



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**Modelo integral de control en línea basado en el Método  
Taguchi para solucionar problemas de calidad por variabilidad  
Aplicaciones en industrias de alimentos.**

**Amparo Zapata Gómez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Manizales, Colombia  
2017

**Modelo integral de control en línea basado en el Método  
Taguchi para solucionar problemas de calidad por variabilidad  
Aplicaciones en industrias de alimentos.**

**Amparo Zapata Gómez**

Tesis presentada como requisito para optar al título de:  
**Doctora en Ingeniería - Industria y Organizaciones**

**Director:**  
**Ph.D. William Ariel Sarache Castro.**

**Línea de Investigación:**  
Métodos y modelos de optimización y estadística en Ingeniería Industrial y Administrativa  
**Grupo de Investigación:**  
Innovación y Desarrollo Tecnológico.

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Manizales, Colombia  
2017

Dedicatoria

**A mi familia.**

## **Agradecimientos**

La autora agradece a:

- La Universidad Nacional de Colombia por ser mi maestra y mentora,
- Al Profesor William Ariel Sarache Castro quien con su conocimiento, su tenacidad y orientación incondicional me alentó y apoyó hasta el final,
- A la Joven Investigadora Mariana Trujillo Gallego por su aporte a la investigación,
- A las empresas que atendieron el llamado, abrieron sus puertas y nos permitieron el desarrollo de la presente investigación, y
- A los amigos quienes me alentaron para seguir adelante.

***Gracias totales!***

## Resumen

Hoy, se reconoce que uno de los sectores estratégicos para la reactivación económica del país, lo constituyen las empresas, debido a sus aportes económicos y sociales. A este grupo, pertenecen las industrias de lácteos las cuales asumen diversos problemas de calidad evidenciados en la fabricación por el incumplimiento de las características funcionales del producto, tema que inicialmente fue estudiado por Taguchi, quien analizó sus efectos y causas, y que actualmente sigue vigente.

En este sentido la presente esta Tesis Doctoral presenta el diseño de un modelo de control, que permite enmarcar las acciones a seguir, con vistas a incrementar el grado de calidad de las industrias de lácteos en tres fases: (1) Diagnóstico y ajuste; (2) Predicción y corrección y (3) Medición y acción.

Dentro del marco del citado modelo, se plantearon y desarrollaron un conjunto de procedimientos para afinar la calidad, interviniéndola en sus tres frentes claves: los problemas de calidad por el incumplimiento de requerimientos de los clientes que sobrellevan a la pérdida económica, el ajuste de los procesos para mantenerlos bajo control por medio del establecimiento de los valores objetivos y el control ingenieril, contribuyendo a la disminución de la variabilidad y a incrementar el nivel de desempeño de las empresas objeto de estudio frente a las exigencias de los mercados.

Con la revisión de la literatura que soporta la presente investigación, se evidenció la necesidad de ajustar y controlar los procesos para el tratamiento de la variabilidad, mediante un modelo de control que mejore la calidad de los productos en las industrias. La ausencia de una solución que permita la combinación sistemática de varias técnicas para disminuirla, no ha sido abordada de forma metódica desde el control en línea en el contexto del sector industrial y por tanto el tema resulta relevante y de interés científico.

Las consultas de las bases de datos especializadas llevaron a la propuesta de las tres fases, soportadas en el control estadístico. Por lo tanto la contribución de esta tesis parte de la identificación de las bases conceptuales para el diseño de un Modelo integral de control en línea para la disminución de la variabilidad basado en la agrupación de los métodos enunciados y por último pero no menos relevante la aplicación y validación de dicho modelo en las empresas.

Conforme con lo anterior, el objetivo general de la presente investigación fue *“Diseñar y validar un Modelo de control en línea para identificar e intervenir los problemas de calidad generados por la variabilidad”*, que permitiera a las medianas empresas de alimentos de la ciudad de Manizales ajustar sus procesos y mejorar continuamente la calidad.

Así, los resultados obtenidos arrojaron que los principales problemas, son causados por el desconocimiento por parte de las empresas de los requerimientos del clientes, las especificaciones técnicas y las características críticas de calidad del producto, los valores objetivo de éstas características, las pérdidas incurridas por el incumplimiento de las

especificaciones y de las variables del proceso que afectan el producto. Al aplicar el Modelo integral de control en línea, se logró una reducción de la variabilidad en un 52.49% en la empresa piloto uno y un 49,18% para la empresa piloto dos.

**Palabras clave:** calidad, control estadístico, modelo, variabilidad funcional.

## Abstract

In today's economy, companies and their social contributions have become strategic sectors for economic revival. Dairy companies belong to the group of strategic sectors however these companies have quality problems during manufacturing as they fail to comply with the functional characteristics of the product. Initially, Taguchi analyzed the effects and causes of this current problem.

This doctoral dissertation presents the design of a control model which allows to frame the proper actions in order to increase the quality of dairy companies in three phases: (1) Diagnosis and adjustment; (2) Prediction and correction and (3) Measurement and action.

A set of procedures to refine the quality of dairy companies were proposed and implemented in the framework of this model. Three key fronts were intervened: quality issues due to lack of compliance of customer requirements, which bring about economic loss; the adjustment to control processes by establishing target objectives; and engineering control through improvement. This intervention contributed to variability decrease and also to an increase on the performance level of the companies under study in order to meet the demands of the market.

The review of the literature supporting this research evidenced the need to adjust and control the processes for variability treatment using a control model to improve the quality of dairy industries. The absence of a solution that allows the systematic combination of several techniques to decrease variability has not been addressed methodically from the control line in the industrial context and therefore the topic becomes relevant and of scientific interest.

The search on specialized databases led to the proposal of the three phases supported on statistical control. Therefore the contribution of this thesis is based on the identification of the conceptual basis for the design of an Online Control Integral Model for variability reduction using the clustering of the set methods and last but not least the implementation and validation of the model in dairy companies.

In accordance with the above information, the overall objective of this research was to "*Design and validate an Online Control Model to identify and intervene quality problems generated by variability,*" in midsize food companies of the city of Manizales with the aim to adjust processes and continuously improve quality.

The obtained results showed that the main problems are mostly caused by lack of knowledge of customer requirements, technical specifications, the critical characteristics of product quality, the target objectives of these characteristics, losses incurred by failure to comply with specifications, and the process variables that affect the product. Variability reduction of 52.49% was achieved by applying the Online Control Integral Model in pilot company number one and of 49.18% in pilot company number two.

**keywords:** quality, statistical control, model, functional variability.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>Resumen</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de anexos</b>	<b>XIII</b>
<b>0. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Capítulo 1. Marco Teórico – referencial</b>	<b>12</b>
1.1. Método estadístico de Taguchi (MT): conceptos y principios	<b>14</b>
1.1.1. El control en línea como componente del Método Taguchi	<b>18</b>
1.2. Características de calidad, problemas de calidad y variabilidad	<b>19</b>
1.2.1. Características de calidad	<b>19</b>
1.2.2. Problemas de calidad	<b>21</b>
1.2.3. Variabilidad	<b>23</b>
1.3. Caracterización del sector alimentos en Caldas	<b>28</b>
1.3.1. Caracterización del sector lácteos en Caldas	<b>28</b>
1.4. Conclusiones parciales	<b>29</b>
<b>2. Capítulo 2. Diseño del Modelo Integral de Control en Línea para disminución de la variabilidad</b>	<b>35</b>
2.1. Fase 1: Diagnóstico y ajuste	<b>38</b>
2.2. Fase 2: Predicción y corrección	<b>43</b>
2.3. Fase 3: Medición y análisis	<b>50</b>
2.4. Conclusiones parciales	<b>57</b>
<b>3. Capítulo 3. Resultados en dos empresas piloto</b>	<b>59</b>
3.1. Resultados de la empresa piloto uno	<b>61</b>
3.1.1. Fase 1. Diagnóstico y ajuste	<b>61</b>
3.1.2. Fase 2. Predicción y corrección	<b>77</b>
3.1.3. Fase 3. Medición y análisis	<b>86</b>
3.2. Resultados de la empresa piloto dos	<b>92</b>
3.2.1. Fase 1. Diagnóstico y ajuste	<b>92</b>
3.2.2. Fase 2. Predicción y corrección	<b>97</b>
3.2.3. Fase 3. Medición y análisis	<b>103</b>
3.3. Discusión final y comprobación de la hipótesis de investigación	<b>106</b>
3.4. Conclusiones parciales	<b>108</b>
<b>4. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>111</b>
<b>Anexos</b>	<b>114</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>231</b>

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 0.1:</b> Situación problemática según aproximación al estado del arte	<b>3</b>
<b>Figura 0.2:</b> Número de artículos por criterio de búsqueda	<b>5</b>
<b>Figura 0.3:</b> Número de artículos de control en línea	<b>5</b>
<b>Figura 0.4:</b> Número de artículos de relaciones entre los métodos de control en línea	<b>6</b>
<b>Figura 0.5:</b> Vacío del conocimiento	<b>7</b>
<b>Figura 1.1:</b> Hilo conductor del marco teórico y referencial	<b>14</b>
<b>Figura 1.2:</b> Pérdida de la calidad	<b>16</b>
<b>Figura 1.3:</b> Función de pérdida	<b>16</b>
<b>Figura 1.4:</b> Características de calidad	<b>20</b>
<b>Figura 1.5:</b> Taxonomía problemas de calidad	<b>22</b>
<b>Figura 1.6:</b> Tipos de variabilidad	<b>24</b>
<b>Figura 1.7:</b> Factores de causas de variabilidad	<b>25</b>
<b>Figura 2.1:</b> Modelo conceptual	<b>36</b>
<b>Figura 2.2:</b> Dimensión del modelo de control	<b>37</b>
<b>Figura 2.3:</b> Modelo Integral de Control en Línea propuesto	<b>38</b>
<b>Figura 2.4:</b> Subprocedimiento de la fase de diagnóstico y ajuste	<b>39</b>
<b>Figura 2.5:</b> Subprocedimiento de la fase de predicción y corrección	<b>44</b>
<b>Figura 2.6:</b> Subprocedimiento de la fase de medición y análisis	<b>51</b>
<b>Figura 2.7:</b> Modelo control integral del proceso	<b>51</b>
<b>Figura 3.1:</b> Descomposición de la Leche pasteurizada	<b>62</b>
<b>Figura 3.2:</b> Pruebas de Normalidad	<b>64</b>
<b>Figura 3.3:</b> Tamaño de las empresas del sector	<b>66</b>
<b>Figura 3.4:</b> Gráficos de dispersión del análisis de correlación de problemas de calidad	<b>68</b>
<b>Figura 3.5:</b> Pruebas de normalidad de las características de calidad	<b>70</b>
<b>Figura 3.6:</b> Gráficos de control univariado	<b>75</b>
<b>Figura 3.7:</b> Función de autocorrelación	<b>79</b>
<b>Figura 3.8:</b> Carta de control para los errores de predicción de la acidez, sólidos no grasos y sólidos totales	<b>80</b>
<b>Figura 3.9:</b> Gráfico de control $T^2$ a partir de la matriz de covarianza $S_1$ y $S_2$	<b>82</b>
<b>Figura 3.10:</b> Gráfico de control $T^2$ a partir de la matriz de covarianza $S_1$ y $S_2$	<b>85</b>
<b>Figura 3.11:</b> Toma de muestras	<b>87</b>
<b>Figura 3.12:</b> Gráfico de dispersión recuento mesófilos aerobios y temperatura calentamiento	<b>88</b>
<b>Figura 3.13:</b> Regresión curvilínea recuento mesófilos aerobios vs. temperatura	<b>89</b>
<b>Figura 3.14:</b> Carta de Ajuste	<b>91</b>
<b>Figura 3.15:</b> Prueba de normalidad de las características de calidad	<b>94</b>
<b>Figura 3.16:</b> Gráficos de control univariado	<b>96</b>
<b>Figura 3.17:</b> Función de autocorrelación	<b>99</b>

---

<b>Figura 3.18:</b>	Carta de control para los errores de predicción de la acidez, sólidos no grasos y sólidos totales	<b>99</b>
<b>Figura 3.19:</b>	Gráfico de control $T^2$ a partir de la matriz de covarianza $S_1$ y $S_2$	<b>101</b>
<b>Figura 3.20:</b>	Gráfico de control $T^2$ a partir de la matriz de covarianza $S_1$ y $S_2$	<b>102</b>
<b>Figura 3.21:</b>	Gráfico de dispersión recuento de mesófilos aerobios y temperatura calentamiento	<b>104</b>
<b>Figura 3.22:</b>	Regresión curvilínea de mesófilos vs temperatura	<b>104</b>
<b>Figura 3.23:</b>	Carta de ajuste	<b>105</b>

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 0.1:</b> Relación criterios de búsqueda y número de artículos	<b>4</b>
<b>Tabla 2.1:</b> Matriz de caracterización del producto	<b>40</b>
<b>Tabla 2.2:</b> Matriz de caracterización del proceso productivo	<b>40</b>
<b>Tabla 2.3:</b> Matriz de variabilidad	<b>43</b>
<b>Tabla 3.1:</b> Características de calidad de la Leche pasteurizada	<b>62</b>
<b>Tabla 3.2:</b> Caracterización del proceso de Leche pasteurizada	<b>63</b>
<b>Tabla 3.3:</b> Descriptivos por sectores	<b>64</b>
<b>Tabla 3.4:</b> Media aritmética de los problemas de calidad	<b>64</b>
<b>Tabla 3.5:</b> Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para problemas de calidad	<b>65</b>
<b>Tabla 3.6:</b> Descriptivo por tamaño de las empresas	<b>65</b>
<b>Tabla 3.7:</b> Análisis bivariado para problemas de calidad	<b>66</b>
<b>Tabla 3.8:</b> Comparaciones de medias por tamaño	<b>66</b>
<b>Tabla 3.9:</b> Comparaciones de medias por tamaño de manera desagregada	<b>67</b>
<b>Tabla 3.10:</b> Comparaciones de medias por sector	<b>67</b>
<b>Tabla 3.11:</b> Comparaciones de medias por sectores de manera desagregada	<b>67</b>
<b>Tabla 3.12:</b> Correlación de Pearson para los problemas de calidad	<b>68</b>
<b>Tabla 3.13:</b> Escalas para significancia de correlación	<b>69</b>
<b>Tabla 3.14:</b> Índices de Capacidad de proceso de características de calidad	<b>73</b>
<b>Tabla 3.15:</b> Costo total/unidad producida	<b>74</b>
<b>Tabla 3.16:</b> Determinaciones constantes de proporcionalidad K	<b>74</b>
<b>Tabla 3.17:</b> Especificaciones de las características de calidad	<b>76</b>
<b>Tabla 3.18:</b> Función de pérdida promedio para cada característica de calidad	<b>76</b>
<b>Tabla 3.19:</b> Matriz de variabilidad	<b>77</b>
<b>Tabla 3.20:</b> Análisis de la correlación	<b>78</b>
<b>Tabla 3.21:</b> Correlación entre variables.	<b>78</b>
<b>Tabla 3.22:</b> Límites de la región de proceso modificada	<b>85</b>
<b>Tabla 3.23:</b> Datos muestrales para la determinación del coeficiente de regresión	<b>88</b>
<b>Tabla 3.24:</b> Reducción de la variabilidad	<b>91</b>
<b>Tabla 3.25:</b> Características de calidad de la leche pasteurizada	<b>92</b>
<b>Tabla 3.26:</b> Caracterización del proceso de leche	<b>93</b>
<b>Tabla 3.27:</b> Índices de capacidad de proceso de características de calidad	<b>95</b>
<b>Tabla 3.28:</b> Costo total / unidad producida	<b>95</b>
<b>Tabla 3.29:</b> Constantes de proporcionalidad K	<b>96</b>
<b>Tabla 3.30:</b> Especificaciones de las características de calidad	<b>97</b>
<b>Tabla 3.31:</b> Función de pérdida promedio para cada característica de calidad	<b>97</b>
<b>Tabla 3.32:</b> Matriz de variabilidad	<b>97</b>

---

<b>Tabla 3.33:</b>	Análisis de correlación	<b>98</b>
<b>Tabla 3.34:</b>	Correlación entre variables	<b>98</b>
<b>Tabla 3.35:</b>	Límites de la región de proceso modificada	<b>102</b>
<b>Tabla 3.36:</b>	Datos muestrales para la determinación del coeficiente de regresión	<b>103</b>
<b>Tabla 3.37:</b>	Reducción de la variabilidad	<b>106</b>

## Lista de Anexos

	<b>Pág.</b>
<b>A. Anexo:</b> Relación de fuentes especializadas consultadas	<b>115</b>
<b>B. Anexo:</b> Antecedentes del estado del arte y proceso de análisis de métodos Taguchi para la disminución de la variabilidad funcional	<b>118</b>
<b>C. Anexo:</b> Caracterización del sector de lácteos. Principales actividades del sector de alimentos de acuerdo a su clasificación CIU y las empresas más representativas	<b>130</b>
<b>D. Anexo:</b> Instrumento para diagnóstico	<b>132</b>
<b>E. Anexo:</b> Descomposición del producto y del proceso según decreto 616 del 2006	<b>137</b>
<b>F. Anexo:</b> Resultados estadísticos problemas de calidad	<b>144</b>
<b>G. Anexo:</b> Análisis bivariado	<b>153</b>
<b>H. Anexo:</b> Diagnóstico de problemas de calidad en empresa piloto uno	<b>159</b>
<b>H1. Anexo:</b> Diagnóstico de problemas de calidad en empresa piloto dos	<b>165</b>
<b>I. Anexo:</b> Tabla de datos características de calidad de leche pasteurizada entera. Empresa piloto uno	<b>171</b>
<b>II. Anexo:</b> Tabla de datos características de calidad de leche pasteurizada entera. Empresa piloto dos	<b>176</b>
<b>J. Anexo:</b> Constantes para construcción de gráficos de control univariados	<b>179</b>
<b>K. Anexo:</b> Análisis de costos. Empresa piloto uno	<b>180</b>
<b>L. Anexo:</b> Función de pérdida. Empresa piloto uno	<b>183</b>
<b>L1. Anexo:</b> Función de pérdida. Empresa piloto dos	<b>184</b>
<b>M. Anexo:</b> Datos para el análisis de mínimos cuadrados. Empresa piloto uno	<b>185</b>
<b>M1. Anexo:</b> Datos para el análisis de mínimos cuadrados. Empresa piloto dos	<b>186</b>
<b>N. Anexo:</b> Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para la acidez. Empresa piloto uno	<b>187</b>
<b>N1. Anexo:</b> Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para la acidez. Empresa piloto dos	<b>202</b>
<b>Ñ. Anexo:</b> Tabla de datos y valores del estadístico $T^2$ para matrices de covarianza $S_1$ y $S_2$ . Empresa piloto uno	<b>210</b>
<b>Ñ1. Anexo:</b> Tabla de datos y valores del estadístico $T^2$ para matrices de covarianza $S_1$ y $S_2$ . Empresa piloto dos	<b>213</b>
<b>O. Anexo:</b> Tabla de datos y valores del estadístico $T^2$ sin causas asignables. Empresa piloto uno	<b>216</b>
<b>O1. Anexo:</b> Tabla de datos y valores del estadístico $T^2$ sin causas asignables. Empresa piloto dos	<b>218</b>
<b>P. Anexo:</b> Matrices de capacidad multivariante del proceso. Empresa piloto uno	<b>221</b>
<b>P1. Anexo:</b> Matrices de capacidad multivariante del proceso. Empresa piloto dos	<b>223</b>
<b>Q. Anexo:</b> Datos análisis mínimos cuadrados valor de $\lambda$ cálculo punto de ajuste. Empresa piloto uno	<b>225</b>

