1 680             |
| T4          | 439      | 439 | 440 | 441 | 1 759                  | 164                     | 1 640             |
| T8          | 438      | 442 | 443 | 440 | 1 763                  | 170                     | 1 700             |

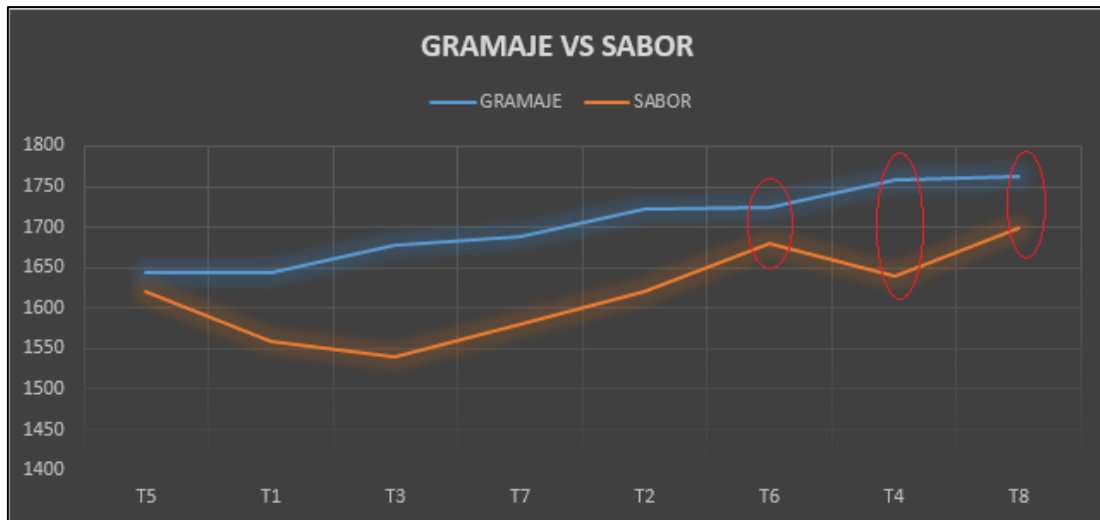
**Tabla 37.-**Relación de las variables "Gramaje" y "Sabor"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

En la tabla 37 se muestran los datos obtenidos para la relación entre el gramaje y el sabor, adecuados en una misma escala con el orden de tratamientos dado por la cantidad resultante de queso fresco.

Los valores para el gramaje son el resultado de la sumatoria de las 4 corridas, así como los valores del sabor. Sin embargo, para objetivos de representación gráfica se cambió la escala de la puntuación del sabor y poder representar estos datos.



**Ilustración 28.-** Gramaje vs Sabor

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero

La ilustración 28, relaciona la cantidad obtenida de queso fresco en gramos por cada tratamiento mostrado de color azul, con la puntuación dada a la variable “sabor”, ajustando la escala en x10 representada de color naranja.

El eje vertical detalla la puntuación y la cantidad producida de queso fresco en gramos, mientras que el eje horizontal representa a los 8 tratamientos.

Al relacionar las dos variables 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.

#### 4.3.3.3. Optimización

Para la predicción del gramaje optimizando el valor de los factores respecto a la variable “sabor”, se consideran los tratamientos observados como aceptables T4 y T8. Para los cuales se tienen los parámetros citados en la tabla 38.

| Variable | Restricción             | Valor fijo | Inferior | Superior |
|----------|-------------------------|------------|----------|----------|
| Calcio   | Retención en valor      | 0,3        |          |          |
| Cuajo    | Retención en valor      | 0,3        |          |          |
| Sodio    | Restricción para región |            | 2        | 7        |

**Tabla 38.-** Parámetros de optimización

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero.

### Optimización de respuesta: gramaje

\*\*\*\*\*

#### Parámetros

| Respuesta | Meta   | Inferior | Objetivo | Superior | Ponderación | Importancia |
|-----------|--------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| gramaje   | Máximo | 409      | 443      |          | 1           | 1           |

#### Rangos de variables

| Variable | Valores  |
|----------|----------|
| Calcio   | 0,3      |
| Cuajo    | 0,3      |
| Sodio    | ( 2; 7 ) |

#### Soluciones

| Solución | Calcio | Cuajo | Sodio   | gramaje<br>Ajuste | Deseabilidad<br>compuesta |
|----------|--------|-------|---------|-------------------|---------------------------|
| 1        | 0,3    | 0,3   | 7       | 440,750           | 0,933824                  |
| 2        | 0,3    | 0,3   | 2,03272 | 439,757           | 0,904604                  |

#### Predicción de respuesta múltiple

| Variable | Valor de<br>configuración |
|----------|---------------------------|
| Calcio   | 0,3                       |
| Cuajo    | 0,3                       |
| Sodio    | 7                         |

| Respuesta | Ajuste  | EE de<br>ajuste | IC de 95%          | IP de 95%          |
|-----------|---------|-----------------|--------------------|--------------------|
| gramaje   | 440,750 | 0,820           | (439,058; 442,442) | (436,967; 444,533) |

\*\*\*\*\*

Con los parámetros y restricciones dados, se plantea un modelo de optimización con un nivel de confianza del 95% para pruebas bilaterales.

Se pueden apreciar dos respuestas cuyos valores objetivos se encuentran dentro de los respectivos intervalos de confianza y de probabilidad. Por lo tanto se tiene como valor de optimización el mismo calculado para la variable “aspecto” de 440,750 gramos.



#### 4.3.4. Variable Olor

La valoración del olor corresponde a una variable cualitativa, por lo que, la interpretación de sus resultados requiere que se relacionen los mismos con los obtenidos para el gramaje.

##### 4.3.4.1. Resultados

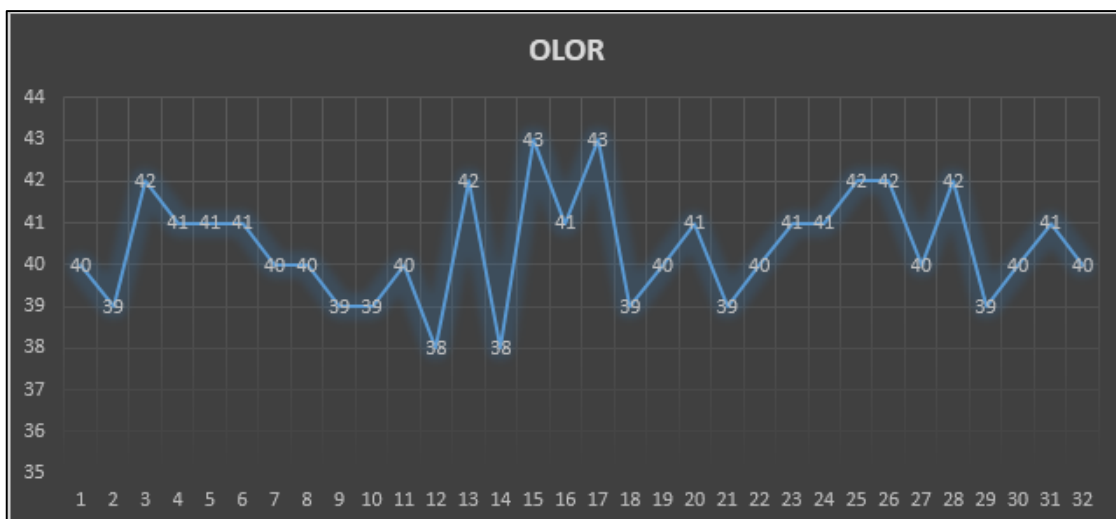
La calificación dada por los degustadores se establece en un rango de 5 a 50, ya que la calificación se mantiene de 1 a 5 en cada observación siendo desagradable y agradable las valoraciones correspondientes. (Ver tabla 39).

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | Calcio | Cuajo | Sodio | Olor |
|----------|--------------|-----------|---------|--------|-------|-------|------|
| 2        | 1            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 40   |
| 9        | 2            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 39   |
| 20       | 3            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 42   |
| 16       | 4            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 41   |
| 22       | 5            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 41   |
| 30       | 6            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 41   |
| 17       | 7            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 40   |
| 5        | 8            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 40   |
| 25       | 9            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 39   |
| 27       | 10           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 39   |
| 1        | 11           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 40   |
| 18       | 12           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 38   |
| 6        | 13           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 42   |
| 28       | 14           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 38   |
| 31       | 15           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 43   |
| 4        | 16           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 41   |
| 8        | 17           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 43   |
| 10       | 18           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 39   |
| 3        | 19           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 40   |
| 11       | 20           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 41   |
| 12       | 21           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 39   |
| 7        | 22           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 40   |
| 21       | 23           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 41   |
| 23       | 24           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 41   |
| 32       | 25           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42   |
| 15       | 26           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 42   |
| 13       | 27           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 40   |
| 24       | 28           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42   |
| 26       | 29           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 39   |
| 19       | 30           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 40   |
| 29       | 31           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 41   |
| 14       | 32           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 40   |

**Tabla 39.-**Valoración de la variable "Olor"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.



**Ilustración 29.-** Valoración de la variable "Olor" por corrida experimental

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La ilustración 29, evidencia las calificaciones otorgadas a las unidades experimentales evaluando la variable "olor". Las 32 corridas están expresadas en el eje horizontal y le corresponde mostrar al eje vertical las puntuaciones dadas para cada observación.

| OLOR |             |       |       |          |    |    |    |           |
|------|-------------|-------|-------|----------|----|----|----|-----------|
| Nº   | TRATAMIENTO |       |       | RÉPLICAS |    |    |    | RESPUESTA |
|      | Calcio      | Cuajo | Sodio |          |    |    |    |           |
| T3   | 0,3         | 0,1   | 2     | 38       | 39 | 40 | 39 | 156       |
| T1   | 0,1         | 0,1   | 2     | 39       | 40 | 39 | 40 | 158       |
| T2   | 0,1         | 0,3   | 2     | 39       | 40 | 41 | 40 | 160       |
| T4   | 0,3         | 0,3   | 2     | 38       | 42 | 41 | 39 | 160       |
| T5   | 0,1         | 0,1   | 7     | 40       | 40 | 41 | 41 | 162       |
| T7   | 0,3         | 0,1   | 7     | 41       | 41 | 40 | 42 | 164       |
| T6   | 0,1         | 0,3   | 7     | 40       | 43 | 42 | 41 | 166       |
| T8   | 0,3         | 0,3   | 7     | 41       | 43 | 42 | 42 | 168       |

**Tabla 40.-** Valoración de la variable "Olor" por tratamiento

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Respetando el mismo sistema de análisis de datos, se agrupan los tratamientos para conocer los valores máximos y mínimos de las puntuaciones obtenidas, tal como se aprecia en la tabla 40.



**Ilustración 30.-** Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Olor"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

El eje vertical de la ilustración 30, refleja la puntuación dada a los 8 tratamientos del eje horizontal. Con una calificación mínima de 20 y máxima de 200, se coloca el tratamiento T8 (+,+,+) con 168 puntos como el más adecuado respecto a la variable olor y el menos apto asignado al tratamiento T3 (+,-,-) con 156 puntos.

#### 4.3.4.2. Gramaje vs Olor

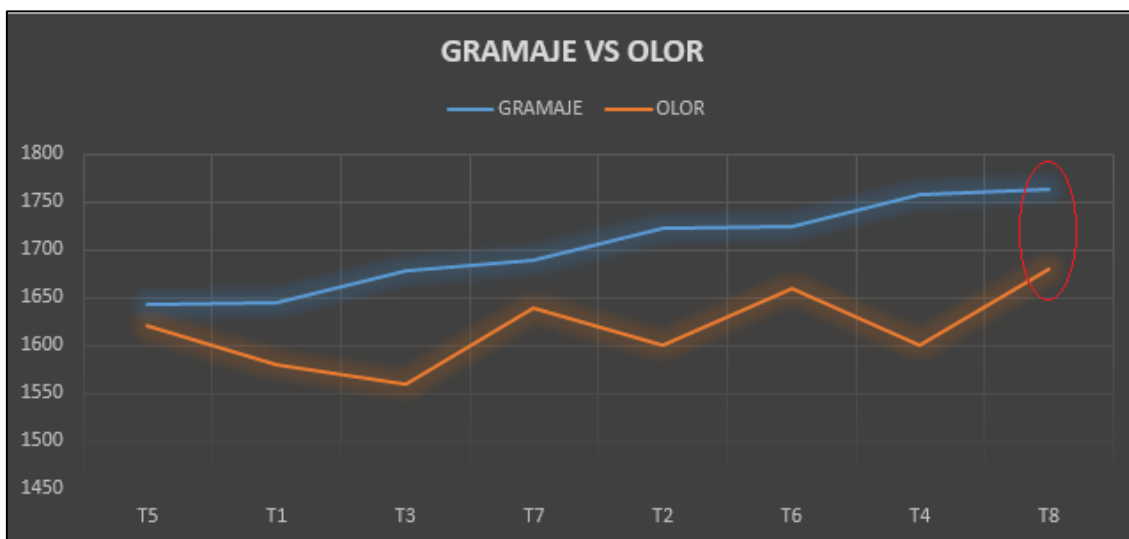
| Tratamiento | Corridas |     |     |     | Gramaje<br>(en gramos) | Puntuación<br>del olor | Puntuación<br>x10 |
|-------------|----------|-----|-----|-----|------------------------|------------------------|-------------------|
|             | 1        | 2   | 3   | 4   |                        |                        |                   |
| T5          | 412      | 409 | 411 | 411 | 1 643                  | 162                    | 1 620             |
| T1          | 410      | 413 | 412 | 410 | 1 645                  | 158                    | 1 580             |
| T3          | 420      | 421 | 419 | 418 | 1 678                  | 156                    | 1 560             |
| T7          | 422      | 423 | 420 | 424 | 1 689                  | 164                    | 1 640             |
| T2          | 433      | 430 | 431 | 428 | 1 722                  | 160                    | 1 600             |
| T6          | 431      | 432 | 429 | 433 | 1 725                  | 166                    | 1 660             |
| T4          | 439      | 439 | 440 | 441 | 1 759                  | 160                    | 1 600             |
| T8          | 438      | 442 | 443 | 440 | 1 763                  | 168                    | 1 680             |

**Tabla 41.-** Relación entre las variables "Gramaje" y "Olor"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La relación de la variable “olor” con el gramaje obtenido se muestra en la tabla 41, para la cual se tomó como orden de tratamientos a la cantidad de queso fresco resultante. El valor de la puntuación se llevó a una escala acorde para representar los datos en una sola figura que facilite su análisis e interpretación.



**Ilustración 31.-** Gramaje vs Olor

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La ilustración 31, representa en su eje horizontal a los 8 tratamientos dados en la experimentación y el eje vertical indica los valores de la puntuación de la variable “olor” (color naranja) y el gramaje captado (color azul) de queso fresco.

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”.

#### 4.3.4.3. Optimización

Para optimizar el modelo respecto a la variable “Olor” se consideran las restricciones encontradas en los tratamientos aceptables, para este caso T8. Donde se generan los parámetros mostrados en la tabla 42.

| Variable | Restricción        | Valor fijo | Inferior | Superior |
|----------|--------------------|------------|----------|----------|
| Calcio   | Retención en valor | 0,3        |          |          |
| Cuajo    | Retención en valor | 0,3        |          |          |
| Sodio    | Retención en valor | 7          |          |          |

**Tabla 42.-** Parámetros de optimización

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Los valores de los mejores tratamientos coinciden para este caso, obteniéndose así solo puntos fijos para la optimización.

#### Optimización de respuesta: gramaje

\*\*\*\*\*

Parámetros

| Respuesta | Meta   | Inferior | Objetivo | Superior | Ponderación | Importancia |
|-----------|--------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| gramaje   | Máximo | 409      | 443      |          | 1           | 1           |

Rangos de variables

| Variable | Valores |
|----------|---------|
| Calcio   | 0,3     |
| Cuajo    | 0,3     |
| Sodio    | 7       |

Solución

| Solución | Calcio | Cuajo | Sodio | gramaje Ajuste | Deseabilidad compuesta |
|----------|--------|-------|-------|----------------|------------------------|
| 1        | 0,3    | 0,3   | 7     | 440,75         | 0,933824               |

Predicción de respuesta múltiple

| Variable | Valor de configuración |
|----------|------------------------|
| Calcio   | 0,3                    |
| Cuajo    | 0,3                    |
| Sodio    | 7                      |

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

\*\*\*\*\*

Para un modelo bilateral al 95% de confianza se encuentra tan solo una respuesta óptima en la predicción del gramaje, siendo 440,4750 el valor puntual esperado. Este valor se comparte con los resultados predichos de las variables “Aspecto” y “Sabor”.

#### 4.3.5. Variable Valoración General

La valoración general es de tipo cualitativo, por lo cual, para la interpretación adecuada de esta variable se relacionan los valores obtenidos con los alcanzados para el gramaje.

##### 4.3.5.1. Resultados

La valoración general corresponde a una puntuación de cómo se aprecia el queso a nivel organoléptico en todas sus características apreciables de forma habitual.

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | Calcio | Cuajo | Sodio | V.G |
|----------|--------------|-----------|---------|--------|-------|-------|-----|
| 2        | 1            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 40  |
| 9        | 2            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 39  |
| 20       | 3            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 42  |
| 16       | 4            | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42  |
| 22       | 5            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 40  |
| 30       | 6            | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 41  |
| 17       | 7            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 40  |
| 5        | 8            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 41  |
| 25       | 9            | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 40  |
| 27       | 10           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 41  |
| 1        | 11           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 2     | 40  |
| 18       | 12           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 40  |
| 6        | 13           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 41  |
| 28       | 14           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 41  |
| 31       | 15           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 43  |
| 4        | 16           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 41  |
| 8        | 17           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 43  |
| 10       | 18           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 39  |
| 3        | 19           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 42  |
| 11       | 20           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 42  |
| 12       | 21           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 2     | 42  |
| 7        | 22           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 42  |
| 21       | 23           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 41  |
| 23       | 24           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 43  |
| 32       | 25           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 42  |
| 15       | 26           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 7     | 43  |
| 13       | 27           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 40  |
| 24       | 28           | 1         | 1       | 0,3    | 0,3   | 7     | 43  |
| 26       | 29           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 2     | 41  |
| 19       | 30           | 1         | 1       | 0,1    | 0,3   | 2     | 42  |
| 29       | 31           | 1         | 1       | 0,1    | 0,1   | 7     | 42  |
| 14       | 32           | 1         | 1       | 0,3    | 0,1   | 7     | 40  |