---

<b>Q1.</b>	<b>Anexo:</b> Datos análisis mínimos cuadrados valor de $\lambda$ cálculo punto de ajuste. Empresa piloto dos	<b>226</b>
<b>R.</b>	<b>Anexo:</b> Datos del proceso de pasteurización para la carta de ajuste. Empresa piloto uno	<b>227</b>
<b>R1.</b>	<b>Anexo:</b> Datos del proceso de pasteurización para la carta de ajuste. Empresa piloto dos	<b>228</b>
<b>S.</b>	<b>Anexo:</b> Producción soporte a la presente investigación	<b>229</b>

## **0. Introducción**

Desde la década de los años treinta con Shewhart (1931), se abordó la variabilidad como un problema de calidad que puede ser controlado mediante la eliminación de las causas que la provocan. Para tal fin, se estableció el control estadístico para ocuparse de la desviación en el proceso, ya que los productos no pueden elaborarse exactamente iguales en cuanto a sus especificaciones, debido a las diferencias de la materia prima, las disímiles habilidades de los operadores, las condiciones en que se encuentra el equipo y los diversos sistemas de medición aplicados, entre otras variables, e incluso, se puede presentar variación en bienes producidos por un mismo operador y con la misma maquinaria. Es por esto que en la actualidad, el control de la calidad se ha convertido en un factor importante en el entorno industrial puesto que cada vez se demandan más artículos con altos estándares, lo que implica afinar los procesos con el fin de disminuir las fallas casi en su totalidad y satisfacer a los clientes.

En esta vía, resultan relevantes las aportaciones de Taguchi (1986), quien realizó importantes contribuciones a la ingeniería al divulgar cómo diseñar y fabricar productos conformes. Es así, como su función de pérdida, el control de calidad en línea y fuera de línea y el análisis de la variabilidad, llevan a la calidad como factor centrado en el cumplimiento de las especificaciones, cuya ausencia causa la disminución de la satisfacción del cliente y la pérdida del mercado, entre otros.

En la manufactura, una falla puede llevar a variaciones, dando lugar a piezas con características distintas a lo deseado. En éste caso, el control del proceso permite detectar la aparición de problemas, identificar sus causas y realizar un monitoreo para eliminarlas (Escalante, 2008, Aguwa et al., 2012, Aljebory and Alshebeb, 2014); pero, aún en procesos sin problemas diagnosticados también puede haber variabilidad. Por lo tanto, se debe optar por el ajuste de tolerancias de los componentes o subprocesos, modificar el diseño del producto o proceso (lo cual resulta muy difícil cuando se está en la etapa de producción), inspeccionar los productos terminados para separar los defectuosos, etc., (Gutiérrez 2010), entre otras actividades.

Para ello, es necesario considerar la calidad de “puertas afuera” con el fin de satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes y la calidad de “puertas adentro” para cumplir las especificaciones de los procesos y productos con la mínima variabilidad en torno a los valores nominales.

Es así, como se reconoce la **variabilidad externa**, como aquella que se presenta durante el uso del producto, debido a variaciones en las condiciones de utilización del mismo y a las generadas por errores humanos. Por su parte, la **variabilidad interna**, es aquella que se presenta debido al envejecimiento y deterioro del producto (Taguchi 1986, Ballantyne et al., 2008 y Akao 2012).

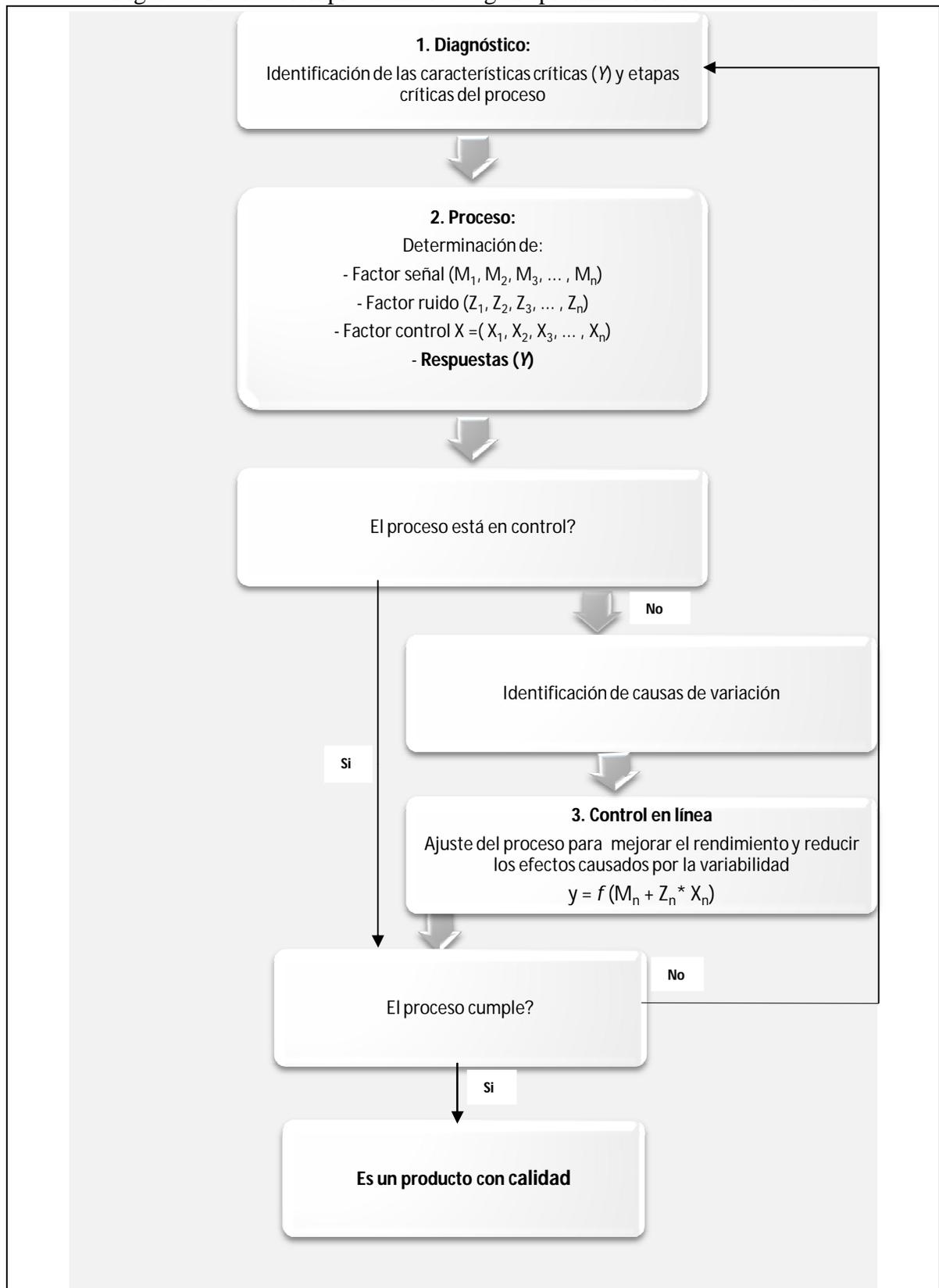
La calidad hacia adentro, tiene como objetivo minimizar los problemas asociados al no cumplimiento de las características del producto, hace necesario operaciones más complejas y un conocimiento cabal del proceso. Por su parte, la calidad “puertas afuera”, tiene como finalidad garantizar el más alto nivel de aceptación por parte del cliente al comparar el rendimiento percibido de un producto o servicio con sus expectativas; la forma de lograrlo es mediante la traducción de sus requerimientos en especificaciones técnicas (Hales and Gooch 2004, Ahmadzadeh et al., 2013).

Dentro del contexto industrial, se ha recurrido al estudio de la variabilidad para brindar una solución eficaz a los problemas de calidad, unos más complejos que otros (Thomas and Anthony 2005, Antony et al. 2006, Zeydan 2008 y Pan et al. 2011, Azadeh and Miri-nargesi, 2012); además, para evaluar a las empresas en relación con la capacidad de sus sistemas productivos.

Por su parte, Cronemyr (2011) y Neble and Schroeder (2011), aportan evidencia de que los problemas de calidad son generadores de pérdidas monetarias en las empresas; fuertemente relacionados con fallas por mala definición o por la obtención de productos con características inadecuadas, como consecuencia de las debilidades en los procesos de control.

La aproximación al estado del arte, demuestra que los aportes recientes acerca de los problemas asociados a la variabilidad han sido estudiados en su mayoría desde el diseño del producto y muy pocos desde el control de proceso (Marín et al. 2009, Prajogo and McDermott, 2011). La dificultad radica en el esfuerzo que supone no sólo la descomposición de la variabilidad total para conocer aquella parte del proceso que contribuye más a ésta; sino también en utilizar, por un lado, el control estadístico para la identificación y eliminación de las causas de variación, e igualmente, los métodos de control en línea para encontrar los puntos de ajuste de los factores internos causantes de la desviación en las salidas, respecto a los objetivos deseados, como se presenta en la Figura 0.1.

Figura 0.1. Situación problemática según aproximación al estado del arte



Fuente: elaboración propia

Como se expone en la Figura 0.1, la calidad debe estudiarse desde el diagnóstico para la identificación de características críticas para la determinación del estado de conformidad del proceso y del producto. Además, el proceso caracterizado por los factores controlables, ruidos y señales que afectan la respuesta ( $Y$ : características de calidad), donde se asume que el proceso presenta un comportamiento aproximadamente normal.

Un aspecto fundamental es determinar si el proceso se encuentra bajo condiciones controladas; si es así, el producto cumple con las especificaciones de calidad y puede llegar al cliente, en el caso contrario, es necesario establecer las causas de variación que mantienen el proceso fuera de control para ajustarlo (Montgomery 2001 y Jiang and Farr 2007).

El otro elemento esencial lo constituye el control en línea para identificar y ajustar las diferentes variables para reducir la variabilidad, para finalmente verificar su cumplimiento (Pal 2005). Siendo así, es importante encontrar las características para lograr que el producto funcione consistentemente y controlar el proceso para que sea relativamente insensible a los factores que puedan llevar a la variabilidad (Wang 2006, Jong et al. 2006 y Palanikumar 2006).

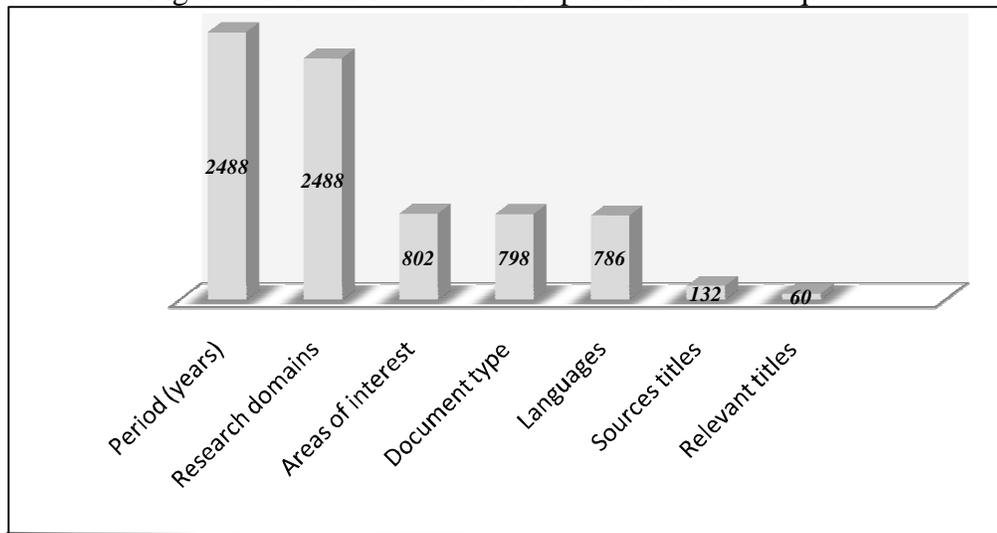
Para la situación problemática planteada en la Figura 0.1, se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos Web of Science, Scopus, Science Direct, Academic Source Complete, Business Source Complete, Emerald, Jstor, Springer (journal y books), Wiley, Taylor and Francis, entre otras. La relación entre los criterios de búsqueda y el número de artículos encontrados se exponen en las Tabla 0.1 y en la Figura 0.2.

Tabla 0.1. Relación criterios de búsqueda y número de artículos

According search criteria		No.
Search equation	1. (quality*)AND(varia*)AND (method*) 2. (quality*)AND(method *)AND(varia*)AND (industr*)	2488
Period (years)	2000 - 2016	2488
Research domains	Science technology	2245
Areas of interest	Engineering and Operations Research Management Science	802
Document type	Article o Review	798
Languages	English - Search equation	786
Sources titles	Specialized sources consulted relationship	132
Relevant titles	According search criteria	60

Fuente: Zapata y Trujillo.

Figura 0.2. Número de artículos por criterio de búsqueda

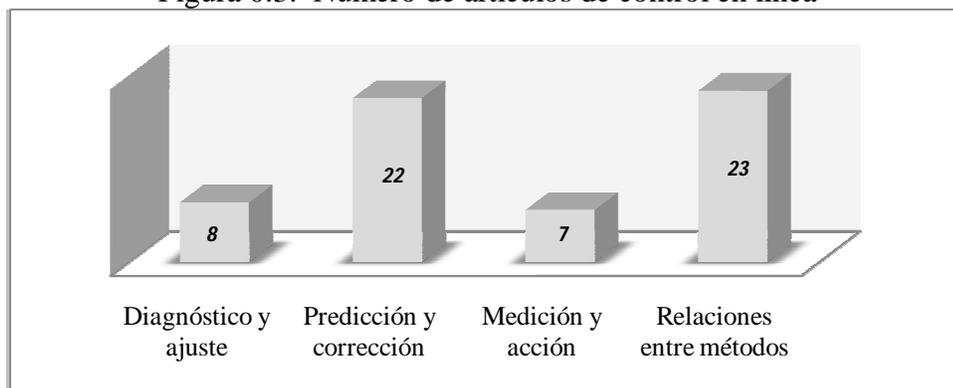


Fuente: elaboración propia

Como se observa en la Tabla 0.1 y en la Figura 0.2, se realizó la exploración por palabras clave, hallando 2488 artículos. Posteriormente, mediante diferentes criterios de búsqueda tales como año de publicación, dominio y área de investigación, tipo de documento e idioma, se encontraron 132 artículos, de los cuales, después una revisión y análisis exhaustivo de los resúmenes, se seleccionaron 60 por su relevancia y pertinencia con el tema central (ver Anexo A).

En el total de los 60 artículos de control en línea por el Método Taguchi, se encontró una orientación hacia 3 métodos, pero no se hallaron contribuciones orientadas a la integración de éstos para la minimización de la variabilidad como se presenta en la Figura 0.3. El primero de Diagnóstico y Ajuste para identificar las características a controlar; el segundo la Predicción y Corrección para definir las causas de variación y los factores que tienen mayor influencia en éstas características; el tercero Medición y Acción de las causas de variación de las características críticas con respecto a la especificación objetivo (ver Anexo B).

Figura 0.3. Número de artículos de control en línea



Fuente: elaboración propia

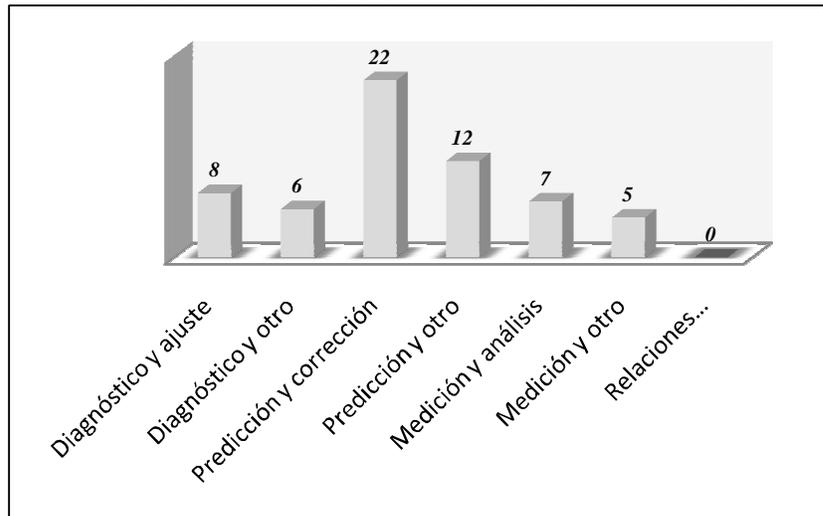
Para el **diagnóstico y ajuste**, se encontraron 8 estudios de la identificación de las características del producto para disminuir la variabilidad, con algunas metodologías como el análisis multicriterio y superficie de respuesta, despliegue de la función de la calidad; análisis de riesgos; diagramas de causa y efecto y diseño de experimentos, entre otras.