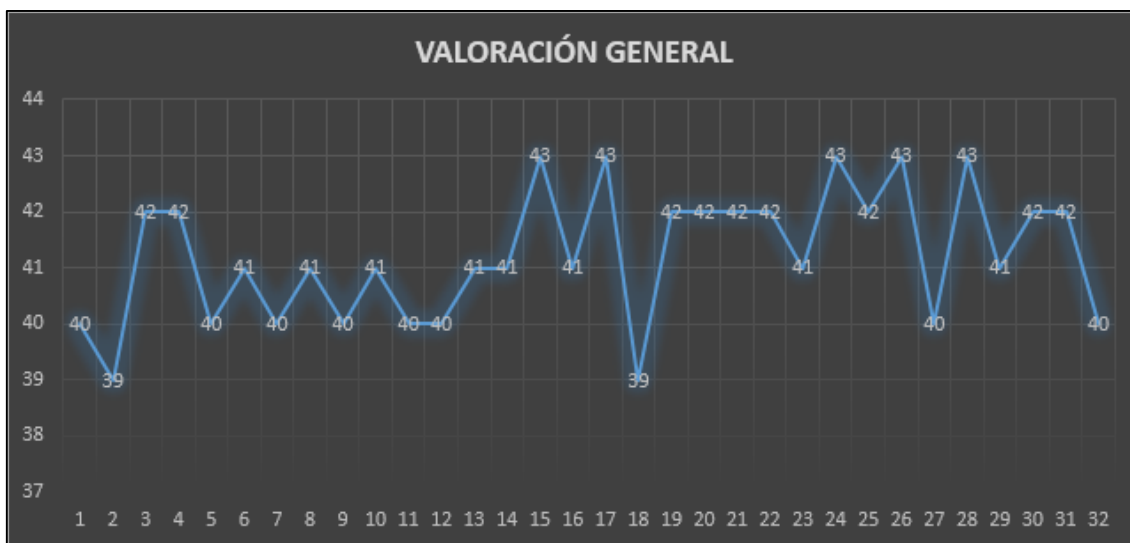
**Tabla 43.-** Valoración de la variable "Valoración General"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La puntuación de esta variable es igual a las analizadas anteriormente. Es decir, se tiene una calificación de 1 (desagradable) a 5 (muy agradable) para lo cual, cada valor aporta

a una sumatoria donde se tendrá un valor máximo de 50 y un mínimo de 5 puntos debido a que se realizó diez pruebas de degustación por cada observación. (Ver tabla 43).



**Ilustración 32.-** Valoración de la variable "Valoración General" por corrida experimental

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

De la ilustración 32, se concluye necesario facilitar el análisis de las corridas agrupando los tratamientos experimentales para evitar que los valores dados no se compensen unos con otros.

| VALORACIÓN GENERAL |             |       |       |          |    |    |    |           |
|--------------------|-------------|-------|-------|----------|----|----|----|-----------|
| Nº                 | TRATAMIENTO |       |       | RÉPLICAS |    |    |    | RESPUESTA |
|                    | Calcio      | Cuajo | Sodio |          |    |    |    |           |
| T1                 | 0,1         | 0,1   | 2     | 39       | 40 | 40 | 40 | 159       |
| T3                 | 0,3         | 0,1   | 2     | 40       | 39 | 40 | 41 | 160       |
| T7                 | 0,3         | 0,1   | 7     | 40       | 41 | 40 | 41 | 162       |
| T5                 | 0,1         | 0,1   | 7     | 41       | 40 | 41 | 42 | 164       |
| T4                 | 0,3         | 0,3   | 2     | 41       | 42 | 41 | 42 | 166       |
| T2                 | 0,1         | 0,3   | 2     | 41       | 42 | 42 | 42 | 167       |
| T8                 | 0,3         | 0,3   | 7     | 42       | 43 | 42 | 43 | 170       |
| T6                 | 0,1         | 0,3   | 7     | 42       | 43 | 43 | 43 | 171       |

**Tabla 44.-** Valoración de la variable "Valoración General" por tratamiento

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La tabla 44, muestra la calificación otorgada a los tratamientos con cuatro réplicas cada uno, cuyos valores fueron sumados entre sí (por separado cada tratamiento) para evitar compensaciones en los datos.



**Ilustración 33.-** Valoración de los tratamientos respecto a la variable "Valoración General"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

Para la valoración general del queso fresco (Ilustración 33), se representan los 8 tratamientos en el eje horizontal y sus respectivas puntuaciones en el eje vertical.

Cada tratamiento puede tener un valor mínimo de 20 y un máximo de 200 puntos. Considerando la valoración general como una variable de análisis se tuvo que el tratamiento T6 (-,+,+) alcanzó 171 puntos consolidándose como el mejor tratamiento respecto a la variable de análisis y el tratamiento T1 (-,-,-) como el menos apropiado con 159 puntos.

#### 4.3.5.2. Gramaje vs Valoración General

| Tratamiento | Corridas |     |     |     | Gramaje<br>(en gramos) | Puntuación<br>del VG | Puntuación<br>x10 |
|-------------|----------|-----|-----|-----|------------------------|----------------------|-------------------|
|             | 1        | 2   | 3   | 4   |                        |                      |                   |
| T5          | 412      | 409 | 411 | 411 | 1 643                  | 164                  | 1 640             |
| T1          | 410      | 413 | 412 | 410 | 1 645                  | 159                  | 1 590             |
| T3          | 420      | 421 | 419 | 418 | 1 678                  | 160                  | 1 600             |
| T7          | 422      | 423 | 420 | 424 | 1 689                  | 162                  | 1 620             |



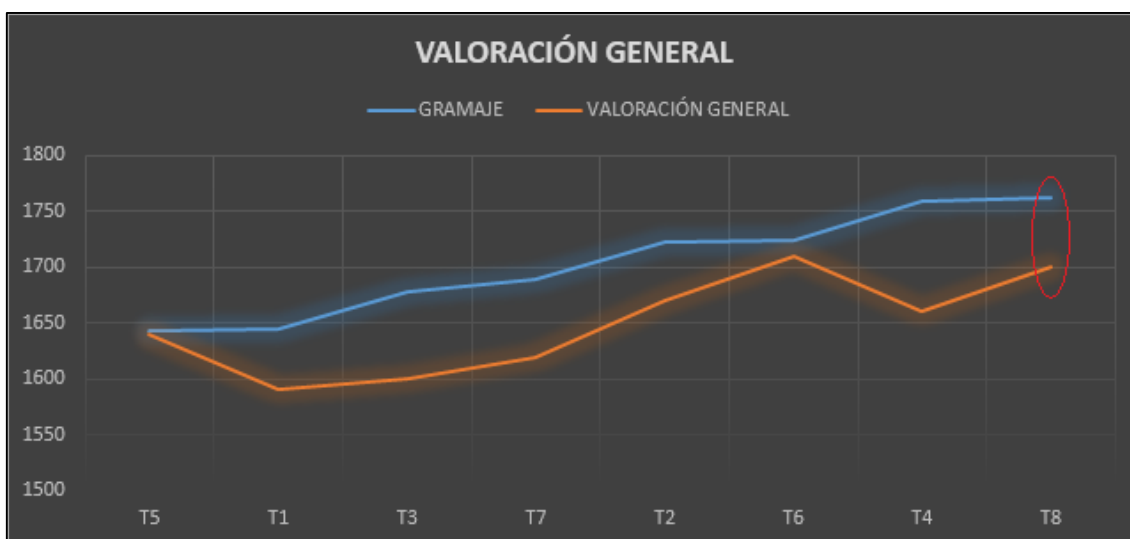
| Tratamiento | 1   | 2   | 3   | 4   | Gramaje | Puntuación | Puntuación |
|-------------|-----|-----|-----|-----|---------|------------|------------|
| T2          | 433 | 430 | 431 | 428 | 1 722   | 167        | 1 670      |
| T6          | 431 | 432 | 429 | 433 | 1 725   | 171        | 1 710      |
| T4          | 439 | 439 | 440 | 441 | 1 759   | 166        | 1 660      |
| T8          | 438 | 442 | 443 | 440 | 1 763   | 170        | 1 700      |

**Tabla 45.-** Relación entre las variables "Gramaje" y "Valoración General"

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La tabla 45 establece la relación entre las variables “valoración general” y el gramaje resultante en los tratamientos. La puntuación de la valoración general fue ajustada a una escala adecuada (x10) para poder representar los datos gráficamente.



**Ilustración 34.-** Gramaje vs Valoración General

**Fuente:** El autor, obtenido de la experimentación.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

La ilustración 34, expresa el comportamiento del gramaje (color azul) y la puntuación para la variable “valoración general” (color naranja). El eje horizontal denota los 8 tratamientos experimentales, en tanto que el vertical detalla los valores del gramaje y la puntuación de las variables analizadas.

Según la tendencia, 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”.

### 4.3.5.3. Optimización

La optimización de la variable “valoración general” toma como restricciones los valores del tratamiento T8, cuyos parámetros se analizaron en la variable “Olor” para los cuales se tuvo:

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

Rangos de variables
Variable  Valores
Calcio    0,3
Cuajo     0,3
Sodio     7

Solución
Solución  Calcio  Cuajo  Sodio  gramaje  Deseabilidad
          0,3    0,3    7      Ajuste  compuesta
1          0,3    0,3    7      440,75  0,933824

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

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

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.

#### 4.4. Validación de los instrumentos de medición

Tan importante como generar un modelo adecuado de análisis, lo es contar con un sistema adecuado y confiable de obtención de datos. El método utilizado para validar el sistema de medición crítico fue un estudio R&R<sup>48</sup> cruzado a la balanza LandScape R-001 que fue utilizada para medir las cantidades de cloruro de calcio, cloruro de sodio y cuajo. Así también se efectuó el mismo análisis a la balanza LandScape R-01 que se utilizó para medir la cantidad de gramos obtenidos de queso fresco en cada corrida experimental, con los siguientes resultados:

##### 4.4.1. Balanza LandScape R-01

\*\*\*\*\*

#### Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Mediciones

Nombre del sistema de medición : Balanza 0,1  
 Fecha del estudio: 2015/09/22  
 Notificado por: Christian Rosero  
 Tolerancia: 0,1  
 Misc: 0 - 500

#### Tabla ANOVA de dos factores con interacción

| Fuente              | GL | SC      | MC       | F       | P     |
|---------------------|----|---------|----------|---------|-------|
| Partes              | 9  | 0,91025 | 0,101139 | 404,556 | 0,000 |
| Operadores          | 1  | 0,00025 | 0,000250 | 1,000   | 0,343 |
| Partes * Operadores | 9  | 0,00225 | 0,000250 | 1,000   | 0,471 |
| Repetibilidad       | 20 | 0,00500 | 0,000250 |         |       |
| Total               | 39 | 0,91775 |          |         |       |

$\alpha$  para eliminar el término de interacción = 0,05

#### Tabla ANOVA dos factores sin interacción

| Fuente        | GL | SC      | MC       | F       | P     |
|---------------|----|---------|----------|---------|-------|
| Partes        | 9  | 0,91025 | 0,101139 | 404,556 | 0,000 |
| Operadores    | 1  | 0,00025 | 0,000250 | 1,000   | 0,326 |
| Repetibilidad | 29 | 0,00725 | 0,000250 |         |       |
| Total         | 39 | 0,91775 |          |         |       |

<sup>48</sup> Repetitividad & Reproducibilidad

## R&R del sistema de medición

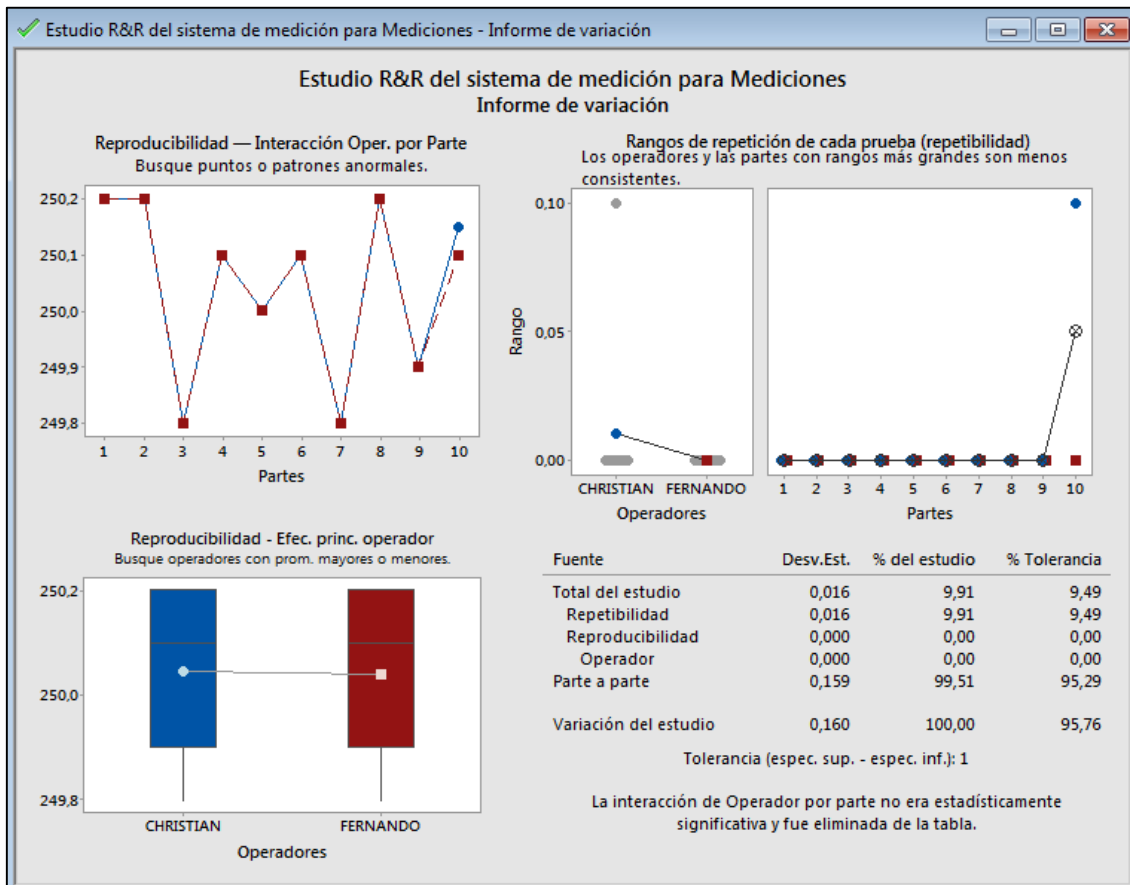
| Fuente           | CompVar   | %Contribución<br>(de CompVar) |
|------------------|-----------|-------------------------------|
| Gage R&R total   | 0,0002500 | 0,98                          |
| Repetibilidad    | 0,0002500 | 0,98                          |
| Reproducibilidad | 0,0000000 | 0,00                          |
| Operadores       | 0,0000000 | 0,00                          |
| Parte a parte    | 0,0252222 | 99,02                         |
| Variación total  | 0,0254722 | 100,00                        |

La tolerancia del proceso es = 1

| Fuente           | Desv.Est.<br>(DE) | Var. estudio<br>(6 × DE) | %Var.<br>(%VE) | %Tolerancia<br>(VE/Toler) |
|------------------|-------------------|--------------------------|----------------|---------------------------|
| Gage R&R total   | 0,015811          | 0,094868                 | 9,91           | 9,49                      |
| Repetibilidad    | 0,015811          | 0,094868                 | 9,91           | 9,49                      |
| Reproducibilidad | 0,000000          | 0,000000                 | 0,00           | 0,00                      |
| Operadores       | 0,000000          | 0,000000                 | 0,00           | 0,00                      |
| Parte a parte    | 0,158815          | 0,952890                 | 99,51          | 95,29                     |
| Variación total  | 0,159600          | 0,957601                 | 100,00         | 95,76                     |

Número de categorías distintas = 14

\*\*\*\*\*

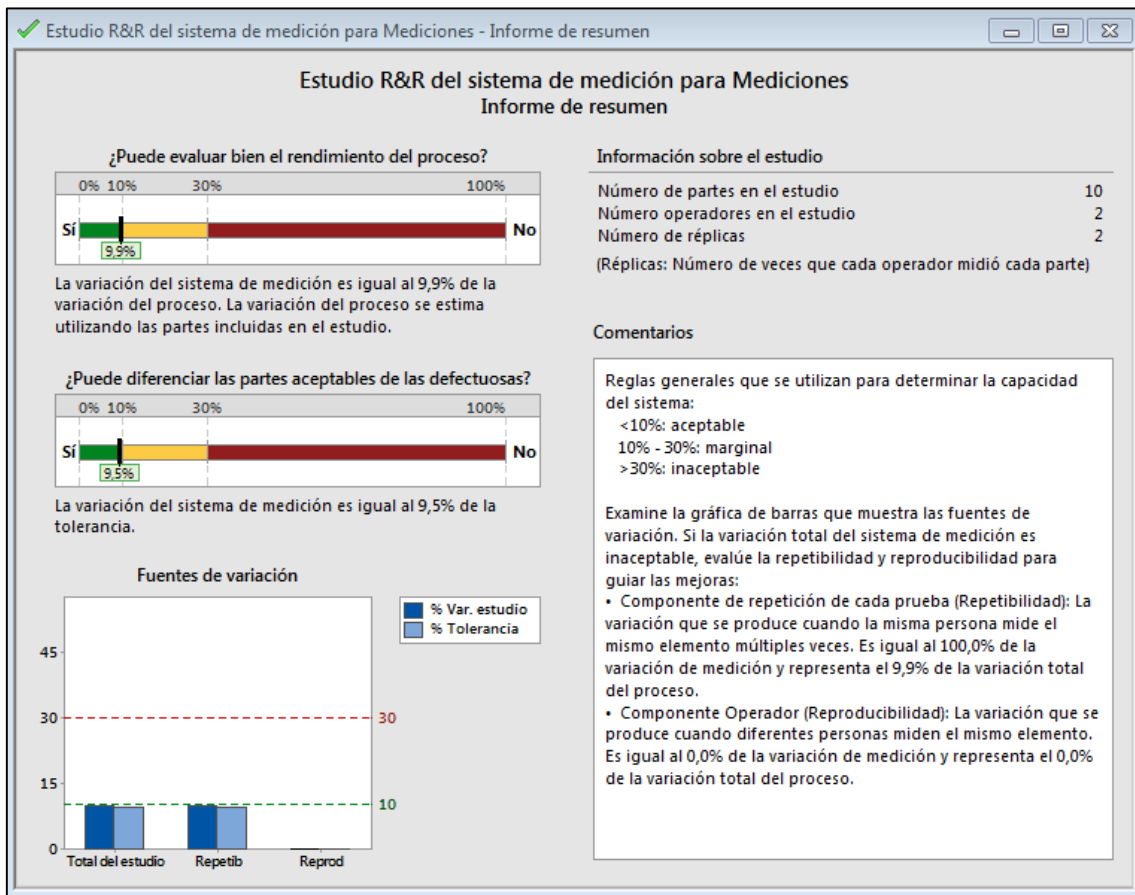


**Ilustración 35.- R&R Informe de variación LANDSCAPE R01**

**Fuente:** El autor, obtenido de los ensayos de medición.

**Elaborado por:** Christian Rosero

En la ilustración 35, se puede evidenciar que la variable repetitividad asociada a la prueba se encuentra en un valor de 9,91 y la reproducibilidad asociada al operador es de 0. El valor para R del operador se muestra invariante debido a que la prueba de medición se aplicó a piezas estándar de 250 g.