En la **predicción y corrección**, se hallaron 22 estudios, que abordan técnicas para identificar y corregir las causas de variación, predecir las señales fuera de control y mejorar las cartas de control. Se proponen nuevos gráficos multivariados integrados con redes neuronales, métodos estocásticos, algoritmos genéticos y análisis de componentes principales, entre otras.

Finalmente, la **medición y acción**, con 7 estudios, correspondientes a metodologías de identificación de los factores que influyen sobre las características de calidad, su cálculo, sus efectos y sus relaciones; aborda temas como el diseño de experimentos y análisis Anova, regresión lineal, mínimos cuadrados, series Taylor y análisis relacional, entre otras.

Se encontraron solamente 23 estudios que abordan la relación entre dos de los tres métodos de control según la metodología de Taguchi. Es decir, la integración entre diagnóstico y ajuste y otro, predicción y corrección y otro y medición y análisis y otro, orientados a identificar los puntos óptimos de los factores y las características de calidad; predomina el diseño de experimentos, la función de pérdida de calidad de Taguchi, el análisis de superficie de respuesta, las redes neuronales, algoritmos genéticos, análisis de componentes principales, análisis multicriterio, óptimo de Pareto y elementos finitos, entre otros, como se muestra en la Figura 0.4.

Figura 0.4. Número de artículos de relaciones entre los métodos de control en línea



Fuente: elaboración propia

Si bien, hay 23 estudios que relacionan los métodos, lo que no se encontró fue la integración de los tres, es decir diagnóstico y ajuste + predicción y corrección + medición y acción. Por lo tanto, el vacío de conocimiento, se plantea como la ausencia de una solución que permita la combinación de los 3 métodos para disminuir la variabilidad,

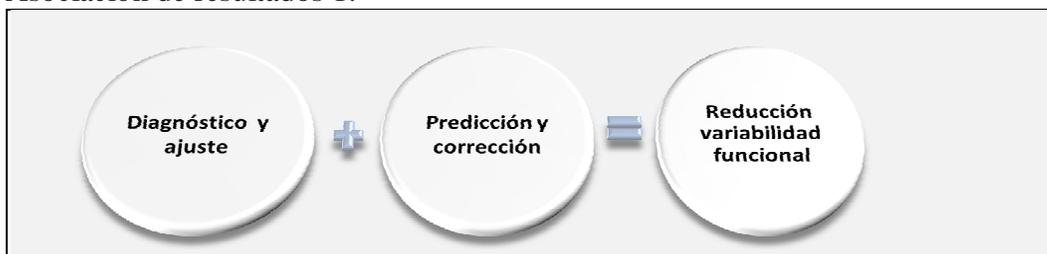
asunto que no ha sido abordado de forma sistemática desde el control en línea en el contexto del sector objeto de estudio y por tanto el tema resulta relevante y de interés científico. La identificación del vacío del conocimiento como resultado del análisis de la situación problemática trazada, no ha sido tratado bajo un modelo integral, como se visualiza en la Figura 0.5.

En el contexto nacional y regional, solo se encontraron las publicaciones de Medina et al. (2007), donde se realizó una comparación del Método Shainin y Taguchi en los ingenios azucareros y el de Zapata y Sarache (2013), que aborda el diseño de experimentos para la identificación de los niveles óptimos de los parámetros para mejorar las características de calidad de la taza de café.

Lo anterior, es coherente con una investigación previa realizada por Zapata (2013), dentro del marco de las actividades del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, donde se analizó el nivel de aplicación de los métodos Taguchi en las empresas manufactureras de la ciudad de Manizales, encontrando que tan solo un 2.4% de ellas realizaban una aproximación muy parcial a la aplicación de técnicas de control, como seis sigma, cartas de control, capacidad de proceso, muestreo de aceptación, diagrama de Pareto y causa efecto, entre otras. Dicho trabajo, se convierte en un precedente importante que da soporte al problema de investigación planteado.

Figura 0.5. Vacío del conocimiento

Asociación de resultados 1:



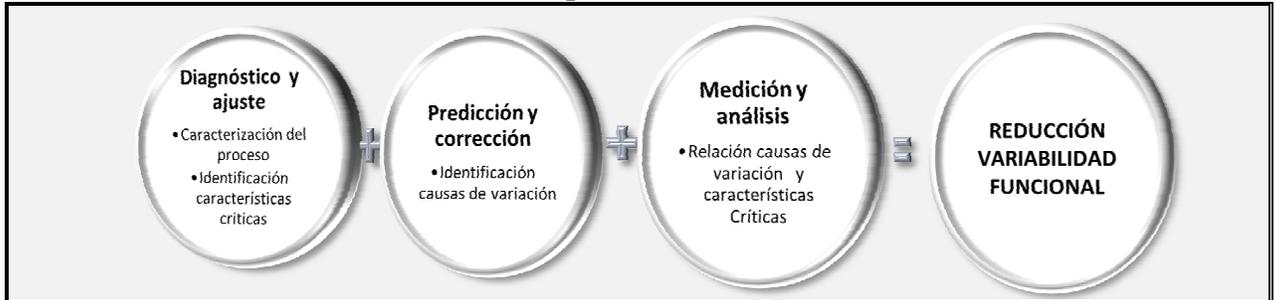
Asociación de resultados 2:



Asociación de resultados 3:



**Propuesta:**



Fuente: elaboración propia

Según la Figura 0.5, como no se halló evidencia de un modelo integral, la propuesta seguro abre las puertas para futuras líneas de estudio que sirvan de contrastación en diversos escenarios, lo cual refuerza que la calidad es una premisa fundamental para la supervivencia del sector industrial.

Por lo tanto, se crean las bases teórico-prácticas para el mejoramiento de la calidad bajo un modelo aplicado y validado en dos empresas del sector de lácteos de la ciudad de Manizales (Caldas), ya que existe un consenso creciente sobre la necesidad de sobrevivir como industria, de mejorar radicalmente la calidad de sus productos, considerándose así la perspectiva teórica para la solución práctica del problema científico planteado.

Es así, como la presente investigación integra los tres métodos del control en línea con el objetivo de reducir la variabilidad y aportar las bases conceptuales para el análisis de los efectos de esta integración. Por lo anterior la **contribución** sobre la reducción de la variabilidad según el modelo propuesto se fundamenta en que es sencillo para ser utilizado en las empresas y su implementación se puede garantizar, permitiendo la mejora continua de los procesos mediante la detección e identificación de causas especiales con un sistema de monitorización sobre varias características simultáneamente para reducir la variabilidad del proceso.

En los subprocedimientos planteados, se está seguro de los límites del control del proceso, de la distribución normal, el análisis de la regresión simple y de la varianza para determinar la variabilidad en procesos de múltiples etapas para minimizar las pérdidas de calidad.

El modelo elimina los factores que no son significativos en la experimentación a través del rastreo de los parámetros clave del proceso, permitiendo enfoques alternativos,

posibilitando diferentes perspectivas y proporcionando información detallada del control de las características y el reconocimiento de los distintos grados de defectos en los productos, estableciendo las condiciones óptimas, la identificación de los mejores niveles de los factores con el fin de minimizar las pérdidas de calidad.

El modelo ha mostrado un cierto grado de robustez, sujeto a restricciones por límites físicos, recursos y capacidad (económicos, gestión, tiempo), de seguridad, requerimientos tecnológicos, limitaciones de calidad del producto o normativa medioambiental. Se desarrollan métodos de control estadístico univariante y multivariante e incluye tanto a los factores controlables como los no controlables y presenta suficientes aportaciones para la mejora de la calidad. La caracterización proceso (parámetros y variables) depende del tiempo y la evolución del mismo, se centra en la determinación de los gráficos de control de la forma más ajustada posible, plantea opciones válidas y soluciones para mejorar sus propiedades estadísticas buscando siempre optimizar los recursos y procesos.

Con éste modelo es fácil saber si el proceso es estable, aún en los casos que se presenten problemas de extrema no normalidad, por presentar fallas en las características de calidad o por los errores del sistema de medición. La propiedad de la estabilidad, relacionada con el regreso del proceso a una posición de equilibrio tras una perturbación, es posible, con el análisis multivariante.

La integración del control en línea da credibilidad al modelo, ya que el control estadístico de procesos ha sido eficiente en las industrias por la disminución de las pérdidas debidas a la desviación de un producto por la variación de las especificaciones, la propuesta de la calidad es ajustada a la realidad.

Con base en la **situación problemática identificada**, se necesita ajustar y controlar los procesos para disminuir la variabilidad, mediante un modelo de control en línea que mejore la calidad en la industria alimenticia. Por lo tanto se plantea una investigación de un problema no resuelto que amerita ser analizado mediante el método científico, que no ha sido abordado integralmente. El estudio completo de la triada diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis, se diseña con la finalidad de minimizar la variabilidad en el sector objeto de estudio, específicamente el ubicado en la ciudad de Manizales (Caldas). Por tanto, el problema fue sistematizado a través de la siguiente **pregunta de investigación**:

*¿Cómo diseñar un modelo de control en línea que permita integrar los métodos de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis, que contribuya a la reducción de la variabilidad de los productos o procesos en las empresas de alimentos?*

Alrededor de la pregunta de investigación, surgieron los siguientes cuestionamientos:

- ¿Cuáles son los elementos teórico – conceptuales que deben ser incorporados en un Modelo de control en línea para la disminución de la variabilidad?
- ¿Cuáles deben ser las etapas que deben integrarse en la estructura general de un Modelo de control en línea para disminuir la variabilidad en las empresas?

- ¿Cómo debe estructurarse cada una de las etapas identificadas desde el punto de vista de actividades?
- ¿Qué aspectos y situaciones de se deben considerar para la validación del modelo con miras a referenciar su estructura y alcance?

Estos cuestionamientos resultan por demás interesantes, pero complejos en su respuesta. Es así, como la preocupación central es el control en línea para la mejora de la calidad, como factor concluyente en la presente investigación; por lo tanto, el tema es necesario, importante y atrayente.

De acuerdo con lo anterior, se propone un aporte con aplicaciones a otros ambientes regionales y empresariales, mediante la integración de la triada del control en línea, con evidencia hasta ahora no existente en el contexto empresarial, contribuyendo sobre las implicaciones prácticas que para las industrias tiene el tema, así como para futuras investigaciones que sirvan de contrastación en diversos escenarios, lo cual refuerza la idea que el control se convierte en una premisa fundamental en el mundo ingenieril, pero también una necesidad de afinarse en muchos aspectos.

El diseño y aplicación de un modelo de control en línea para solucionar los problemas de calidad por la variabilidad, permite a las empresas de alimentos refinar sus procesos. Con lo planteado anteriormente, se formuló como **hipótesis general de la investigación** la siguiente:

*“El diseño de un modelo de control en línea que integre de manera adecuada el diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis permitirá la disminución de la variabilidad en las empresas de alimentos”.*

Esta hipótesis quedará validada sí, al aplicar el modelo integral de control en línea basado en el diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis efectivamente se reduce la variabilidad y por tanto se mejora la calidad.

De conformidad con la hipótesis planteada y el problema científico a resolver, el **objetivo general** de la presente investigación fue:

*“Diseñar un Modelo de control en línea que integre el diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis que contribuya a la disminución de la variabilidad en las empresas de alimentos”.*

Los **objetivos específicos** fueron los siguientes:

1. Realizar un análisis que permita identificar las bases conceptuales para la construcción de un Modelo integral de control en línea para la disminución de la variabilidad y abordar la solución del problema de investigación planteado.
2. Determinar las técnicas estadísticas necesarias que respalden la integración de los métodos de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis para

construir un modelo real para la disminución de la variabilidad.

3. Aplicar y validar el Modelo integral de control en línea en las empresas con miras a afirmar la hipótesis de la investigación.

Para el desarrollo de los objetivos planteados se utilizaron métodos estadísticos de control de calidad, descripción y análisis de los principales problemas existentes en la aplicación práctica del control en línea, análisis de los principales métodos de control como una forma de agilizar el procedimiento de ajuste de los procesos, desarrollo de una propuesta robusta al clásico control, análisis de las principales soluciones dadas en la literatura especializada al problema de la existencia de la variabilidad, análisis y estimación del control de procesos, tanto como técnica para reducir la variabilidad como para atenuar el efecto negativo de la misma. Adicionalmente, entrevistas, observación directa y ayudas computacionales para el desarrollo de los objetivos y la demostración de la hipótesis de investigación.

La principal **novedad científica** radica en el diseño de un Modelo de control en línea que integre los métodos de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis para la disminución de la variabilidad para el mejoramiento del producto y del proceso, que puede ser adaptado diversos sectores empresariales con sus respectivos ajustes.

De acuerdo con lo anterior, el **valor teórico** de la presente investigación, se centra en la actualización y reconceptualización de un conjunto de conocimientos en torno al control en línea. Concretamente, se focaliza en el análisis de las variables críticas dentro de la realidad de la empresa de alimentos, así como en la aplicación de herramientas estadísticas en la solución del problema científico planteado asociado al objeto de estudio práctico.

El **valor metodológico** se respalda con el propio modelo que permite dar solución al problema científico, cuyos resultados pueden ser replicados a otras regiones, sectores y empresas con características y problemáticas similares.

El **valor práctico** se sustenta con la replicabilidad del modelo que permite conocer los efectos de los buenos resultados obtenidos para el mejoramiento de los procesos y de los productos.

Para su presentación como Tesis Doctoral, los resultados y aportes fundamentales de la investigación se estructuraron en el presente documento de la manera siguiente: una **introducción**, donde se caracteriza la situación problemática, se identifica el problema científico a resolver, se plantea la hipótesis general de la investigación, los objetivos planteados, los aportes fundamentales obtenidos y los valores de la investigación. El **primer capítulo**, desarrolla el marco teórico y referencial de la investigación; un **segundo capítulo**, presenta el modelo propuesto de control para la mejora de la calidad de las empresas; un **tercer capítulo** donde se validan los resultados del modelo, demostrando así la hipótesis de investigación planteada. Por último, se presenta un cuerpo de **conclusiones y recomendaciones** a partir de los resultados obtenidos, la bibliografía utilizada y referida en y un conjunto de anexos de necesaria inclusión para la mejor comprensión de los resultados de la investigación.

## 1. Capítulo 1. Marco teórico - referencial

**Los referentes básicos que originaron en su momento las investigaciones sobre “quality management” llevan a considerar los aportes de los gurús de la calidad.** Es así como en la categoría de los americanos tempranos con Walter Shewhart (1924), la estadística entra a formar parte del proceso industrial y aparece el control estadístico de la calidad como tal. Shewhart definió la calidad *“como un problema de variación, el cual puede ser controlado y prevenido mediante la eliminación a tiempo de las causas que lo provocan”*. Observó que no pueden producirse dos partes con las mismas especificaciones, y que se da variación en las piezas producidas por un mismo operador y con la misma maquinaria.

Años más tarde (1950), los gurús japoneses con Shigeru Mizuno se introduce la filosofía de Quality Function Deployment (QFD) e incluye métodos para el diseño y control del producto, la medición de costos y pérdidas relacionados con la falta de calidad y el empleo de técnicas estadísticas para controlar y mejorar los productos. Y el pensamiento de Taguchi que se basa en dos conceptos fundamentales: productos atractivos al cliente y ofertar mejores productos que la competencia, concretándose en la función de pérdida (a mayor variación de una especificación con respecto al valor nominal, mayor es la pérdida monetaria transferida al consumidor), y en la mejora continua (del proceso productivo y la reducción de la variabilidad son indispensables para subsistir en la actualidad).

Los nuevos gurús occidentales como Harrington, Schonberger y Garvin han realizado aportaciones desde la mejora de los procesos aspecto que contribuye a la disminución de la variabilidad del mismo.

Recientemente, la calidad como tema de interés científico, es indiscutible por los trabajos e investigaciones publicados, entre algunos de ellos los de Aragón (2001), Andaleeb (2001), Kara (2005), Wicks and Roethlein (2009), Battinia (2012) y Giaccio et al., (2013). Todos los planteamientos parten del enfoque de eficacia, con el objetivo de ajustar los procesos buscando la estandarización, a través de la mejora continua (Erasmus and Van Waveren, 2007; Koçel, 2010; Battinia, 2012; Plăiaș et al., 2012 y Giaccio et al., 2013, Wijesiri et al, 2015).

Es así, como el concepto de calidad partió del conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer necesidades expresadas o implícitas (Albacete, 2004; Kotler and Keller, 2007). Posteriormente, avanzó a cada fase del proceso de producción, hasta incluir todo el ciclo de vida del producto y prontamente incursionó en otros campos como los servicios (Suuroja, 2003; Ennew and Waite, 2007; Santhiyavalli and Sandhya, 2011 y Bell and Zemke, 2013, Chen et al., 2015).

Al respecto Kara (2005), plantea que la calidad no es un fin en sí misma; sino que es un medio para lograr el objetivo de maximizar la satisfacción de clientes y el beneficio de las empresas. Complementando a Kara, Schroeder (2008:108), plantea que *“es la relación entre la composición realizada y la requerida de una unidad, se conduce desde las demandas de los clientes externos a través de la orientación del cliente interno”*, se basa en la planificación y la prevención y la coloca en el foco del mejoramiento continuo de todos los procesos en las áreas funcionales.

A su vez, Wicks and Roethlein (2009: 202), afirman que la calidad se define por los compradores y está directamente relacionada con el grado alcanzado de satisfacción de éstos, por consiguiente, la calidad es *“el resumen de las evaluaciones afectivas realizadas por cada cliente de cada objeto de interés que crea su satisfacción, donde el término cliente se define como cualquiera de los grupos de interés internos y externos de la organización y el objeto de actitud se define como la entidad de interés particular, ya sea para un interno o cliente externo”*.

De acuerdo con lo anterior, la calidad como cumplimiento de las especificaciones del producto ha llegado a extenderse más allá de la conformidad hasta incluir finalmente a los clientes y grupos de interés, satisfaciendo sus demandas y expectativas y manteniendo los costos al mínimo (Moulin, 2003 y Medina y Medina, 2010).

En contraste con los planteamientos de calidad de conformidad por la ausencia de defectos, aparece el de los clientes, establecida como la diferencia entre las expectativas del producto y lo que realmente se experimenta después de comprado o recibido, es relativa y depende finalmente del cliente (Giaccio et al. 2013).

Westlund et al. (2001) citado por Jaju et al. (2009) y Anderson et al. (2009) concuerdan al considerar que *“la satisfacción del cliente está directamente relacionada con la retención de estos, dado que es el principal antecedente de la lealtad de ellos”*. Asimismo, Neble y Schroeder (2011:88), complementan que *“la calidad se basa en el juicio subjetivo del cliente, descrita como la relación entre la condición real y nominal”*.

En este sentido, Ayan y Kahraman (2012:147), perfeccionan el concepto, calidad significa *“aportar valor al cliente”*, es ofrecer unas condiciones de uso del producto superiores a las que él espera recibir y a un precio accesible. De esta forma, no es suficiente que los productos cumplan con ciertas especificaciones sino que además, una integración de la funcionalidad, el desempeño y el costo, los cuales son factores que integran el valor.

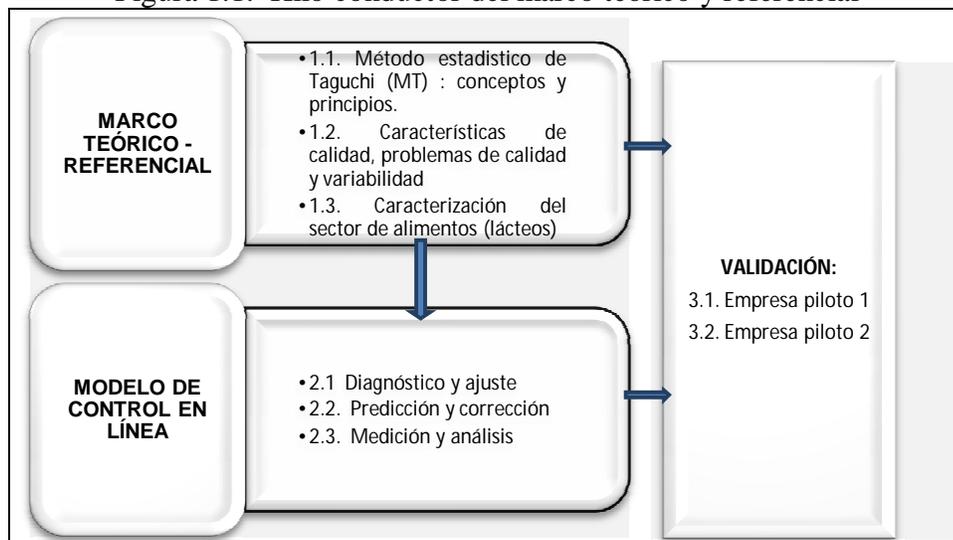
Por otro lado, como lo sugieren Giaccio et al. (2013), la satisfacción del cliente ya no es suficiente para definir la calidad; va más allá de las necesidades expresadas, éste no siempre sabe lo que quiere y lo que puede tener. Así, Cuatrecasas (2010:108), la define como *“todas las formas a través de las cuales la organización satisface las necesidades y expectativas de sus clientes, sus empleados, las entidades implicadas financieramente y toda la sociedad en general”*

Para la autora de la presente contribución, la calidad es un término que puede ser definido y explicado desde la objetividad, con aproximaciones como “cero defectos”; o como “satisfacción del cliente” desde la subjetividad.

Y, como lo afirman Chung et al. (2008) y Giaccio et al. (2013), se hace evidente que la calidad se desplace por la producción y avance hacia el mercado, se aparte de un enfoque local y burocrático hacia un enfoque más funcional, dinámico y global. Es por esto que en la actualidad se define la satisfacción a través de una respuesta emocional o cognitiva, es generada de acuerdo con ciertos factores como la experiencia de consumo, las expectativas y la calidad del producto. Ésta respuesta se da, ya sea después de realizada la compra, por experiencias anteriores o después de la elección (Diana, 2012; Cervantes, 2012; Damper, 2012; Lobato, 2012; Eboli, 2013; Akiva, 2014; Ramírez, 2014 y Pérez, 2015).

Lo anteriormente expuesto, lleva a la exploración del concepto de calidad, problemas de calidad y variabilidad a partir del Método Taguchi, particularmente el control en línea en el sector industrial, ya que existe un consenso creciente sobre la necesidad de sobrevivir como industria, de mejorar radicalmente la calidad de sus productos y sus servicios, como se sustenta según el hilo conductor de la Figura 1.1.

Figura 1.1. Hilo conductor del marco teórico y referencial



Fuente: elaboración propia

Según la Figura 1.1, el punto de partida para la construcción del marco teórico-referencial de la presente investigación, obliga a realizar una revisión del Método Taguchi, para obtener mejoramientos en costos y calidad, optimizando el diseño del producto y del proceso, con el objetivo de desarrollar bienes más rápido que la competencia con la mejor calidad y al menor precio.

Estos planteamientos conllevan a la formulación de un modelo de control en línea, considerando que todo producto es el resultado de un proceso y que todos los procesos tienen variabilidad. Para ello el modelo contempla las etapas de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis, con sus respectivos pasos.

### 1.1. Método estadístico de Taguchi (MT): conceptos y principios.

Los aportes de autores consultados en la presente investigación (Mazur, 2001 y Villarroel et al., 2003), ratifican la importancia de los principios del Método Taguchi. Los elementos más importantes de esta metodología según Vargas (2006:116) se plantean así:

- ***“La calidad se puede explicar en términos de la pérdida generada por el producto a la sociedad”***: se condiciona la calidad del producto a la satisfacción del cliente, donde; la *“calidad es la pérdida generada a la sociedad desde el momento que un producto es embarcado”*; cuanto menor sea la pérdida monetaria, mayor es la satisfacción del consumidor.
- ***“En una economía competitiva, el mejoramiento continuo de la calidad y la reducción de costos son necesarios para permanecer en el mercado”***: una empresa puede sobrevivir en el mercado si los productos que vende le producen ganancias; una forma de lograrlo es mediante la oferta de bienes de alta calidad a bajo costo. Los clientes seleccionan éstos productos teniendo en cuenta características como: calidad y precio. Para ello, las empresas deben trabajar en el mejoramiento de la calidad y la reducción en los costos de operación. Aunque, *“en el mundo actual de los negocios, ya no es suficiente suponer que los productos son aceptados por sí solos, basados en “simples ofertas de calidad y bajo precio”* (Sarache et al. 2007:20). Los costos para reducir corresponden a los asociados al diseño del producto, los de manufacturación y los de operación. Estos tipos de costos se pueden comprimir mediante un uso apropiado del diseño de experimentos. La calidad y el costo final del producto manufacturado dependen en gran medida del diseño efectuado para el producto y el proceso.
- ***“Un programa de mejoramiento continuo de la calidad incluye la reducción permanente de la variabilidad en la característica de calidad respecto de los valores objetivos”***: se deben identificar las características del producto y sus valores ideales. El objetivo de un programa de mejoramiento continuo de la calidad es reducir la variabilidad de las características del producto respecto de esos valores ideales.
- ***“La pérdida del consumidor debido a la variabilidad en el funcionamiento del producto es aproximadamente proporcional al cuadrado de la desviación de la característica de desempeño de su valor objetivo”***: cualquier desviación de la característica respecto de su valor objetivo causa pérdida al consumidor que puede ser una pérdida monetaria simple o considerable. La variabilidad del proceso y del producto se puede reducir mediante el efecto no lineal de los parámetros del producto y del proceso sobre las características.
- ***“Experimentos planeados estadísticamente pueden utilizarse para identificar los niveles de los parámetros de diseño que reducen la variabilidad en el funcionamiento del producto”***: con el diseño de experimentos, las variables que afectan las características de un producto se clasifican en parámetros de diseño y fuentes de ruido. Los parámetros de diseño son los valores nominales del diseño y operación del producto y las fuentes de ruido son las variables que causan desvíos de las características respecto de sus valores objetivos. Los diseños de experimentos son

utilizados para identificar el conjunto de parámetros del producto y del proceso que reducen la variación y por tanto mejoran la calidad.

Para Taguchi (1986), la calidad de un producto decrece en la medida en que los valores de sus características funcionales se alejan de los valores objetivos, que deben medirse en función de la pérdida que asumen los clientes como resultado de una mala calidad; aporte reconocido como *Función de pérdida de la calidad de Taguchi*, como se expresa en la ecuación 1:

$$l(Y) = k (y-m)^2 \quad (1)$$

Donde:

- $l(Y)$  = pérdida para el cliente en unidades monetarias, cuando la vida útil del producto y las características son iguales a  $(Y)$
- $l(Y)$  es mínima cuando  $Y = m$ .
- $l(Y)$  aumenta en la medida en que  $Y$  se desvía de  $m$ .

$y$  = valor de la característica (alejamiento con respecto al valor objetivo).

$m$  = valor objetivo, mide la calidad nominal.

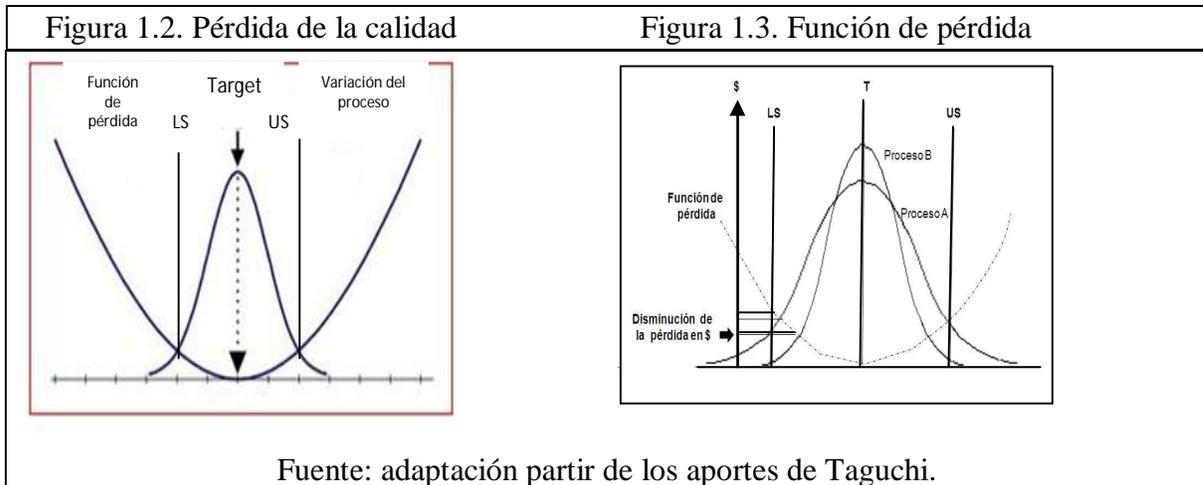
$k$  = constante de proporcionalidad que se puede evaluar si se conoce  $l(Y)$  para algún valor particular de  $(Y)$ , valor de la característica cuantitativa de la calidad considerada.

Con las características, se determinan las tolerancias finales que garantizan una variabilidad mínima (Hao and Zhou, 2008, Knappenberger 2009 y Hachicha et al., 2012), y las relaciones establecidas de acuerdo a la función de pérdida se comportan así:

- **El menor es el mejor:**  $Y$  toma valores no negativos y  $l(Y)$  aumenta a medida que  $Y$  se aleja de cero.
- **El mayor es el mejor:**  $Y$  toma valores no negativos y  $l(Y)$  disminuye a medida que  $Y$  se aleja de cero.
- **El valor objetivo es el mejor:**  $l(Y)$  aumenta si  $Y$  se desvía en cualquier dirección.

Éstas relaciones dependen si el objetivo es encontrar una respuesta tan pequeña como sea posible (*el menor es el mejor*), tan grande como sea posible (*el mayor es el mejor*), o tan cerca de un valor objetivo como se pueda (*el valor objetivo es el mejor*). Es decir, una combinación que maximice las razones de control y minimice la función de pérdida debida al incumpliendo de las características del producto y de los requerimientos del cliente (Montgomery, 2007).

Al respecto, para cada característica existe una función que define la relación entre la pérdida económica y la desviación de la característica de su valor meta, tanto para el fabricante como para el cliente (Taguchi, et al., 1989), como se aprecia en la Figura 1.2 y 1.3.



En la Figura 1.2, la tendencia del proceso es centrado al máximo con el valor objetivo (target) y con la mínima variabilidad como indicador de pérdida de calidad, relacionada con el incumplimiento de las características del producto por la variación del proceso (Taguchi, et al., 1989 y Takeuchi and Quelch, 2004).

La Figura 1.3, muestra la función de pérdida de dos procesos A y B con sus márgenes de tolerancia, en donde el proceso de B disminuye la función de pérdida mediante la reducción de la variabilidad con respecto al valor objetivo en comparación con el proceso A. El objetivo es encontrar las condiciones que den lugar a un valor mínimo de la función de pérdida, procurar que se esté lo más cerca posible de un valor óptimo (target: T) y que permanezca insensible a las variaciones y una vez identificadas las fuentes de variación se eliminan o reducen.

A su vez, Taguchi define dos tipos de respuesta, dependiendo de la característica: estática y dinámica. La estática o no dinámica se refiere a valores objetivos fijados previamente (cero, infinito o valores nominales) y se evalúan con las relaciones el menor es el mejor, el mayor es el mejor y nominal es el mejor. Las dinámicas, son para mejorar la función de un producto en el rango de salida, en este caso, se debe plantear primeramente la función ideal (objetivo), ya que cada medida tiene un propósito y una función que transforma una entrada en una salida, siendo el punto más importante en el rendimiento del sistema.

La discusión crítica del tema, lleva a plantear que, aunque es cierto que el Método Taguchi ha sido útil en la identificación de factores críticos en el diseño y el proceso, éste solo se enfoca hacia la conformidad para el uso y el cumplimiento de las especificaciones. Sin embargo, son necesarios mayores esfuerzos que lleven a la calidad total como filosofía empresarial, siendo ésta una consideración que no se puede eludir. Es así, como la calidad del producto se ha convertido en una tarea vital para los fabricantes con miras a mantener bajos costos y alta satisfacción al cliente, por lo que la mejora debe ser cada vez más permanente en la reducción de la variabilidad de las características clave, y lograr la estabilidad del proceso y la productividad.

No obstante, hay que trascender el concepto básico de variabilidad, buscando acotar el porcentaje de productos defectuosos que pudieran llegar a manos de los clientes, mediante el desarrollo de procesos que minimicen los defectos, diseñándolos capaces y manteniéndolos bajo control. El análisis permite determinar si las variables se mantienen un nivel aceptable, identificar las causas de la variabilidad y evaluar la capacidad del proceso (Villaroel et al., 2003; Maghsoodloo et al., 2004 y Montgomery 2007).

Para reducir la variabilidad, es necesaria la identificación de las variables que probablemente estén causando dicho comportamiento. Si el proceso está operando de manera que existen pequeñas oscilaciones de todos estos factores, pero de modo que ninguno de ellos tiene un efecto preponderante frente a los demás, entonces es esperable que la característica presente un comportamiento normal. Por el contrario, si incide un factor con un efecto preponderante, entonces la característica de calidad no tiene que seguir éste comportamiento (Thompson and Koronacki, 2002 y Montgomery, 2007).

La tendencia es poseer una alta capacidad de detectar rápidamente cambios en el proceso e identificar variaciones anormales de modo que se eviten defectos, desechos y retrabajos de productos y detectar las causas. Según el desarrollo del proceso, se puede detectar si está en control o no, buscar las causas de variación para tomar correcciones para pasarlo de un estado fuera de control a un estado en control (Li et al., 2013).

La práctica industrial, muestra que es necesario el monitoreo simultáneo de dos o más características interrelacionadas que influyen conjuntamente en la calidad de los productos. Aunque una posible solución podría ser el control para cada característica, una mejor alternativa consiste en el control simultáneo, pues la supervisión de forma independiente puede ser muy engañosa.

En concordancia con lo anterior, es necesaria la inclusión de más de una variable susceptible de análisis, con el objetivo de detectar las desviaciones debidas a la correlación entre las mismas variables, que no son perceptibles al monitorearlas de manera individual, siendo, ésta una debilidad manifiesta del método Taguchi (Bersimis et al., 2007; Yu and Xi, 2009; Yu et al., 2009; Evans and Lindsay, 2011 y Shu et al., 2014, McLaughlin, 2016).

### **1.1.1. El control en línea como componente del Método Taguchi**

En la actualidad en el sector industrial, hay un interés creciente por el desarrollo de técnicas que permitan el control del proceso para determinar la calidad del producto (Box and Luceno, 1997, Ferrer, 2004 y Zapata 2013). La selección apropiada, mejora la confiabilidad, manufacturabilidad y operación del mismo (Pan et al., 2011; Navarro y Martínez, 2013), garantiza productos con un alto nivel de calidad aunque sus condiciones de uso no sean las óptimas (Taguchi et al., 1989 y Boyles, 1991) y productos correctos aún fabricados con materiales y en condiciones poco favorables (Hao and Zhou, 2008).

Los inconvenientes relativos a la variabilidad, que en muchos casos implica el planteamiento de Taguchi, quedan solucionados con un modelo de control en línea (Navarro y Martínez, 2013). Por tanto, es necesario que las empresas seleccionen adecuadamente el sistema de control que más le conviene, que les permita mejorar sus

ventajas y conquistar mercados (Shu et al., 2014). La justificación lleva a reconocer que las técnicas para el control de productos y procesos en los últimos años, es uno de los elementos para asegurar la calidad más eficazmente (Bersimis et al., 2007; Hao and Zhou, 2008; Li, 2013; Zapata y Sarache, 2013 y Shue et al., 2013).