**Ilustración 36.- R&R LANDSCAPE R01 Informe de resumen**

**Fuente:** El autor, obtenido de los ensayos de medición.

**Elaborado por:** Christian Rosero

De los valores conseguidos 9,9% para rendimiento y 9,5% variación del sistema. Se puede afirmar con el 95% que el criterio de aceptación es verdadero, es decir, la prueba es válida. (Ver ilustración 36).

#### 4.4.2. Balanza de precisión LandScape R-001

\*\*\*\*\*

#### Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Mediciones

Nombre del sistema de medición : BALANZA DE PRECISIÓN R001  
 Fecha del estudio: 22-09-2015  
 Notificado por: Christian Rosero  
 Tolerancia: 0,1  
 Misc: 0 - 200

### Tabla ANOVA de dos factores con interacción

| Fuente              | GL | SC        | MC        | F       | P     |
|---------------------|----|-----------|-----------|---------|-------|
| Partes              | 9  | 0,0150625 | 0,0016736 | 669,444 | 0,000 |
| Operadores          | 1  | 0,0000025 | 0,0000025 | 1,000   | 0,343 |
| Partes * Operadores | 9  | 0,0000225 | 0,0000025 | 1,000   | 0,471 |
| Repetibilidad       | 20 | 0,0000500 | 0,0000025 |         |       |
| Total               | 39 | 0,0151375 |           |         |       |

$\alpha$  para eliminar el término de interacción = 0,05

### Tabla ANOVA dos factores sin interacción

| Fuente        | GL | SC        | MC        | F       | P     |
|---------------|----|-----------|-----------|---------|-------|
| Partes        | 9  | 0,0150625 | 0,0016736 | 669,444 | 0,000 |
| Operadores    | 1  | 0,0000025 | 0,0000025 | 1,000   | 0,326 |
| Repetibilidad | 29 | 0,0000725 | 0,0000025 |         |       |
| Total         | 39 | 0,0151375 |           |         |       |

### R&R del sistema de medición

| Fuente           | CompVar   | %Contribución<br>(de CompVar) |
|------------------|-----------|-------------------------------|
| Gage R&R total   | 0,0000025 | 0,59                          |
| Repetibilidad    | 0,0000025 | 0,59                          |
| Reproducibilidad | 0,0000000 | 0,00                          |
| Operadores       | 0,0000000 | 0,00                          |
| Parte a parte    | 0,0004178 | 99,41                         |
| Variación total  | 0,0004203 | 100,00                        |

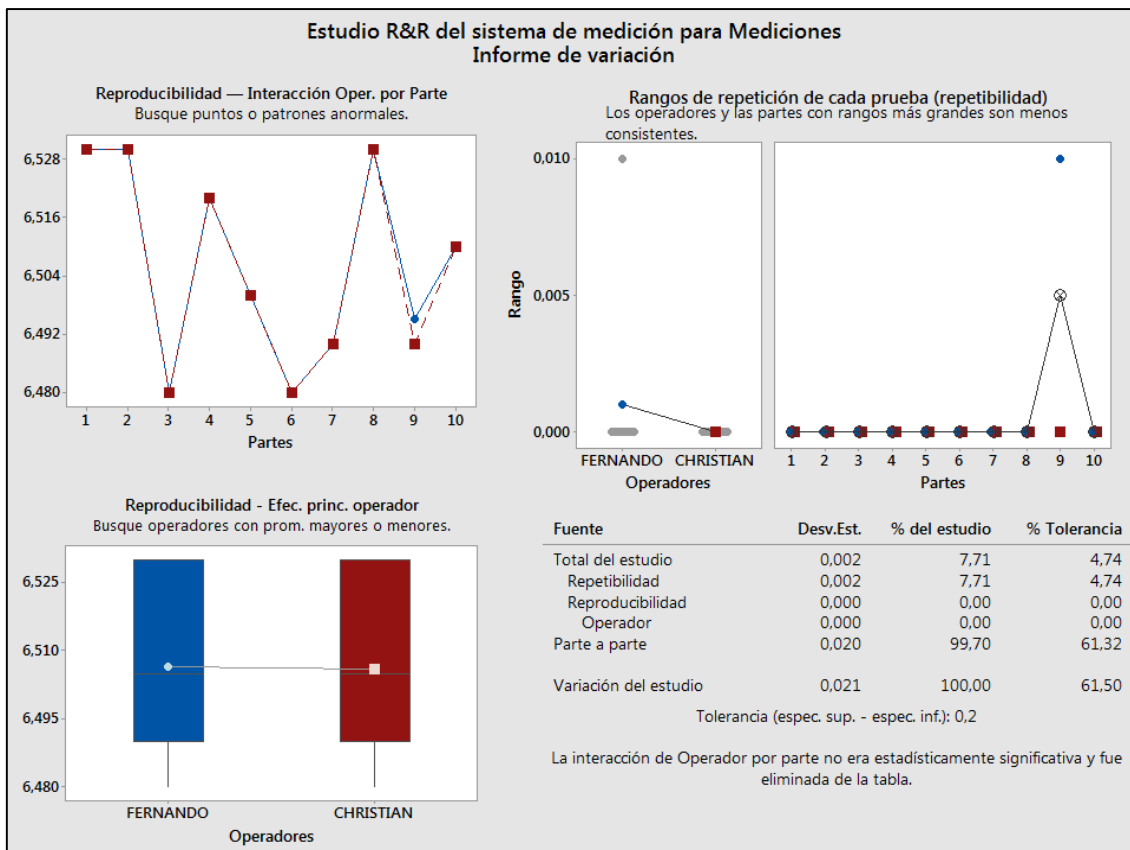
La tolerancia del proceso es = 0,2

| Fuente           | Desv.Est.<br>(DE) | Var. estudio<br>(6 × DE) | %Var.<br>estudio<br>(%VE) | %Tolerancia<br>(VE/Toler) |
|------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Gage R&R total   | 0,0015811         | 0,009487                 | 7,71                      | 4,74                      |
| Repetibilidad    | 0,0015811         | 0,009487                 | 7,71                      | 4,74                      |
| Reproducibilidad | 0,0000000         | 0,0000000                | 0,00                      | 0,00                      |
| Operadores       | 0,0000000         | 0,0000000                | 0,00                      | 0,00                      |
| Parte a parte    | 0,0204396         | 0,122638                 | 99,70                     | 61,32                     |
| Variación total  | 0,0205007         | 0,123004                 | 100,00                    | 61,50                     |

Número de categorías distintas = 18

\*\*\*\*\*

El R&R revela un valor total de 4,74. Del cual, la totalidad de la variabilidad se explica por la repetitividad del sistema, en tanto que la reproducibilidad tiene un valor de cero en la contribución de la variación.



**Ilustración 37.- R&R LANSDBAPE R001 Informe de variación**

**Fuente:** El autor, obtenido de los ensayos de medición.

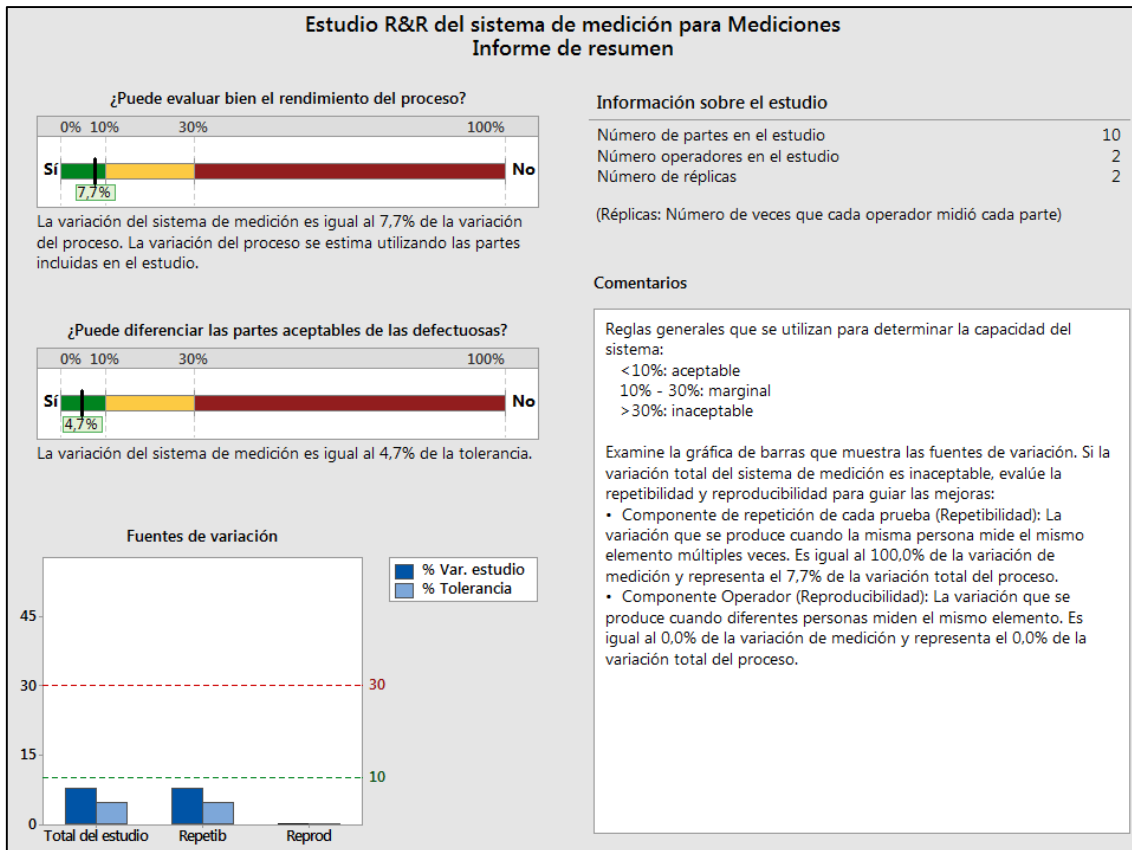
**Elaborado por:** Christian Rosero.