Los esfuerzos para garantizar la calidad, resultan ser los más efectivos y rentables mediante la aplicación de técnicas que permitan reducir la variabilidad en el funcionamiento del producto. Para ello, Taguchi inicialmente establece dos etapas en el control de la calidad en línea: 1) los métodos de control de la calidad de la producción compuesto por los procesos de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y acción y fuera de línea: 2) las relaciones con los clientes.

En donde, el control en línea “*comprende métodos para conservar los valores objetivo y disminuir la variación con respecto a las especificaciones establecidas*” (Hoyer and Hoyer, 2001:78), se destaca el desarrollo de las gráficas de control, la corrección de los procesos y el establecimiento del mantenimiento productivo (Taguchi and Phadke, 1989; Montgomery, 2007 y Li et al., 2013 y Ferrer, 2014), cuyas actividades primordiales tienden a:

- **En el diagnóstico y ajuste del proceso:**
  - Examinar el proceso en intervalos regulares de tiempo;
  - Ajustar y efectuar las correcciones según las necesidades que surjan.
- **En la predicción y corrección:**
  - Medir a intervalos regulares de tiempo los parámetros cuantitativos o numéricos del proceso.
  - Proyectar las tendencias en el proceso.
  - En el caso en que el proceso se encuentra demasiado alejado de los valores nominales, el proceso se debe reajustar para corregir la situación (control *feedback* o *feedforward*).
- **En la medición y acción:**
  - Realizar el control de la calidad mediante inspección (cada unidad manufacturada es inspeccionada).
  - Reparar o eliminar las unidades defectuosas.
- **Relaciones con los clientes** para fuera de la línea:
  - Se le ofrece al cliente la reparación o el reemplazamiento de productos defectuosos, o bien la compensación de pérdidas.

No obstante a pesar de las aportaciones de las **técnicas individuales de Taguchi**, las metodologías que utiliza para el control del producto y del proceso y el análisis los resultados obtenidos, presenta algunos aspectos controvertidos como que las técnicas estadísticas utilizadas no son las más adecuadas y el número de experimentos que se requieren suelen ser excesivamente grande (Box and Fung, 2006 y Box and Jones, 2010).

Aunque existen numerosas contribuciones que han probado las bondades de las tres mencionados metodos, estos presentan algunas falencias que se derivan de su aplicación en forma individual. El *diagnóstico y ajuste del proceso* sirve para cuantificar las pérdidas pero no despliega acciones para su control y mejora (Pan et al., 2011). La *predicción y corrección* se centra en las causas asignables de variabilidad pero no trabaja en aquellas causas comunes (Capizzi, 2015). En contraste con el anterior, la *medición y acción* aborda las causas comunes y descuida las causas asignables (Hachicha et al., 2012). Dadas las falencias y potencialidades que entrañan estas en línea, se han detectado diversos intentos por generar soluciones híbridas que minimicen las falencias señaladas (Duffua et al, 2004; Hachicha et al., 2012; Siddiqui et al., 2015; Aljebory y Alshebeb, 2014). Sin embargo, y a pesar de los avances de estas investigaciones, tales autores han destacado la necesidad de seguir avanzando en la temática.

Autores como Box (2001), Sitkin et al. (2004) y Chen-Hsiu (2010), plantearon que los métodos Taguchi, no muestran cierto grado de robustez, no caracterizan el producto y el proceso dependiendo del tiempo, no rastrean la interacción entre los diferentes tipos de factores (controlables – no controlables), no proporcionan información detallada para múltiples características, no se reconocen los distintos grados de defectos en los productos.

La contundencia del vacío del control en línea mediante los métodos se sustenta en el Anexo B, la coherencia del sistema desde la situación problemática como la falta de evidencia de un modelo integral, definen el alcance de la construcción de un Modelo integral de control en línea para la disminución de la variabilidad basado en la integración de los métodos de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis.

## **1.2. Características de calidad, problemas de calidad y variabilidad**

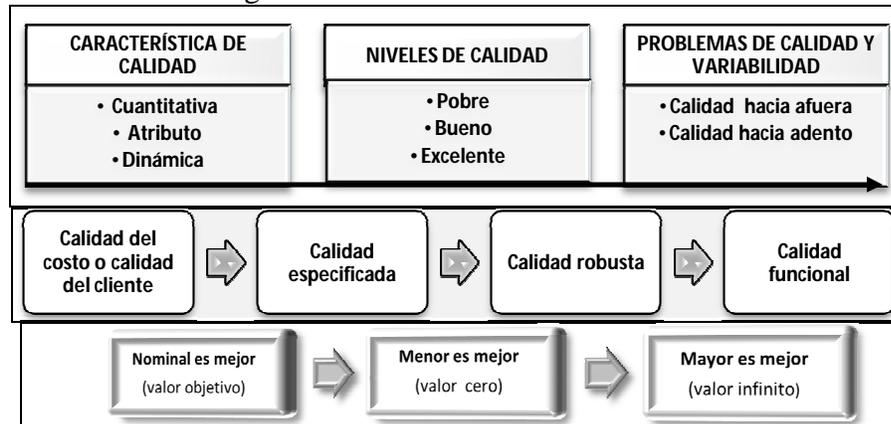
La calidad de los productos, como factor centrado en el cumplimiento de sus características para la satisfacción del cliente, es un concepto fundamental para esta investigación. En este contexto, se plantea la necesidad de abordar la calidad a partir de las características y sus respectivos niveles, los problemas de calidad y la variabilidad.

### **1.2.1. Características de calidad**

Se parte del concepto de calidad como el “*grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos*”, característica, como el “*rasgo diferenciador*”, y característica de la calidad como el “*rasgo diferenciador inherente (existe en algo, característica permanente) de un producto, proceso o sistema relacionada con un requisito*” (Icontec, 2015:12).

Por lo tanto, es necesario “*seleccionar las características apropiadas, para obtener niveles también apropiados; esto implica tener conocimientos del producto y del proceso*” (Garvin 2009:75). Así, una de las tareas de la empresa es transformar los requisitos de los clientes en características de calidad de los productos (Tari, 2000, Tari et al., 2007, Díaz et al., 2009, Yusoff et al., 2011 y Ballantyne et al., 2011), como las técnicas, las de oportunidad, las de servicio, de requisitos legales, de seguridad y las relacionadas con el cliente (Johansson et al., 2006 y Garvin, 2009), tal como se muestra en la Figura 1.4.

Figura 1.4. Características de calidad.



Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 1.4, el cumplimiento de las características, fija el nivel de calidad, en la presente investigación estos son los niveles que se aceptan, y que determinan si hay problemas. Su interpretación lleva a considerar, que se presentan problemas porque los niveles dejan mucho que desear debido a que los productos no cumplen las características especificadas. Considera, **la calidad afuera de la empresa** consistente en satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes y **calidad adentro de la empresa** fundamentada en cumplir con las especificaciones con la mínima variabilidad en torno a los valores establecidos. Los aportes recientes en el tema establecen que el concepto de calidad "de puertas adentro" plantea como objetivo básico minimizar los problemas de calidad asociados a las características del producto es decir, reducir la variabilidad.

Además, la calidad se asocia con el diseño, la conformidad y el desempeño (Vouri, 2009 y Bernillón and Cerutti, 2009 y He et al., 2010), expresada en cuatro categorías: 1) **calidad del costo o calidad del cliente**, calidad expresada por el cliente para satisfacer sus necesidades, se convierte la voz del cliente en características de calidad; 2) **Calidad especificada**, referida a la especificación de los diseños de ingeniería a partir de los cuales se desarrollan los productos, son las características de calidad que se constituyen en objetivos; 3) **Calidad robusta**, determinada por el diseño óptimo de funcionamiento de un producto o proceso, es la calidad protegida contra los factores de ruido y 4) **Calidad funcional**, confiabilidad de un producto, es la calidad de la función pretendida de un producto.

Pero, al tratar sobre características de calidad y variabilidad, es necesario reconocer la categorización de éstas desde la perspectiva de Taguchi (1992):

➤ **Características cuantificables**, las medibles en una escala continua así: **Nominal es la mejor** (valor objetivo), la característica tiene límites de especificación inferior y superior y el fin es alcanzar el valor objetivo situado entre los límites, la pérdida se incrementa a medida que la característica se aleja del valor nominal. **Menor es la mejor** (valor cero); en esta, la característica tiene un límite de especificación superior y el valor nominal es cero, la pérdida disminuye según la característica se aproxima a cero. **Mayor es la mejor** (valor infinito); la característica tiene un límite inferior de especificación y el objetivo es alcanzar

un valor tan grande como sea posible. De esta manera, el valor nominal es infinito, la pérdida disminuye cuando la característica crece.

Siendo así, es importante considerar que cuanto mayor sea la relación, el resultado será mejor, uno de los objetivos es afinar las características para lograr que el producto funcione consistentemente y sea relativamente insensible a factores difíciles de controlar, dependiendo de si la característica es del tipo la menor es la mejor, la mayor es la mejor o la nominal es la mejor (Wang, 2006; Jong et al., 2006 y Palanikumar, 2006, Aguwa et al., 2012, Li, 2013 y Couke, 2015).

➤ **Características por atributos**, son las no medibles en una escala continua, características no cuantificables numéricamente pero clasificadas en una escala graduada discreta, tales como: bueno, mejor, el mejor, conforme/no conforme, pasa/no pasa, funciona/no funciona, presente/ausente.

➤ **Características dinámicas**, son las que describen el comportamiento de un sistema cuando la magnitud a medir varía en el tiempo, dependen de varios factores de control y su respuesta depende de éstos y de los ajustes de los mismos.

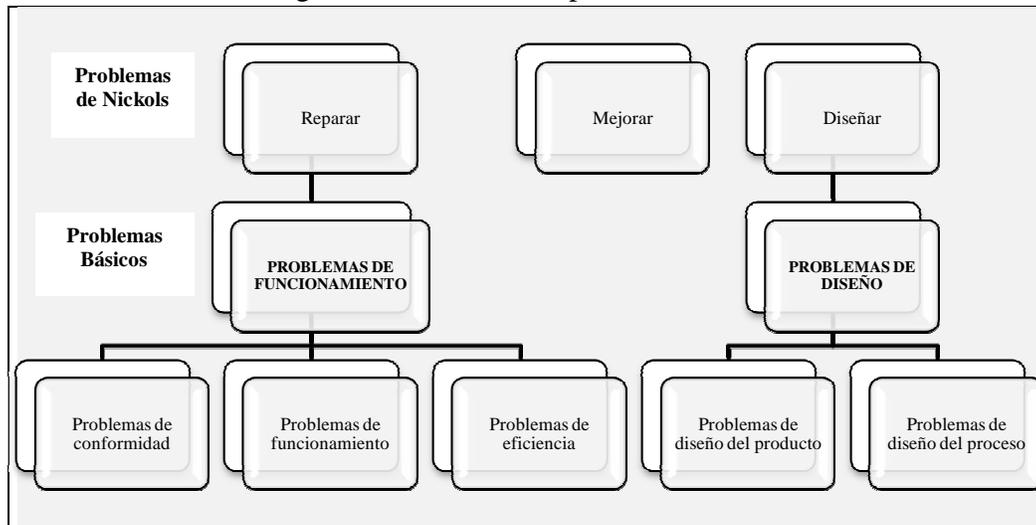
De este modo, tanto las características cuantificables, por atributos y dinámicas, se deben asegurar desde el origen, orientar al cliente de acuerdo a sus necesidades e integrar al producto dependiendo de la capacidad tecnológica y del grado de desarrollo de los procesos.

### 1.2.2. Problemas de calidad

Para la presente investigación, un problema de calidad es una situación indeseada que no puede solucionarse a menos que haya sido identificado. Smith (2000), plantea que ésta es la clave para la resolución, pues entre más rápido se reconozca, más fácilmente se podrá corregir y tendrá menos efectos graves.

En esta vía, Smith (2000), propone una taxonomía de los problemas de calidad, partiendo de la propuesta de Nickols (1996), identificando tres tipos: 1) **problemas de reparación**, por el mal funcionamiento del sistema llevándolo a su nivel de desempeño casi óptimo; 2) **problemas de mejoramiento**, con el fin de perfeccionar el sistema para que los objetivos de rendimiento sean alcanzados en ingeniería y 3) **problemas de diseño**, definiendo un nuevo sistema para diversas soluciones que satisfagan las metas planteadas de diseño; tal y como se presenta en la Figura 1.5.

Figura 1.5. Taxonomía problemas de calidad



Fuente: adaptado de Smith (2000)

Según la Figura 1.5, en el nivel superior se examinan las dificultades de reparación, mejoramiento y diseño. En el nivel medio se presentan los problemas denominados como básicos de funcionamiento y diseño, categorizados en cinco tipos: 1) de conformidad, 2) de funcionamiento, 3) de eficiencia, 4) de diseño del producto y 5) de diseño del proceso.

Un **problema de conformidad**, es una situación en la que un sistema compuesto por entradas, procesos y resultados estandarizados, se está desempeñando inaceptablemente, porque uno o más de los componentes se ha desviado, y los productos no son como deberían ser. Para la solución es necesario restablecerlo a su modo pretendido de partida a través del control de procesos.

Por otra parte, un **problema de funcionamiento**, es una situación en la que las actividades no están estandarizadas, por lo tanto, no se están realizando aceptablemente porque sus procedimientos o requisitos no están completamente especificados.

Igualmente, los **problemas de eficiencia**, son aquellos que involucran a las otras partes interesadas diferentes al cliente, se presenta porque las salidas del sistema no son aceptables y no se alcanzan las metas organizacionales. Se soluciona con aquellas situaciones en las que un nuevo sistema debe ser creado o uno ya existente debe ser revisado sustancialmente.

Otro tipo, son los **problemas del diseño del producto**, donde se requiere crear un sistema que satisfaga las necesidades del cliente. La clave está en la determinación de los requisitos del producto y la identificación de las respectivas necesidades del cliente.

Finalmente, los **problemas de diseño de procesos**, donde es necesario idear procesos que permitan alcanzar sus objetivos. Podría decirse que, si todos éstos se han diseñado correctamente, no habría inconveniente de ningún tipo.

La discusión crítica del tema, lleva a considerar que muchos de los problemas de funcionamiento parten de fallas desde el diseño, por lo que ambos tipos de problemas a menudo se mezclan. Así, las insuficiencias de ambos sólo se llegan a identificar como consecuencia de los problemas de funcionamiento. De esta manera, en los problemas de funcionamiento las tareas de reparación son su principal característica y en los de diseño las tareas de ingeniería.

Durante los últimos años, se ha fomentado mayor conciencia de la gestión de los procesos, desarrollando metodologías de diseño para reducir los costos de fabricación, asegurando que los requisitos de calidad se consigan desde la primera vez, para la disminución de los costos derivados de los problemas de calidad y producir mayor valor (Tannock et al., 2007; Clou and Wang, 2007, Chung et al., 2008 y Jaju et al., 2009).

Los problemas de calidad, evidencian la realidad de la empresa con respecto a la conformidad del producto y la satisfacción del cliente, alertan sobre las mejoras y cuál es la forma más económica de realizarlas. Es así, como se ejecutan actividades para reducirlos en el producto y en el proceso a fin de prevenir la mala calidad y sus efectos sobre la productividad y la pérdida de ventaja competitiva a largo plazo ((Niebles 2008, Camp 2009, Pan et al., 2011, Capizzi 2015).

Indiscutiblemente, los problemas de calidad existentes en las empresas, exigen la adopción de estrategias de mejoramiento que permitan alcanzar resultados positivos reflejados en la satisfacción de los clientes, entre otros. En este sentido, el control es de alto impacto por el aumento significativo de las características y los niveles de calidad de los productos y procesos. Su enfoque se basa primeramente en eliminar las causas de la “pobre” calidad y en hacer que el funcionamiento de los productos sea insensible a la variabilidad (Zapata, 2013).

En la presente investigación se abordan los problemas de calidad relacionados con fallos o características inadecuadas de los productos como consecuencia de debilidades en los procesos de control debido a la variabilidad (Ordoobadi, 2009, Azadeh and Miri-nargesi, 2012, Sahoo and Mohanty, 2013 y Jou et al., 2014).

### **1.2.3. Variabilidad**

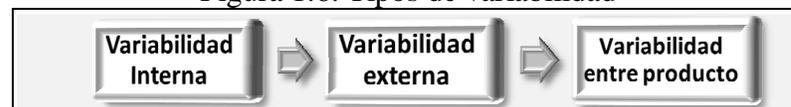
La variabilidad ha sido estudiada desde Shewart, (1921-1939) y más tarde con Taguchi (1986-1992), quienes propusieron el análisis de las causas que generan variabilidad en los productos, pues sólo de esta forma se tomarían medidas para minimizarla ((Neureuther, 2006, Gregorio and Cronemyr, 2011, Peng, 2012, Cosmin and Stanciuc, 2013).

La variabilidad, es entendida como la desviación de la composición realizada y la requerida del producto. Para la presente contribución, es importante considerar que un producto de calidad, es aquel que realiza sus funciones sin variabilidad, con el fin de cumplir los objetivos propuestos. De esta manera, se tiende a la mejora de la calidad del producto, minimizando el efecto de la variación y optimizando las características que varían en el tiempo (Pande et al., 2000, Cho and Kang, 2001, Duffuaa et al., 2004 y Zang et al., 2005).

La discusión crítica, lleva aceptar que frente a los efectos de la variabilidad es importante evaluar la situación con el fin de validar las ventajas en el entorno empresarial, donde es necesario competir a partir del fortalecimiento en costos, calidad y disponibilidad, como resultado de dichos efectos. Se reconoce que el concepto de variabilidad, aún no está totalmente inmerso en la industria, solo existe un acercamiento al control de la calidad (Zapata, 2013), a partir de la estandarización de sus operaciones. Es así, como las empresas realizan actividades como la planeación y diseño del producto (Pérez, 2004; Munro-Faure, 2004; Morris and Haigh, 2006 y Panera, 2006); el diseño del proceso de producción (Ferrer, 2004 y Pursglove and Dale, 2006), la producción en sí (Reeves and Bednar, 2004), la mercadotecnia y por supuesto las ventas (Kotler, 2007).

El diseño del producto, empieza con las necesidades del cliente y la mejora de calidad se aborda cuando el bien está en manos de los mismos clientes; los fabricantes se concentran en cómo lograr el objetivo y minimizar la variabilidad, los problemas y las pérdidas (Bisgaard, 2001; Bisgaard, 2002; Miller et al., 2003 y Phadke, 2009). Por supuesto, para que el diseño de productos sea efectivo, la calidad debe ser expresada en términos de la calidad funcional (Campanella, 2000 y Savage, 2006); por el incumplimiento se lleva a considerar la variabilidad, como se representa en la Figura 1.6.

Figura 1.6. Tipos de variabilidad

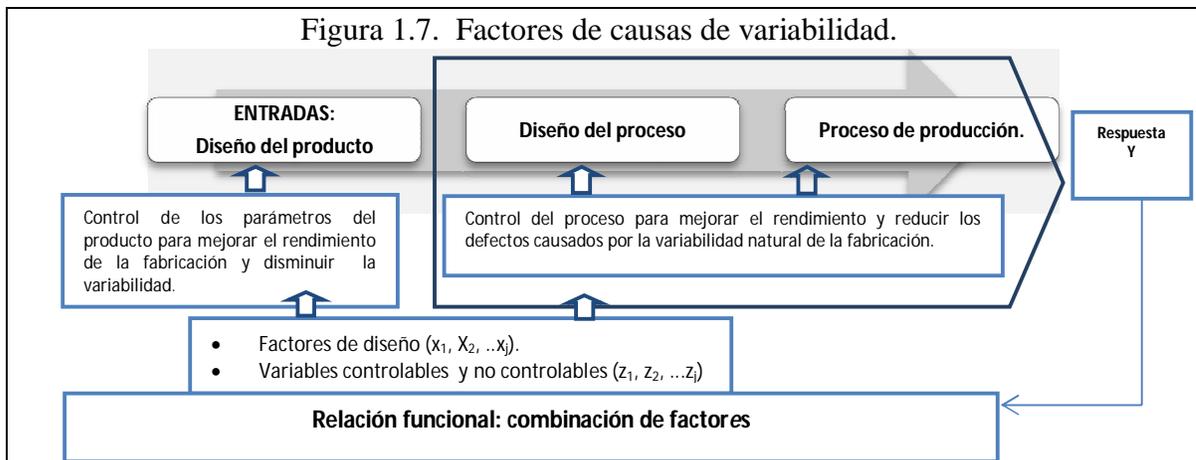


Fuente: elaboración propia

Según la Figura 1.6, la **variabilidad interna**, se presenta debido al envejecimiento y deterioro del producto, es un gasto de los componentes del mismo presentando variabilidad en las características (Ferrer, 2007 y Hao and Zhou, 2008), la **variabilidad externa**, se presenta durante el uso del producto debido a variaciones en las condiciones ambientales de utilización del mismo y a variaciones por errores humanos, y la **variabilidad entre productos**, se presenta debido a la capacidad de las máquinas y procesos de producción, son el resultado de las imperfecciones de la operación causando las variaciones entre productos que son manufacturados bajo especificaciones similares.

Estos tipos de variabilidad, llevan a la pérdida de las características del producto con respecto al valor objetivo (Miller et al., 2003, Ferrer, 2007, y Phadke, 2009), se requiere fabricarlos de manera que no se afecte por *“cualquier fenómeno que cause que una característica de calidad se desvíe de su objetivo, el cual subsecuentemente causa una pérdida de calidad”* (Millán, 2007:38). Es decir, que funcione de acuerdo con lo planeado, en las más diversas condiciones y durante el tiempo de vida para el que fue diseñado (Box; 2001; Leonard and Sasser, 2003; Jiang and Farr, 2007, Box and Jones, 2008; Ajaal and Smith 2008; Ballantyne, 2008 y Yusoff et al., 2010). A este enfoque se acoge la presente investigación, porque ofrece la mejor opción como práctica fundamental para el logro de resultados en el sector empresarial.

Así, dado que se pretende llegar a un óptimo, bastará con deducir cuál es la combinación de factores que garantizarán la calidad, este planteamiento se muestra en la Figura 1.7.



Fuente: elaboración a propia a partir de los aportes de Box (2001), Leonard and Sasser (2003), Box and Jones (2008), Ballantyne (2008), Ajaal and Smith (2008), Yusoff et al. (2010).

Según la Figura 1.7, un proceso o sistema puede ser representado con entradas tales como factores de diseño ( $X_1, X_2, \dots, X_j$ ); variables controlables y no controlables ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_j$ ); y la respuesta o salida del sistema ( $Y$ ). Una revisión de la literatura, lleva enunciar que la calidad es “*la respuesta de interés que recibe la influencia de diversas variables, donde el objetivo es optimizar o maximizar el rendimiento esperado de un proceso*” (Montgomery et al., 1994 y Montgomery, 2007:188), en función de los factores de diseño. Si se conoce la relación funcional, la calidad es un problema solucionable por métodos matemáticos. Pero en la práctica, representa una inversión importante en tiempo y dinero, de forma que será un objetivo fundamental el plantear estrategias que proporcionen la máxima información con el mínimo número de experimentos (Brocka and Brocka, 2002, Duffua et al, 2004, Hachicha et al., 2012, Park et al., 2012, Aljebory and Alshebeb, 2014 y Siddiqui et al., 2015).

Por otro lado, si la relación entre la respuesta y los factores fuera desconocida, esta podría deducirse mediante la experimentación; y si la realización de ésta no tuviera costo o fuera despreciable, no sería importante, se obtendría en variedad de condiciones de los factores de diseño. En este nivel de decisión, es necesario reconocer cual es la cadena para experimentar con los factores, con el objetivo alcanzar los resultados del diseño del producto y del proceso (Byrne and Taguchi, 2000; Miller et al., 2003; Villar, 2003; Webley and Cartwright, 2006; Miros and Dale, 2006; Montgomery, 2007; Azadeh et al., 2012; Ahmadzadeh et al. (2013); Aljebory and Alshebeb, 2014 y Woodall and Montgomery 2014).

No obstante, se enfatiza en la alta calidad para generar un producto lo menos variable ante los cambios; minimizando la pérdida debido a las condiciones no-óptimas. Es decir, “*categorizar el objetivo, según lo que se quiera obtener con la respuesta (minimizarla, maximizarla, valor nominal*” (Cruz et al., 2005:8).

En términos de la mejora, se recomienda analizar las respuestas, realizando la combinación de parámetros que maximicen o minimicen los factores de control utilizando una medida de

rendimiento para hacer frente a la variabilidad y maximizar la eficacia empresarial. Por tal razón, se plantea en esta Tesis Doctoral, la necesidad de abordar el tema de control en línea, como prerequisite fundamental hacia la calidad mediante la satisfacción del cliente.

Finalmente, en el contexto del hilo conductor, se reconoce que *“el objetivo es la reducción de la variabilidad, por ende, de los costos y tiempos en el diseño y desarrollo de productos; es así, como la mejora de la calidad se convierte en ganancia a través de una mayor uniformidad en el producto y en proceso”* (Zapata y Sarache, 2013).

### **1.3. Caracterización del sector de alimentos en Caldas.**

En Colombia el sector de alimentos comprende la elaboración de productos alimenticios y bebidas. Según el Dane, (2015), éste sector es el más representativo de la industria, es uno de los más dinámicos de acuerdo a su crecimiento de la producción real y por la contribución en la manufactura.

Cabe mencionar que el crecimiento de la industria a nivel regional ha disminuido (Banco de la Republica, 2015), durante el 2001-2015 registró una baja dinámica, su crecimiento promedio anual fue de 2,0%, inferior a la tasa reportada en el total nacional de 3,0%. No obstante, esto contrasta con el buen comportamiento del sector de alimentos en el departamento, cuyo valor agregado es la tercera parte del total, su aporte al PIB departamental es casi la mitad del aporte del sector manufacturero de Caldas, su aporte al PIB nacional es del 0,1%, es la segunda industria con mayor tasa de crecimiento con una tasa del 14.5% anual.

Las empresas de alimentos representan el 37.9% del total de las industrias manufactureras de Caldas exportando aproximadamente el 73.3%, y el 38% del valor agregado de la industria manufacturera de la región; da a entender el papel protagónico del sector (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2015). El Plan de Gobierno de Caldas 2012-2015 plantea proyectos para fortalecer las cadenas productivas de las empresas y promover la soberanía alimentaria para satisfacer las necesidades de la población, lo cual refuerza la idea de abordar proyectos orientados a mejorar los resultados competitivos de las empresas de la región y del país en diversas variables. Por la importancia del sector lácteo en el Departamento de Caldas y por la aplicación de la investigación en él, a continuación se presenta una breve caracterización del mismo.

#### **1.3.1. Caracterización del sector lácteos en Caldas**

Actualmente existen en Colombia 1067 establecimientos dedicados a la elaboración de productos lácteos, de los cuales el 95% lo constituyen las micro y pequeñas empresas. No obstante, el 93% de la producción de leche es procesada por las empresas de mayor tamaño. Por su parte, el gobierno trazó el objetivo de alcanzar una producción de 1,4 millones de toneladas de leche en el 2020, aumentando su producción en un 57% y así potenciar el perfil exportador del sector (Revista Alimentos, 2015).

En el Departamento de Caldas, el sector presenta poco crecimiento en los últimos años, debido a problemas en la comercialización, al incremento de los costos de producción, a la

baja productividad, a la estacionalidad en la oferta, a la disminución de precios al productor, los excedentes de inventario y desperdicio de la producción, a los altos costos en la distribución por la ineficiencia en la infraestructura, a las amenazas de nuevos competidores extranjeros con niveles de precios al consumidor inferiores y a los precios de leche en Colombia (Fedegan 2015 y Asoleche 2015).

Caldas cuenta con procesadoras como Alpina (Chinchiná), Celema, Meals de Colombia-Grupo Nutresa, Normandy, Centrolac, Multialimentos de Colombia - Inmalac, Quesos El Bueno, Lácteos Montealegre (Aranzazu), Prolacsa y Multilácteos (San Félix –Salamina), Quesos El Dorado (La Dorada), Quesos La Fortuna (Norcasia) y Pensilac (Pensilvania), las cuales en el 2015 aportaron el 7% de su valor agregado.

En la región, **Alpina Productos Alimenticios S.A.** es la empresa de derivados lácteos más importante, con presencia en Ecuador, Venezuela y Colombia. Su portafolio de productos, está conformado por quesos, bebidas, alimentación infantil, postres y dulces, alimentos funcionales y línea Finesse. Sus principales procesos son el descremado, ultrapasteurización, esterilización, tratamiento térmico, desaireación, homogenización, maduración, neutralización, desacidificación y batido, entre otros (ver Anexo C).

La empresa **Industrias Normandy** basa su producción en el procesamiento de yogurt, queso campesino y queso crema; gelatina, arequipe, panelitas y cocadas y la fabricación de arepas. Atiende el mercado de los refrescos lácteos, refrescos a base de jugos y arepas con queso. Actualmente cuenta con diversas líneas de producción: lácteos, arepas, dulcería, refrescos, postres y quesos (ver Anexo C).

La Central Lechera de Manizales **Celema**, es una empresa pasteurizadora de leche, en la actualidad para responder a los clientes implemento el Modelo de gestión orientado a la excelencia, para la mejora en procesos, infraestructura y tecnología. La diversidad de productos comprende leche pasteurizada, saborizada y larga vida, quesos, crema de leche, yogures, bebidas lácteas, arequipes, refrescos, gelatina y aguas (ver Anexo C).

**Centrolac**, es una empresa reconocida en el eje cafetero, por su servicio integral acorde a las necesidades del sector, constantemente está en la búsqueda de nuevas estrategias comerciales que permitan un crecimiento y mejora continua. Sus productos son leche entera pasteurizada y homogenizada, quesito campesino, queso cuajada, derivados y refrescos (ver Anexo C).

#### 1.4. Conclusiones parciales

Si bien es cierto, que existen métodos de reducción de la variabilidad desde los primeros estudios de Taguchi, en cuanto a un modelo integral, no ha sido relacionado según las fuentes publicadas en la literatura especializada. A partir de la revisión, se identificaron 23 estudios que comparten los métodos Taguchi para medir la variabilidad interna, cada uno de ellos con una serie de pasos analizados individualmente que no aportan significativamente a la mejora de la calidad, siendo ésta la contribución relevante al estado del arte.

Se demostró en el análisis de la literatura consultada y principalmente en el Anexo B, que no se encontraron trabajos que aporten métodos integrales y de igual forma, no se encontraron estudios que recogieran todos los pasos planteados. Lo anterior corrobora la existencia de un vacío de conocimiento que da sustento a la necesidad de diseñar un modelo integral con enfoque Taguchi.

De manera similar, es posible establecer que no existe una propuesta que totalice todo el conjunto de métodos y pasos identificados de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis. En su mayoría se centran en la predicción y la corrección mientras que el diagnóstico y ajuste y la medición y acción han sido escasamente considerados. En general, los métodos existentes no han sido utilizados integralmente por las empresas, solo responden parcialmente, que si bien permiten medir la variabilidad desde la perspectiva productiva, a nivel de región y país no son evidentes.

Es así, como los aportes teóricos apuntan adoptar lo que se ha denominado Modelo de control integral en línea con el objetivo de mejorar la función de calidad a través de la reducción de la variabilidad, resulta imperativo tomar en consideración los aportes que para tal fin están disponibles en la filosofía del mejoramiento continuo. Las contribuciones de otros autores, a partir de modificaciones propuestas por el autor de la presente tesis doctoral, se constituyen en una de las bases fundamentales para el desarrollo de la investigación. Lo importante es que sus objetivos fundamentales son ampliamente aplicables en el contexto empresarial, ya que la reducción de la variabilidad, es deseable en cualquier organización que aspire a competir con calidad en mercados de alta exigencia. La aplicabilidad de las bases teórico conceptuales detectadas en el análisis del "estado del arte y de la práctica", se sujeta, no sólo a las particularidades propias sino también a las políticas empresariales en que las que están inmersos.

El Modelo integral de control en línea, ofrece un conjunto de métodos pertinentes para los objetivos de la presente investigación, pues permite mejorar la calidad a partir de la comparación del desempeño, convirtiéndose en fuente importante de ideas de mejoramiento al interior de una organización.

En este sentido, se expone el desarrollo y aplicación de un modelo para resolver problemas de calidad debido a la variabilidad. Ésta se basa en las ventajas que ofrecen de manera individual las etapas antes mencionadas y despliega un conjunto de acciones organizadas y sistemáticas que conlleva a resultados favorables para el control de calidad.

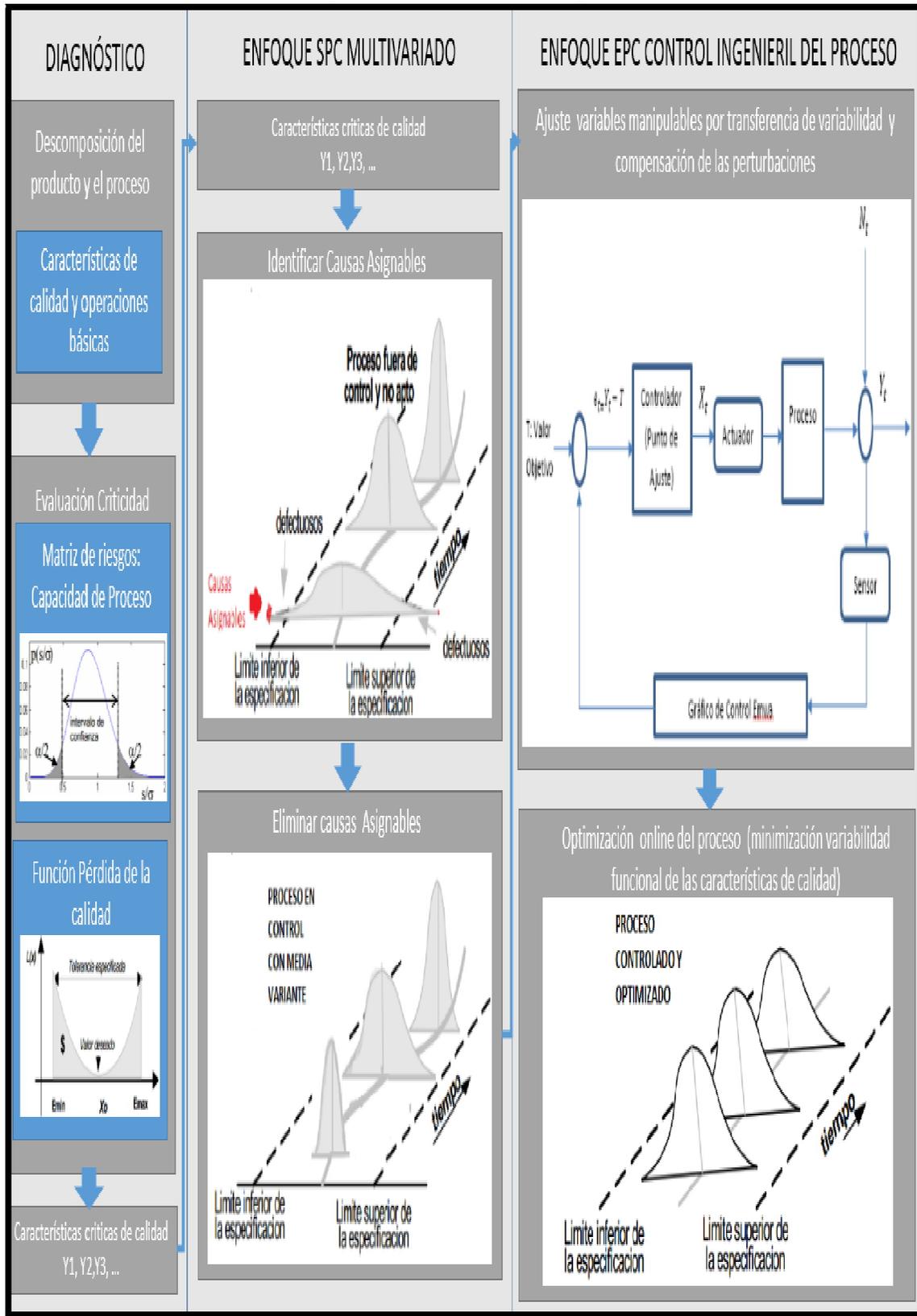
Por todo lo antes expuesto, el problema científico planteado en la indagación, por una parte, es de una elevada actualidad, importancia y pertinencia económico-social y por otra, el tema no resuelto en la literatura consultada, tanto desde un punto de vista científico-técnico como práctico en el entorno regional y particularmente en el colombiano. Para lo cual la presente exploración debe aportar una importante perspectiva teórica, con intervenciones prácticas concretas y viables en el sector de alimentos que deberá ser utilizada para validar la hipótesis general de la investigación derivada de la construcción del marco teórico-referencial de ésta tesis doctoral.