En la ilustración 37.- Los valores de R prueba (Repetitividad) y R operador (Reproducibilidad) son de 7,71 y 0 respectivamente, el valor 0 para R operador corresponde a que las mediciones se realizaron sobre piezas estandarizadas de 6,5 gramos.

Las medias observadas entre los dos sujetos de prueba tienen una diferencia mínima inferior a 0,005, aunque es necesario destacar que el proceso de experimentación y medición fue realizado por una sola persona, para evitar más influencias del entorno.

Tan solo se apoyó en otro operador la validación de los sistemas de medición para conseguir efectuar el R&R, como es común en estos casos.

Aunque existe una diferencia entre los rangos de la prueba N° 9, no es motivo de análisis en este caso, ya que la evaluación de las dos balanzas se realizó con piezas de peso estandarizado para determinar la precisión real del instrumento.



**Ilustración 38.- R&R LANDSCAPE R001 Informe de resumen**

**Fuente:** El autor, obtenido de los ensayos de medición.

**Elaborado por:** Christian Rosero

En la ilustración 38 se observan los parámetros de aceptación del sistema de medición representada en una escala de colores, siendo el verde la región aceptable.

El color amarillo representa la región aceptable dependiendo de las condiciones del sistema y la precisión requerida en las pruebas, normalmente en este rango se pide calibrar el sistema.

El color rojo muestra la región de rechazo, toda prueba realizada con un sistema superior al 30% de variabilidad en el R&R se considera no apta y engañosa.

Con los valores porcentuales de 7.7 para el rendimiento del proceso y 4,7 para la variación del sistema de medición se puede afirmar con el 95% de confianza que el criterio de aceptación es verdadero (Prueba Válida).



## CAPÍTULO 5

### 5. PROPUESTA Y ESTANDARIZACIÓN (FASE ACTUAR)

La propuesta forma la parte final del PHVA (Actuar) para la investigación realizada. A partir los resultados obtenidos se tiene como tratamiento de optimización común T8 (+,+,+) con valores ensayados de (0,3; 0,3; 7) que representan los factores de cloruro de calcio, cantidad de cuajo y cloruro de sodio respectivamente.

Se encontró que el peor tratamiento posible al relacionar las variables estudiadas (gramaje, aspecto, sabor, olor y valoración general) es T5 cuya combinación está dada por los valores (-,-,+).

Las corridas experimentales revelaron que en el peor escenario se pueden obtener tan solo 409 gramos de queso fresco, tomando como referencia el valor mínimo otorgado por modelo. Cuando se trabaja en condiciones completamente al azar sin parámetros a seguir se podría alcanzar aproximadamente 425,750 gramos, tomando como referencia el valor de los coeficientes codificados. Estos valores se resumen en la tabla 46.

|                      | Gramaje mínimo del modelo (gramos) | Gramaje casual (promedio en gramos) |         | Valor de optimización (gramos) |         | Valor ideal en gramos |         |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------|--------------------------------|---------|-----------------------|---------|
|                      |                                    | LI                                  | LS      | LI                             | LS      | LI                    | LS      |
| <b>Valor puntual</b> | 409,000                            | 425,750                             |         | 440,750                        |         | 480,390               |         |
| <b>Intervalo</b>     | N/A                                | 425,152                             | 426,348 | 439,058                        | 442,442 | 478,681               | 482,099 |

**Tabla 46.-** Resumen del modelo para el gramaje

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental

**Elaborado por:** Christian Rosero.

En la tabla 46 se muestra el gramaje mínimo que se observó en las corridas experimentales. El gramaje denominado casual muestra el valor promedio que se obtendría al trabajar en condiciones al azar y el valor de optimización muestra la cantidad resultante de queso que se alcanzaría con el modelo optimizado.

El valor ideal muestra el promedio obtenido de para un factor (0, 0, 0) sin adulteración de la leche y en condiciones normales de trabajo con el método dado de experimentación.

De los valores encontrados en las predicciones de los modelos realizados, se puede ultimar que el estándar para la producción de queso fresco cuya densidad se encuentra dentro del valor nominal 1,0278 g/cm<sup>3</sup> (aproximadamente una adulteración en la leche de 10% de agua):

a) Existe una diferencia de hasta 71,39 gramos por cada unidad de queso fresco si el método de elaboración es inapropiado respecto al proceso ideal. Esto representa una pérdida de 14,86%

b) Existe una diferencia de hasta 54,64 gramos por cada unidad de queso fresco producido en condiciones de trabajo azarosas respecto a las condiciones ideales de producción. Lo cual representa una pérdida de 11,37%

Si se toma como referencia estos valores se puede comprender que el alterar la densidad de la leche adicionando agua, afecta considerablemente el rendimiento de la producción de queso.

Con el modelo optimizado, se reduce la pérdida del gramaje a 8,25% respecto a las condiciones ideales de producción. Sin embargo, esto a su vez implica que se recupera 6,61% (31,75 gramos) referenciando el peor tratamiento y 5,12% (15 gramos) considerando el promedio de los tratamientos (azar), por cada unidad producida.

De lo expuesto se tiene los rendimientos expresados en la tabla 47.

| <b>Tratamiento</b>    | <b>Adulteración (%)</b> | <b>Resultado (gramos)</b> | <b>Rendimiento</b> |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| 0, 0 ,0               | 0                       | 480,39                    | 100% <sup>49</sup> |
| Peor tratamiento (T5) | 10                      | 409,00                    | 85,1392%           |
| Azar                  | 10                      | 425,750                   | 86,6259%           |
| Optimización          | 10                      | 440,750                   | 91,7483%           |

**Tabla 47.-** Rendimiento del gramaje

**Fuente:** El autor, obtenido del modelo experimental.

**Elaborado por:** Christian Rosero.

<sup>49</sup> 100%: Rendimiento esperado en condiciones ideales (sin adición de agua).

El estándar que se propone por lo tanto es 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 propone 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 (ilustración 10) no es representativo en el rendimiento esperado de queso fresco.

## CONCLUSIONES

- Se establecieron los fundamentos teóricos para realizar el diseño de experimentos y valorar correctamente el rendimiento junto con la calidad del queso fresco.
- Se determinó la variable independiente adulteración de la leche con agua (densidad). Las variables dependientes (críticas de calidad) aspecto físico, sabor, olor y valoración general. Y las variables de estudio (factores de modificación) cloruro de calcio, cloruro de sodio y cuajo.
- Se estructuró el diseño de experimentos con la metodología PHVA y el método de investigación científico para obtener datos relevantes y válidos.  
En la fase planear se seleccionó el modelo y variables del experimento, la determinación de las corridas y la resolución.  
En la fase hacer se elaboró las muestras de queso fresco y recopilaron los datos.  
La fase verificar se asoció al análisis de los datos, el modelo y las variables, así también la comprobación de supuestos, validación del diseño e instrumentos de medición.  
En la fase actuar se formuló la propuesta tras la culminación del estudio.
- 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 (ilustración 12), 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 calcio (cloruro de calcio en la receta) 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.

## **RECOMENDACIONES**

- El modelo diseñado hizo referencia a una estructura de primer nivel, al no tener evidencia previa del comportamiento de las variables. De este diseño se observó en el camino de máximo ascenso (Tabla 30) que la modificación de un factor respecto al otro al proyectar el comportamiento del gramaje, advertía alcanzar un pico de rendimiento y sufrir un descenso, lo cual hace sospechar que el comportamiento de interacción de variables no es lineal. Por lo que se sugiere realizar un DOE DBCA con diferentes niveles para el factor cloruro de calcio y establecer el valor del factor cuajo en el punto de mayor rendimiento manteniéndolo constante, para conocer el comportamiento efectivo de la respuesta.
- Al determinar que el cloruro de sodio utilizado en el proceso de coagulado no es significativo para el valor resultante de gramaje, se recomienda no utilizar este factor en posteriores investigaciones.
- Después de recopilar la información previa para desarrollar esta investigación, se encontró en el Codex Alimentarius que el nitrato de potasio no debe exceder la cantidad de 0.2 gramos para la producción de queso y que el exceso o error en la dosificación de esta sustancia puede ser peligrosa para la salud. Por lo cual, se recomienda excluir el uso de este ingrediente para cualquier investigación posterior.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alós Peñarrocha, I., Sanchis, L. R., & Romero Pérez, J. A. (2009). *Regulación automática: notas de clase*. Madrid - España: Univ Pontifica Comillas.
- 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.
- ARCSA. (2015). *BDD actualizada a 2015 zona 1*. Ecuador: Agencia La Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria.
- ARCSA-DE-042-2015-GGG. (2015) *Norma Técnica Sustitutiva de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos procesados*. Ecuador.
- Aristizabal, D. (2007). Quesos Caseros. En D. Aristizabal, *Quesos Caseros* (págs. 17-18). Argentina: Albatroz.
- Asturias, C. R. (2014). El diseño de experimentos en la docencia y la investigación. *Revista 29 de la Universidad del Valle de Guatemala*, 19.
- Battro, P. (2010). *Quesos artesanales*. Buenos Aires: Albatroz.
- Blaxter, L., Hughes, C., & Tight, M. (2008). *Cómo se investiga*. Barcelona - España: Grao.
- Borbonet, S., & Urrestarazu, P. (2010). *LATU*. Obtenido de <http://www.latu.org.uy/docs/Publicacion-Quesos-Artesanales-12072011.pdf>
- Breyfogle III, F. W. (2003). *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*. Austin, Texas: John Wiley & Sons.
- 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.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos*. México: McGraw Hill.