## **2. Capítulo 2. Diseño del Modelo integral de control en línea para disminución de la variabilidad.**

El objetivo de la presente investigación es el diseño de un Modelo integral de control en línea para disminuir la variabilidad, mediante una combinación de herramientas estadísticas de calidad que proporcionen la solución al problema de estudio planteado, partiendo de las necesidades del cliente, la estructura de la organización y las falencias del proceso.

A partir de los aportes de Taguchi (1992), Nickols (1996), Smith (2000), Haro (2000), Hubele et al. (2000), Pande et al. (2000), Montgomery (2001), Montgomery and Mostrangelo (2001), Barbiero (2003), Thornton (2003), Ferrer (2004), Tong et al. (2005), Nataraj (2005), Johansson (2006), Tannock (2007), Jiang and Farr (2007), Box et al. (2007), Chen (2007), Chou and Wang (2007), Chapra and Canale (2007), Kumar et al., (2009), Gras (2010), Correia et al., (2011), Arántegui (2011), Nieto (2012), Hachicha et al., (2012), Box et al., (2013), Zapata y Sarache (2013), Box et al., (2013), Rahim and Ed, (2014) y Trujillo et al., (2015); se propone el modelo de control en tres fases para la identificación e intervención de los problemas de calidad por variabilidad: 1) Diagnóstico y ajuste; 2) Predicción y corrección y 3) Medición y análisis. A continuación se presenta en las Figura 2.1, Figura 2.2. y Figura 2.3 el modelo conceptual, su dimensión y cada una de sus fases y etapas, respectivamente.

Figura 2.1. Modelo conceptual.



Fuente: elaboración propia a partir de los autores referenciados

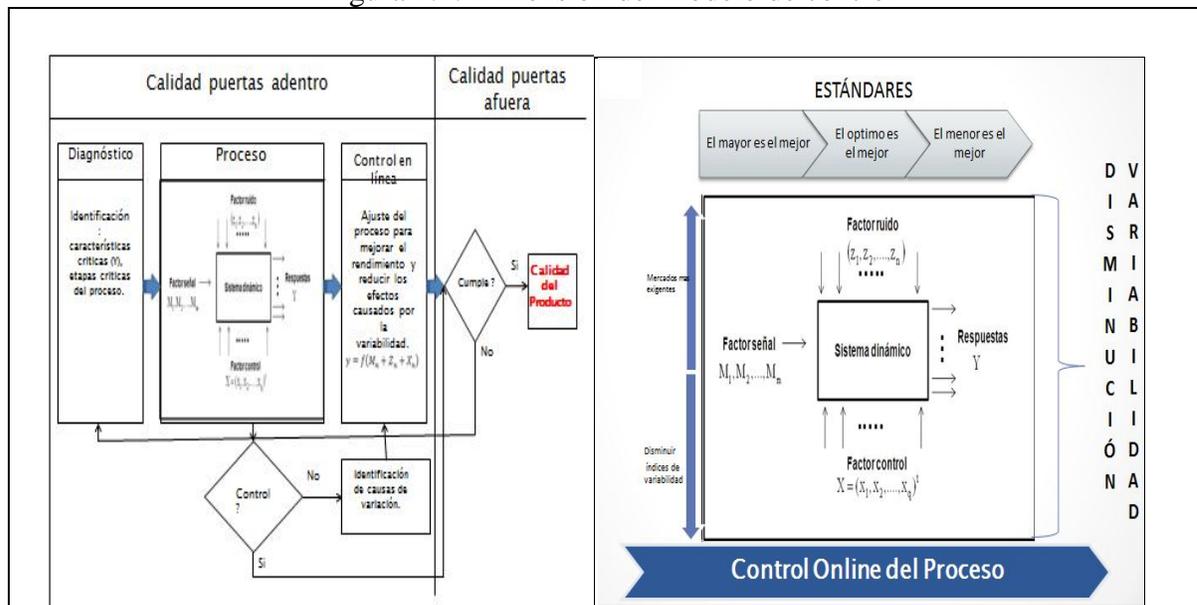
Según la Figura 2.1 en el modelo conceptual la Fase 1, **diagnóstico y ajuste**, está compuesta por dos etapas: 1) descomposición del producto y del proceso cuyo resultado es la identificación de sus características de calidad en las operaciones asociadas; la determinación de los problemas de calidad y la desviación de las características de las especificaciones deseadas y 2) evaluación de la criticidad de éstas características para determinar la capacidad del proceso. Adicionalmente, para cada característica por medio de la función de pérdida de la calidad se evalúan los costos por fallos internos. En esta fase, el primer factor determinante, es la matriz de variabilidad construida con las capacidades de procesos para cada característica y el segundo factor son los costos de variación.

La Fase 2, **predicción y corrección**, mediante el enfoque multivariado se desarrolla en dos etapas a partir de los factores determinantes de la fase 1: 1) identificación de las causas asignables, 2) la eliminación de estas causas para verificación del estado de control del proceso.

En el caso en el que el proceso esté fuera de control y no sea posible encontrar las causas asignables de variación para su eliminación, se va a la Fase 3 de **medición y análisis**, mediante el control ingenieril del proceso, compuesta por: 1) el ajuste por transferencia de variabilidad para el diseño del controlador, 2) ajuste de variables mediante la carta respectiva y validación del modelo como resultado de la optimización del proceso. En esta fase, para regular el proceso cuando las fuentes de variabilidad no pueden eliminarse en la fase 2, se utiliza el control en línea para minimizar las desviaciones de las salidas mejorando así el proceso.

Para mayor comprensión del enfoque conceptual, se presenta la Figura 2.2 de la dimensión del control en línea.

Figura 2.2. Dimensión del modelo de control

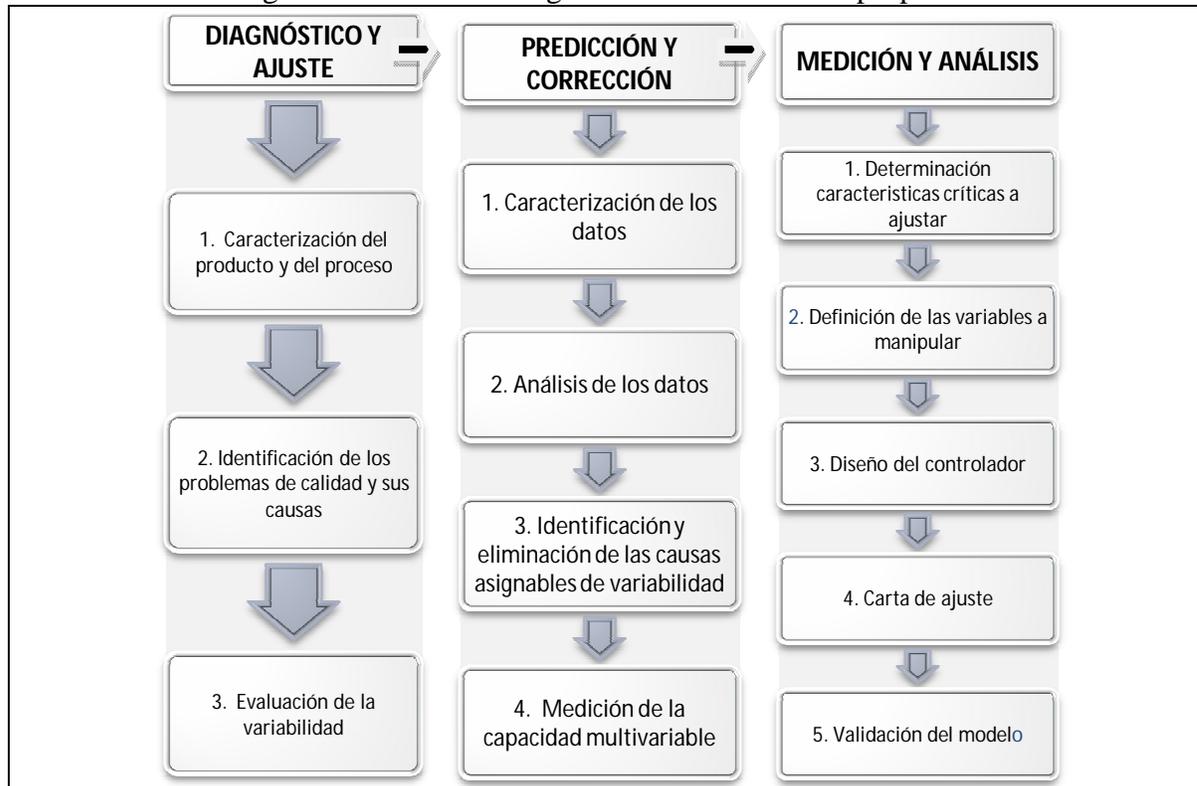


Fuente: elaboración propia a partir de los autores referenciados

Según la Figura 2.2. en la calidad puertas adentro se reconocen las tres fases. La 1) diagnóstico y ajuste cuyo resultado llevaría a un producto con el cumplimiento de las especificaciones objetivo cumplidas. La 2) de predicción y corrección nos plantea como consecuencia la evaluación del control del proceso, con dos posibles resultados así: si el proceso está en control igual que la fase anterior nos lleva a un producto que cumple las especificaciones y en el caso de no control inevitablemente nos lleva a la evaluación de la variabilidad. Determinada y disminuida ésta variabilidad en la fase 3) de medición y análisis, permitirá la calidad puertas afuera, es decir la entrega del producto con el cumplimiento de características para la satisfacción del cliente final.

A partir del modelo conceptual y la dimensión del control se presenta el Modelo integral de control en línea desde la función estadística respalda por la Figura 2.3, compuesta por una serie de procedimientos de las tres fases anteriormente enunciadas.

Figura 2.3. Modelo integral del control en línea propuesto

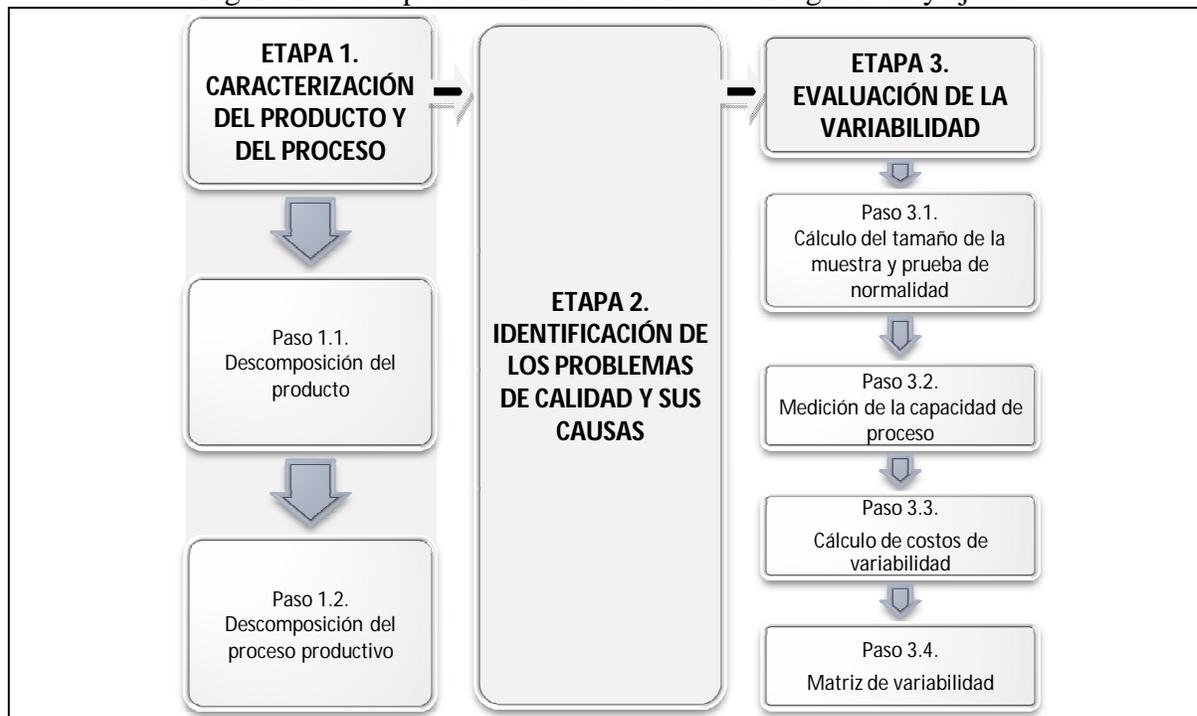


Fuente: elaboración propia

### 2.1. Fase 1: Diagnóstico y ajuste

El objetivo general de la fase de diagnóstico y ajuste es la caracterización del producto y del proceso, la identificación de los problemas de calidad y la evaluación de variabilidad, con el objetivo de determinar aquellas características críticas que deben ser controladas y mejoradas y la evaluación de costos de no calidad. Para el desarrollo de ésta fase, se plantea el subprocedimiento de la Figura 2.4.

Figura 2.4. Subprocedimiento de la fase de Diagnóstico y ajuste



Fuente: elaboración propia

### Etapa 1. Caracterización del producto y del proceso

El objetivo de ésta etapa es definir las características del producto y los parámetros de proceso sensibles a la variación y las tolerancias aceptables cuando se excede la variación permitida. Se realiza la descomposición del producto y del proceso, por lo tanto es importante la información total de éstos para evaluarlos integralmente.

#### Paso 1.1. Descomposición del producto

Se realiza la descripción del producto, sus componentes, subcomponentes y partes. Luego, se identifican de los requerimientos de calidad del producto traducidos en las características, las cuales por su variabilidad podrían tener un impacto en la seguridad, el costo, el cumplimiento y la satisfacción de los clientes. Para tal fin, se plantea la Matriz de caracterización del producto según la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Matriz de caracterización del producto.

MATRIZ DESCOMPOSICIÓN CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD									
↑ Max.	↓ Min.	• Objetivo							
Características de Calidad									
Requerimientos del Cliente		Importancia							
<b>Total</b>									
Especificaciones		Descripción*							
		Unidad							
		Valor hacia el que tiende el objetivo							
		LCL							
		UCL							
		Momento de la Medición (operación)							
Relaciones									
	5	Fuerte							
	3	Media							
	1	Debil							
		Ninguna							

Fuente: elaboración propia

La descomposición del producto en sus características lleva a la definición de la variación de los requisitos, es decir, la no conformidad con la especificación. Ésta descomposición facilita la identificación de las desviaciones, desde los valores objetivos y tolerancias.

### Paso 1.2. Descomposición del proceso productivo

La descomposición del proceso presenta su secuencia, todas las operaciones que generan características y sus límites de especificación. Para tal efecto, el proceso se divide en actividades de ensamble, subensamble, componentes y funciones como se presenta en la Matriz de caracterización del proceso productivo según la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Matriz de caracterización del proceso productivo

MATRIZ DE PLANEACION DEL PROCESO.									
			CADENA DEL PROCESO						
Partes Críticas y Características de las Partes	Valor Objetivo	Importancia							
<b>TOTAL</b>									
Relaciones									
	5	Fuerte							
	3	Media							
	1	Debil							
		Ninguna							

Fuente: elaboración propia

## Etapa 2. Identificación de los problemas de calidad y sus causas

Después de la caracterización del producto y del proceso, se realiza la identificación de los problemas de calidad. Para tal efecto, el Anexo D corresponde al instrumento aplicado en las empresas para valorar los aspectos de **funcionalidad** o grado de identificación de las características de calidad, parámetros de proceso, costos, proveedores, estandarización y causas de los problemas. Además, los de **gestión** para apreciar la documentación, las responsabilidades y funciones, la identificación de productos, proveedores y clientes. En los de **eficiencia** se estiman los costos, las inversiones, el sistema de calidad y producción y los clientes. Por último, **Diseño de producto y de procesos**, se evalúan las actividades de diseño, el nivel de integración con otras funciones, los tiempos, la eficacia y la eficiencia. Cada uno de los aspectos investigados se califican en una escala de 5: Muy alto a 1: Muy bajo. Por último se indaga sobre las razones para implementar el mejoramiento de los procesos y las técnicas utilizadas para tal fin.

## Etapa 3. Evaluación de la variabilidad

En esta etapa, la evaluación se hace mediante la Matriz de variabilidad (Paso 3.4 – Tabla 2.3) una vez identificada la capacidad del proceso y el costo de la variabilidad, con el fin de determinar las características críticas que deben ser controladas.

### Paso 3.1. Cálculo del tamaño de la muestra y prueba de normalidad

Para el tamaño de la muestra se utiliza la expresión 1 (Bautista et al., 2004 y Morales, 2012):

$$n = \frac{NZ^2P(1-P)}{(N-1)K^2 + Z^2P(1-P)} \quad (1)$$

Donde:

$n$  = tamaño de la muestra

$N$  = tamaño de la población

$Z$  = valor asociado al nivel de confianza

$P$  = proporción de la población que posee las características de interés

$K$  = error máximo admisible seleccionado para este estudio

El período de medición depende de las condiciones particulares de cada proceso. Para procesos continuos con períodos de producción largos, se determina de acuerdo a un tiempo representativo por experiencia y conocimiento total del mismo. Es así, como para la frecuencia de muestreo, se toman muestras en intervalos cortos.