- 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.
- Corcoba, M. P. (2010). *6 Sigma: Un antídoto para la crisis*. Madrid-España: Asociación española para la calidad.
- Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad. *Revista Colombiana de Estadística*, 59-60.
- Grain International Organisation. (06 de Enero de 2012). *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>
- Cronemyr, P. (2007). DMAIC and DMADV-differences, similarities and synergies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage* 3.3, 193-209.
- de Villavicencio Ferrer, M. N. (2002). *Optimización de múltiples respuestas*. Habana - Cuba: Editorial Universitaria.
- 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.
- Diebold X, F., & Robert S, M. (2012). *Comparing Predictive Accuracy*. Philadelphia: University of Pennsylvania.
- Domínguez Domínguez, J. (2006). Optimización simultánea para la mejora continua y reducción de costos en procesos. *Ingeniería y Ciencia*, 145 - 162.
- Estrada Martínez, M. (2011). *El libro blanco de la leche y los productos lácteos*. México: Canilec.
- Fernández Melcón, C. D., & Piñeiro Barcia, M. (2004). *Superficies de Respuesta Métodos y Diseños*. Santa Fé - Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- Ferré, J., & Rius, X. (2002). Introducción al diseño estadístico de experimentos. *TÉCNICAS DE LABORATORIO-BARCELONA*, 648-653.



- Figuroa, G. (2003). Optimización de una Superficie de Respuesta utilizando JMP IN. *Mosaicos Matemáticos*, 17-23.
- Florian Méndez, A. (04 de 01 de 2016). *Universidad de las Américas Puebla*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/florian\\_m\\_a/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/florian_m_a/capitulo4.pdf)
- 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.
- 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.
- 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, Dunncan, Dunet, HSU y Bechoffer para selección de medias. *Agrociencia*, 79-86.
- 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.
- Gonzáles, E. W. (2010). ¿ Después de un análisis de variancia? qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 349 - 356.
- 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)
- Gutiérrez Pulido, H. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.
- 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.
- 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.

- Hendricks, M., Geilen, M., & Basten, T. (2011). Pareto analysis with uncertainty. *IFIP 9th International Conference on* (págs. 189-196). Melbourne, VIC : IEEE.
- Heredia Montenegro, M. I. (2006). *APLICACIÓN DE ANTIBIÓTICOS (BACTERICIDAS) PARA ELIMINAR BACTERIAS DEL GRUPO COLI AEROGENES EN LA ELABORACIÓN DE QUESO ANDINO*. Riobamba-Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO .
- 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>
- Hicks, C. R., & Turner, K. V. (1999). *Fundamental concepts in the design of experiments*. NY - Estados Unidos: Oxford University Press.
- Hsu, J. C. (1985). A method of unconstrained multiple comparisons with the best. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 2009-2028.
- Ibañez Castillo, A. (2015). *Evaluación del tiempo de cuajado en las características organolépticas del queso fresco*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Inamhi (03 de agosto de 2015). *Información correspondiente al segundo semestre del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología para la zona 1 Ecuador*. Obtenido de: [www.serviciometeorologico.gob.ec/](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/)
- INEN 09, N. (2012). *Leche Pasteurizada - Requisitos*. Ecuador: NTE INEN.
- ISO 9000:2005 (ES). *Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario*. Norma Internacional.
- Keppel, G., & Englewood, C. (1991). *Design and analysis: A researcher's handbook*. NY - Estados Unidos: Prentice-Hall.
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de Experimentos*. México: Thomson.
- 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.

- Limón, J., Rodríguez, M., Sánchez, J., & Tlapa, D. (2012). Metodología bayesiana para la optimización simultánea de múltiples respuestas. *Información Tecnológica*, 151 - 166.
- Martínez Bencardino, C. (2012). *Estadística y muestreo*. Bogotá: ECOE.
- 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)
- Mike, G., Rowlands, D., & Kastle, B. (2007). *Was ist lean six sigma?* Berlín: Springer-Verlag.
- 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/>
- 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.
- Molina Hernández, E. (2011). *Análisis sensorial de alimentos*. Madrid: Instituto de Investigación de Ciencias de la Alimentación (CIAL) CSIC UAM.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. New York: Limusa.
- 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.
- Namakforoosh, M. N. (2005). *Metodología de la investigación*. México: Limusa.
- Navarro Garrido, A. (23 de 06 de 2015). *Cosas de quesos*. Obtenido de <http://cosasdequesos.es/coagulaci%C3%B3n/>
- NTE INEN 0011, N. (1984). *Leche - Determinación de la densidad relativa*. Ecuador: NTE INEN.
- NTE INEN 010, N. (2012). *LECHE PASTEURIZADA - REQUISITOS*. NORMA INEN.

- NTE INEN 1528. (2012). *Norma General para Queso Fresco*. Ecuador: NTE INEN.
- Ochoa, S. (18 de Enero de 2015). Ganaderos reciben hasta \$ 0,30 por el litro de leche. *El Universo*.
- 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.
- Orozco, M. (2015). Un tercio de la producción láctea se dedica al queso. *Líderes*.
- 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.
- Pernejer, T. V. (1998). What's wrong with Bonferroni adjustments. *BMJ*, 1236-1238.
- Poncelet. (06 de 11 de 2015). *Enciclopedia del queso*. Obtenido de <http://www.poncelet.es/enciclopedia-del-queso/elaboracion.html>
- Powell, T. C. (1995). Total quality management as competitive advantage: a review and empirical study. *Strategic management journal*, 15-37.
- Ramirez Guerra, E. (2010). *Filtrado de la leche*. España: Patrimonio inmaterial de Andalucía.
- Rueda, J. A. (02 de 06 de 2015). *Unalmed*. Obtenido de <http://www.unalmed.edu.co/~jarueda/PDE.pdf>
- 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.
- 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.
- Suárez, M. (2012). *Interaprendizaje de Probabilidades y Estadística Inferencial con Excel, Winstats y Graph*. Ibarra: Offset M & V.
- Tadikamalla, P. R. (1994). The confusion over six-sigma quality. *Quality Progress* , 83.

- Tamayo, I. M. (2003). Análisis de la varianza con SPSS. En I. M. Tamayo, *Análisis de la varianza con SPSS*.
- Tamayo, M. (2001 - 2003). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Tanco, M., & Viles, E. (2008). *Metodología para la aplicación del diseño de experimentos (DoE) en la industria*. San Sebastián - España: Universidad de Navarra.
- Tanco, M., Viles, E., & Pozueta, L. (2009). Diferentes enfoques del diseño de experimentos. *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica* 7, 29-37.
- Tornadizo, 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 qualidade da leite destinada á fabricação de queixo: qualidade química. *CYTA-Journal of Food*, 79 - 91.
- 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.
- Vicente, M. L., Girón, P., Nieto, C., & Pérez, T. (2005). *Diseño de Experimentos*. México: Pearson Prentice Hall.
- Walpole, R., & Myers, R. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería en ciencias*. México: Pearson.
- Walton, M. (1988). *The Deming management method*. New York: Penguin.
- Wu, Y., & Wu, A. (1997). *Diseño robusto utilizando los métodos Taguchi*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

## ANEXOS

### Anexo A.- Proceso de elaboración del queso fresco



**Ilustración A1.-** Materia Prima



**Ilustración A2.-** Medición de la densidad



**Ilustración A3.-** Pasteurizado



**Ilustración A4.-** Enfriado



**Ilustración A5.-** Coagulado



**Ilustración A6.-** Corte de la cuajada



**Ilustración A7.-** Agitación



**Ilustración A8.-** Desuerado



**Ilustración A9.-**Prensado



**Ilustración A10.-** Salado

**Anexo B.-** Instructivo de degustación y evaluación para participantes



## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

### **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **INVESTIGACIÓN**

**ESTANDARIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL QUESO FRESCO A TRAVÉS DEL  
DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL SECTOR LÁCTEO DE IMBABURA.**

### **INSTRUCTIVO PARA LOS CATADORES**

#### **Objetivo:**

Examinar y experimentar el grado de satisfacción presente para el queso fresco tratado, a través de una prueba de degustación.

#### **Método:**

Análisis sensorial para variables cualitativas.

#### **Contexto**

El análisis sensorial del queso fresco producido consiste en describir a través de los sentidos (gusto, tacto, olfato, vista) las características organolépticas que el producto posee.



## **Criterios**

**Aspecto:** A nivel externo se perciben características como la corteza (lisa, rugosa, coloración externa). A nivel interno se determinan el color de la pasta, deformaciones internas (huecos o rugosidades).

- **Revisión externa:** corteza lisa y cerosa. El color de la corteza debe ser blanco característico del queso fresco. Se considera anomalía la degradación del color hacia los tonos amarillo, azul, verde, anaranjado o gris.
- **Revisión interna:** El color debe ser desde el color blanco marfil a blanco beige. Se considera anomalía el tono amarillo, marrón, anaranjado, variación evidente entre tonos blancos.

**Olor:** al acercar la muestra a la nariz, se percibe la intensidad del olor que debe ser característico de la familia láctica. Se considera anomalía olores percibidos florales, afrutados, especias, animales.

**Sabor:** El sabor debe ser característico del queso fresco. Sensación ligera de sal y ligeramente ácido (suave). Se considera anomalía cuando es salado o dulce.

### **Valoración general:**

Se entiende como valoración general a la impresión global provoca el producto.

A nivel visual se considera anomalías roturas o deformaciones en la masa.

Al probar la muestra se perciben granos, sensación harinosa o fibrosa.

### **Para los catadores:**

- No debe degustar si previamente ha ingerido bebidas alcohólicas.
- Consuma agua 30 minutos de realizar la degustación.
- No acompañe la muestra con otros productos.
- No conversar mientras se realizan las pruebas de degustación para no inferir en la evaluación de la otra persona.

# EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ORGANOLÉPTICAS DEL QUESO FRESCO.

“ESTANDARIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL QUESO FRESCO A TRAVÉS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL SECTOR LÁCTEO DE IMBABURA.”

## DATOS INFORMATIVOS:

Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Género: \_\_\_\_\_

## Objetivo:

Recopilar información referente el grado de satisfacción organoléptico presente del queso fresco tratado, a través de unas pruebas degustación.

## Lea detenidamente la siguiente información:

Frente a Ud. se encuentran 4 quesos de tipo fresco, observe detenidamente la muestra y deguste la cantidad señalada. Califique las siguientes preguntas según su criterio.

La valoración se dará de la siguiente forma:

| CALIFICACIÓN |   |
|--------------|---|
| 5            | Me gusta mucho, altamente satisfactorio, sumamente agradable.         |
| 4            | Me gusta, me satisface pero no totalmente, agradable pero espero más. |
| 3            | Ni me gusta ni me disgusta, me resulta indiferente, ni bueno ni malo. |
| 2            | Me gusta poco, es más malo que bueno.                                 |
| 1            | No me gusta, me desagrada.  |

FICHA DE EVALUACIÓN

| FICHA DE EVALUACIÓN |        |       |       |   |  |  |   |   |  |
|---------------------|--------|-------|-------|---|--|--|---|---|--|
| Muestra             | Código |       |       | Parámetros de valoración para las corridas experimentales de queso fresco |  |  |   |   |  |
|                     | Calcio | cuajo | sodio | Aspecto   |  | Sabor.   | Olor.   | Valoración General  |  |
|                     |        |       |       | Interno.<br><br>Corteza<br>lisa y<br>cerosa                               | Externo.<br><br>Color blanco<br>marfil o beige | Sensación ligera de sal<br>y ligeramente ácido | Característico de la<br>familia láctica.<br><br>Sin olores florales,<br>afrutados, de<br>especias, o animales | Impresión<br>Visual.<br><br>Pasta<br>consistente. Sin<br>roturas o<br>deformaciones | Impresión de la<br>muestra.<br><br>Pasta Homogénea.<br>Sin sensación<br>granular, harinosa<br>o fibrosa. |
| 1                   | +      | -     | -     |   |  |  |   |   |  |
| 2                   | -      | -     | -     |   |  |  |   |   |  |
| 3                   | +      | +     | -     |   |  |  |   |   |  |
| 4                   | +      | +     | +     |   |  |  |   |   |  |
| 5                   | +      | -     | +     |   |  |  |   |   |  |
| 6                   | +      | -     | +     |   |  |  |   |   |  |
| 7                   | -      | -     | -     |   |  |  |   |   |  |
| 8                   | -      | -     | +     |   |  |  |   |   |  |
| 9                   | -      | -     | -     |   |  |  |   |   |  |
| 10                  | -      | +     | -     |   |  |  |   |   |  |

| Muestra | Código | Aspecto | Sabor | Olor | Valoración General |
|---------|--------|---------|-------|------|--------------------|
| 11      | - - -  |         |       |      |                    |
| 12      | + - -  |         |       |      |                    |
| 13      | + - +  |         |       |      |                    |
| 14      | + + -  |         |       |      |                    |
| 15      | - + +  |         |       |      |                    |
| 16      | + + -  |         |       |      |                    |
| 17      | + + +  |         |       |      |                    |
| 18      | + - -  |         |       |      |                    |
| 19      | - + -  |         |       |      |                    |
| 20      | - + -  |         |       |      |                    |
| 21      | + + -  |         |       |      |                    |
| 22      | - + +  |         |       |      |                    |
| 23      | - - +  |         |       |      |                    |
| 24      | - + +  |         |       |      |                    |
| 25      | + + +  |         |       |      |                    |
| 26      | - + +  |         |       |      |                    |
| 27      | - - +  |         |       |      |                    |
| 28      | + + +  |         |       |      |                    |

| Muestra | Código | Aspecto | Sabor | Olor | Valoración General |
|---------|--------|---------|-------|------|--------------------|
| 29      | + - -  |         |       |      |                    |
| 30      | - + -  |         |       |      |                    |
| 31      | - - +  |         |       |      |                    |
| 32      | + - +  |         |       |      |                    |

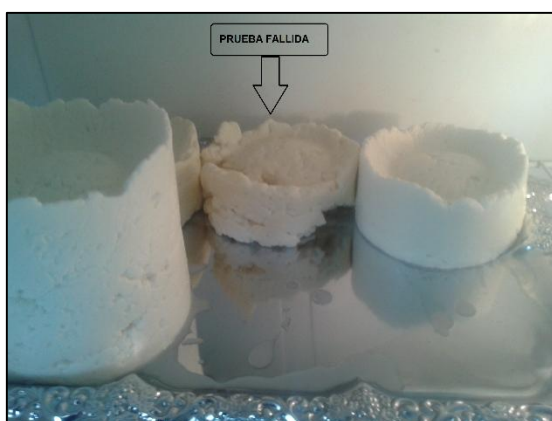
---

Firma

### Anexo C.- Principales muestras resultantes de las corridas



**Ilustración C1.-** Diferentes pruebas y comportamientos de las unidades experimentales.



**Ilustración C2.-** Prueba fallida a alto nivel



**Ilustración C3.-** Prueba fallida a bajo nivel

## Anexo D.- Degustación



**Ilustración D1.-** Grupo de degustación



**Ilustración D2.-** Pruebas de degustación



**Ilustración D3.-** Muestras de las unidades



**Ilustración D4.-** Unidad aislada para evitar contaminación de variables

## Anexo E.- Costos de la investigación

El presupuesto planificado antes de realizar la investigación se estimó en 808.5 USD. Se realizaron 44 unidades de queso fresco como parte de la pre-experimentación, 32 unidades en la experimentación y 10 unidades como referencias del método. A continuación se presentan los costos reales que se tuvieron tras culminar el estudio:

**Tabla 48.-** Costos de la investigación

| <b>Recursos</b>                       | <b>Valor Unitario (\$)</b> | <b>Cantidad (u)</b> | <b>Valor Total (\$)</b> |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|
| <b>Materia prima</b>                  |                            |                     |                         |
| ▪ Leche                               | ▪ 0,80                     | ▪ 334 litros        | ▪ 275,20                |
| <b>Instrumentos de medición</b>       |                            |                     |                         |
| ▪ Termómetro                          | ▪ 35,00                    | ▪ 1                 | ▪ 35,00                 |
| ▪ pHmetro                             | ▪ 18,00                    | ▪ 1                 | ▪ 18,00                 |
| ▪ Balanza R01                         | ▪ 20,00                    | ▪ 1                 | ▪ 20,00                 |
| ▪ Balanza R001                        | ▪ 40,00                    | ▪ 1                 | ▪ 40,00                 |
| ▪ Lactodensímetro                     | ▪ 30,00                    | ▪ 1                 | ▪ 30,00                 |
| ▪ Probeta 250ml                       | ▪ 18,00                    | ▪ 1                 | ▪ 18,00                 |
| ▪ vaso de precipitación               | ▪ 11,00                    | ▪ 1                 | ▪ 11,00                 |
| ▪ tubo de ensayo (75mm)               | ▪ 2,00                     | ▪ 1                 | ▪ 2,00                  |
| <b>Local y adecuación</b>             |                            |                     |                         |
| ▪ Arriendo                            | ▪ 45,00                    | ▪ 2 meses           | ▪ 90,00                 |
| ▪ Adecuación                          | ▪ 25,00                    | ▪ 1                 | ▪ 25,00                 |
| <b>Implementos del proceso</b>        |                            |                     |                         |
| ▪ Gas                                 | ▪ 2,20                     | ▪ 1                 | ▪ 2,20                  |
| ▪ Utensilios de cocina                | ▪ 70,00                    | Varios              | ▪ 70,00                 |
| <b>Viáticos</b>                       |                            |                     |                         |
| ▪ Traslados                           | ▪ 1,00                     | ▪ 40                | ▪ 40,00                 |
| ▪ Alimentación                        | ▪ 2,00                     | ▪ 40                | ▪ 80,00                 |
| <b>Material de consulta y oficina</b> |                            |                     |                         |
| ▪ Copias de libros                    | ▪ 10,00                    | ▪ 3                 | ▪ 30,00                 |
| ▪ Internet                            | ▪ 15,00                    | ▪ 2 meses           | ▪ 30,00                 |
| <b>TOTAL</b>                          |                            |                     | <b>\$ 816,40</b>        |

Elaborado por: Christian Rosero.