La normalidad, se establece para cada característica de calidad ( $x_i \sim N(\mu, \sigma)$ ) según el test de normalidad de Kolmogorov Smirnov y se determina su significancia ( $p$ ,  $p$ -valor o  $p$ -value), mientras menor sea el valor de  $p$ , menor es la probabilidad de un error. El valor  $p$  debe ser igual o menor que el nivel de significación establecido ( $\alpha$ , probabilidad).

### Paso 3.2. Medición de la capacidad del proceso

En este paso se busca establecer para cada característica su capacidad de proceso, dependiendo de los límites de especificación y de la distribución normal  $x_t \sim N(\mu, \sigma)$ . Para el cálculo del índice de capacidad del proceso se emplea la expresión 2:

$$\hat{C}_{pm} = \frac{\hat{C}_p}{\sqrt{1+V^2}} ; \text{siendo: } \hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}} \text{ y } V = \frac{\bar{x}-t}{s}, \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2)$$

Donde:

$\hat{C}_{pm}$  = índice de capacidad de proceso.

$\hat{C}_p$  = índice de capacidad de proceso según límites especificados.

V = indicador de diferencia por descentramiento.

USL= límite superior de especificación exigible en el proceso.

LSL= límite inferior de especificación exigible en el proceso.

$\bar{x}$  = valor promedio de los datos, posición real del proceso (media).

t = valor requerido.

s = desviación estándar de la muestra.

$\hat{\sigma}$  = desviación estándar estimada de la población.

$\bar{R}$  = media de los rangos del subgrupo.

$d_2$  = constante para graficos de control.

El índice de capacidad debe ser superior a 1, valores inferiores implican que parte de la producción está fuera de las especificaciones y que los productos son no conformes según los requisitos o que pese a ser aceptables, implican un costo adicional. Para efectos del presente modelo, para cada característica se estima el índice de capacidad de proceso  $\hat{C}_{pm}$ , los cuales se adicionan a la matriz de variabilidad como factor para la determinación de las características críticas de calidad.

### Paso 3.3. Cálculo de costos de variabilidad

Los costos asociados a la variabilidad del producto corresponden a los costos de los productos rechazados en el proceso por exceso de variabilidad. Es decir, por la desviación de los valores objetivos de cada característica de calidad. Para la valoración de éstos se considera la función de pérdida de Taguchi, se especifica un valor medio de la característica y el intervalo de tolerancia alrededor de este valor. Se verifica la normalidad de las características y las tolerancias expresadas (límites especificados en el proceso), se calcula la pérdida promedio considerando ambos límites (bajo la suposición de que las características siguen una distribución de normalidad).

Así, la pérdida promedio  $P$ , se calcula con la ecuación 3:

$$P = K_{UCL} \int_{LCL}^M (Y - LCL)^2 d(Y) + K_{UCL} \int_M^{UCL} (Y - UCL)^2 d(Y) \text{ donde } K = \frac{P''(Y)}{n!} \quad (3)$$

Donde:

$P$  = pérdida generada por la diferencia entre  $Y$  y  $M$  (expresada en pesos).

$K$  = coeficiente de proporcionalidad de pérdida.  
 $n!$  = serie de Taylor, 1,2,3, ..., n.  
 $UCL$  = límite superior de especificación.  
 $LCL$  = límite inferior de especificación.  
 $M$  = valor nominal de la característica de calidad.  
 $Y$  = valor observado de la característica de calidad.

La pérdida de calidad, se calcula teniendo en cuenta los límites naturales del proceso y los límites aceptados por el cliente. Finalmente, los respectivos valores de la función de pérdida de cada característica se adicionan a la matriz de variabilidad como factor para la determinación de las características críticas de calidad.

**Paso 3.4. Elaboración de la Matriz de variabilidad**

Según la Tabla 2.3 la Matriz de variabilidad está conformada por: 1. Característica de calidad, 2. Índice de capacidad de proceso y 3. Costos asociados por la no calidad del producto.

Tabla 2.3. Matriz de variabilidad

#	1. Característica de Calidad	Grado de importancia (casita de la calidad)	Ponderación	2. Capacidad de Proceso	Ponderación	3. Pérdida por la no calidad	Ponderación	NPC (1x2x3)
---	------------------------------------	--	-------------	-------------------------------	-------------	------------------------------------	-------------	----------------

Fuente: Zapata y Trujillo

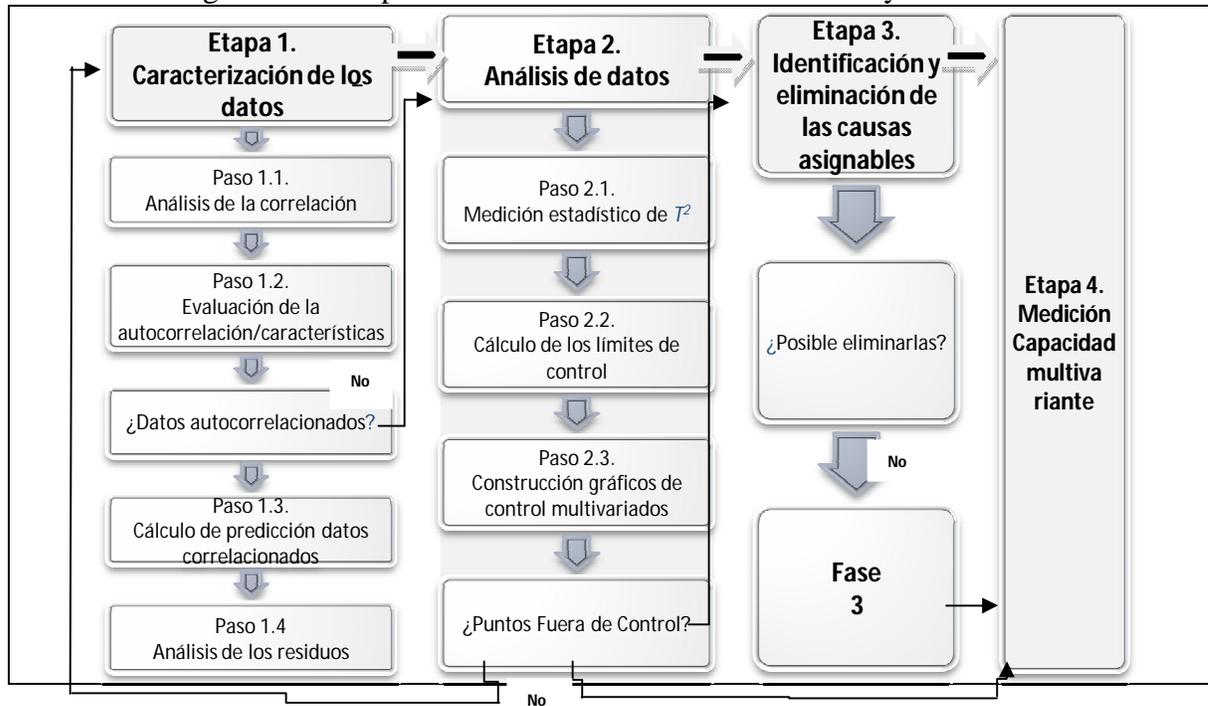
Debido a que cada una de las tres variables es medida respecto a estándares establecidos o de importancia, se califica su desempeño, siendo la ponderación final el producto de las tres ponderaciones (**NPC**: nivel potencial de criticidad = 1x2x3). Finalmente para la determinación de las características críticas, el criterio de selección corresponde a aquellas cuya  $NPC \geq 100$ , (Akao (2012)), por lo tanto son las que se deben controlar y mejorar.

**2.2. Fase 2: Predicción y corrección**

Ésta fase de predicción y correlación tiene como objetivo comprender el comportamiento del proceso según las características críticas encontradas en la Fase 1. Se desarrollan cuatro etapas tales como la caracterización de los datos, análisis de los datos, identificación y eliminación de las causas asignables y medición de la capacidad multivariante (control estadístico multivariado).

Si después de analizar los datos, el proceso no está en control se aplica la descomposición de  $T^2$  para la identificación de las características responsables de las señales fuera de control y se detallan las causas. Una vez el proceso esté en control, se inicia la etapa 2 para la verificación del estado, su capacidad y luego pasar a la 3. La independencia y la normalidad de los datos son restricciones para el control, por eso se verifican ambos supuestos. El subprocedimiento de la Fase 2 se muestra en la Figura 2.5.

Figura 2.5. Subprocedimiento de la fase de Predicción y corrección



Fuente: elaboración propia

### Etapa 1. Caracterización de los datos

Para efectos del modelo multivariado, se toman los datos de la Fase 1 y se parte del supuesto de que es la primera vez que se utilizan gráficos de control para observaciones individuales, cada observación tomada representa una muestra.

En esta etapa se determinan las mediciones para cada característica a partir del estadístico  $T^2$ , basados en: 1) la normalidad (los datos tienen una función de probabilidad normal), 2) el grado de correlación entre las diferentes variables y 3) la independencia (un valor presente no es influenciado por su valor pasado y no afectará los valores futuros). Por lo tanto, se realizan las pruebas de normalidad, correlación y auto correlación a cada una de las características.

#### Paso 1.1. Análisis de la correlación

La presencia de correlación entre las características justifica el modelo de control, ya que dicha dependencia puede generar señales fuera de control que no son detectadas al monitorearlas de manera individual.

Para el análisis, se plantea el coeficiente de correlación ( ), que indica el grado o intensidad de asociación entre cada par de variables, dado por la expresión 4:

$$\frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

Donde:

$r$  = coeficiente de correlación, varia ente ( $-1 \leq r \leq +1$ )

$SP_{XY}$  = suma de productos de  $X$  con  $Y$

$SC_X$  = suma de cuadrados de  $X$

$SC_Y$  = suma de cuadrados de  $Y$

Para cada par de características, se aplica la prueba de correlación de una cola, con un intervalo de confianza del 95% ( $\alpha=0,05$ ), en la cual  $p$  es la correlación entre las dos características: si  $p \leq 0,05$  no existe correlación significativa entre las dos características, o si  $p > 0,05$ , existe correlación entre el par de características. Esto significa que, si  $r=-1$ , la asociación es perfecta pero inversa; es decir, a valores altos de una característica le corresponde valores bajos a la otra, y viceversa, con  $r=+1$ , la asociación es perfecta pero directa. Si  $r=0$ , no existe asociación entre las dos. A medida que  $r$  se aproxime a  $\pm 1$  la asociación es mayor, y cuando más se aproxima a cero la asociación disminuye o desaparece. Así, para cada par de características se calcula el coeficiente de correlación y el supuesto de dependencia entre variables, para la construcción de los graficos multivariados sólo se cumple si más de dos características presentan cierto grado correlación cercano a  $\pm 1$ .

### **Paso 1.2. Evaluación de la autocorrelación para cada una de las características de calidad**

Como los datos del proceso pueden presentar autocorrelación, se aumenta la posibilidad que se presenten falsas alarmas o que no se identifiquen las señales fuera de control. Por lo tanto, se realiza la medición del nivel de autocorrelación en una serie de observaciones con una orientación en el tiempo según la expresión 5:

$$\rho_k = \frac{Cov(x_t, x_{t-k})}{V(x_t)} \quad (5)$$

Donde  $Cov(x_t, x_{t-k})$ , corresponde la covarianza de las observaciones que están separadas  $k$  períodos de tiempo, se ha supuesto que las observaciones tienen varianza constante dada por  $V(x_t)$ . Por lo general los valores de  $\rho_k$  se estiman con la función de autocorrelación muestral de la expresión 6:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}, \quad k = 0, 1, \dots, K \quad (6)$$

Por regla general, se calculan los valores de  $r_k$  para unos cuantos valores de  $k$ ,  $k \leq n/4$ . De esta forma, para cada característica crítica se define la función de autocorrelación muestral. Para eliminarla, se calcula y grafica la función de autocorrelación ( $r_k$ ), se ajusta con series de tiempo (con parámetros de un gráfico de control robusto). Por lo tanto, en el presente modelo, sólo se aplica la predicción a aquellas características que presentan autocorrelación en los datos.

### Paso 1.3. Cálculo de predicción Emwa para datos correlacionados

Con el fin de eliminar la autocorrelación de las características de calidad y satisfacer el supuesto de independencia de los gráficos de control, se utiliza el procedimiento de EMWA aproximado para datos correlacionados (Montgomery and Mostrangelo, (2001); Montgomery, (2007,2009)), mediante la integración del modelo de pronósticos ARIMA con el gráfico de control de promedios móviles ponderados EMWA. Se supone entonces, que el proceso puede modelarse como promedio móvil integrado de primer orden como se expresa en la ecuación 7:

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t - \Theta \varepsilon_{t-1} \quad (7)$$

Si  $\hat{x}_{t+1}(t)$  es el pronóstico para la observación en el período  $t + 1$  que se hace al final del período  $t$ , entonces; se obtiene la expresión 8:

$$\hat{x}_{t+1}(t) = z_t \quad (8)$$

Donde  $z_t = \lambda z_t + (1 - \lambda)z_{t-1}$  es el estadístico EMWA, el cual debe calcularse para cada medición  $x$  hecha en el tiempo  $t$  e igualmente se asume que en  $t = 0$ , el valor de  $z_0$  es el valor objetivo. Siendo  $0 < \lambda \leq 1$ , la constante de suavizamiento de la carta de control EMWA, Montgomery, (2007, 2009) demuestra que  $\lambda = 1 - \Theta$ , es el pronóstico óptimo del paso siguiente de este proceso.

Una vez hallados los pronósticos a partir del estadístico EMWA, los residuos se pueden obtener restando la observación con el valor predicho en el tiempo  $t$ , como en la ecuación 9:

$$e_t = x_t - \hat{x}_t(t - 1) \quad (9)$$

Para obtener un excelente predictor del EMWA y disminuir la probabilidad de encontrar autocorrelación en los residuos, se debe hallar el valor apropiado del parámetro  $\lambda$  que minimice la suma de los cuadrados de los errores  $e_t$  (Montgomery, 2009).

### Paso 1.4 Análisis de los residuos

Los residuos o errores de predicción, deben cumplir el supuesto de independencia para usarlos en la estimación de los parámetros y construcción del gráfico de control multivariado  $T^2$ , de lo contrario es necesario volver al paso 1.3 para modificar el modelo de predicción.

Para la verificación de la incorrelación de los datos se grafican los errores de predicción Emwa del paso siguiente (o residuales del modelo) en una carta de control univariada y si no hay puntos fuera de control se asegura la eliminación de la autocorrelación.

## Etapa 2. Análisis de datos $T^2$ Hotelling

En la caracterización de los datos se asume que si ninguna característica analizada en la etapa anterior (paso 1.2), presentó autocorrelación o si después de haber aplicado el procedimiento Emwa-Arima, los datos quedaron incorrelacionados, entonces, la construcción del gráfico de control multivariado se realiza con los datos originales sin presencia de autocorrelación o los residuos incorrelacionados. Éste análisis de datos se realiza con las mediciones Hotelling, cálculos de los límites de control para la construcción del gráfico de control y determinar si hay puntos fuera de control para ajustar el proceso (Hotelling, 1947 y Murphy, 1987).

### Paso 2.1. Medición estadístico de $T^2$ Hotelling

Para la construcción del gráfico de control  $T^2$ , el tamaño del subgrupo es  $n=1$ . Para características múltiples se establece  $T^2$  para  $m$  muestras de tamaño  $n=1$  y  $p$  características, según la ecuación 10:

$$T^2 = (\bar{x} - \bar{\bar{x}})' S^{-1} (\bar{x} - \bar{\bar{x}}); \text{ siendo } \bar{\bar{x}} = (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_p)^T \quad (10)$$

Donde:

$x$  = vector de las observaciones registradas para cada una de las  $p$  características.

$\bar{x}$  = vector de la media de cada una de las  $p$  características.

$S$  = matriz de covarianza muestral.

El primer término se calcula como el vector transpuesto de la diferencia entre cada observación de la característica  $p$  y su media, el segundo corresponde a la matriz inversa de la covarianza y el tercer es el vector la diferencia entre cada observación de la característica  $p$  y su media.

Para el caso de las observaciones individuales corresponde la matriz de covarianza, se realiza a través de dos estimadores que son comparados con el fin de inferir cuál es más sensible ante cambios en la media. El primer estimador  $S_1$ , se obtiene mediante la agrupación de las  $m$  observaciones según la ecuación 11 (Montgomery, 2007):

$$S_1 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}). (x_i - \bar{x})' \quad (11)$$

El segundo estimador  $S_2$ , establece la diferencia entre pares de observaciones sucesivas según la expresión 12 (Montgomery, 2007):

$$S_2 = \frac{1}{2} \frac{VV'}{(m-1)} \quad (12)$$

Donde  $V$  es el vector conformado por las diferencias entre dos observaciones sucesivas correspondientes a cada una de las  $p$  características.

### Paso 2.2. Cálculo de los límites de control

Los límites de control son empleados: 1) para establecer una medida del proceso a partir del análisis de datos preliminares (gráficos de control por primera vez) y 2) para monitorear la producción después del primer gráfico. Como los gráficos de control se hacen por primera vez el cálculo de los límites se realizaron en la Fase 1 para probar si el proceso se encontraba bajo control.

Para el caso de las observaciones individuales, los límites de la Fase 1 se basaron en una distribución Beta, como alternativa más precisa para el logro del objetivo tal como se señala en la ecuación 13:

$$UCL = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} \text{ y } LCL = 0 \quad (13)$$

Para hallar el valor de la distribución Beta con los parámetros establecidos; se propone la expresión 14 en función de una distribución  $F$ :

$$\beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} = \frac{\frac{p}{m-p-1} F_{\alpha, p, (m-p-1)}}{1 + \frac{p}{m-p-1} F_{\alpha, p, (m-p-1)}} \quad (14)$$

Donde:

$p$  = número de características.

$m$  = número de observaciones individuales.

Los puntos por fuera de control se identifican cuando  $T^2 > UCL$ .

En la segunda fase, el gráfico de control se usa para monitorear la producción futura, los límites de control se calculan según la ecuación 15:

$$UCL = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad \text{y} \quad LCL = 0 \quad (15)$$

Como resultado de este proceso se obtiene un gráfico de control que permite detectar patrones, tendencias y puntos atípicos en las variables relacionadas.

### Paso 2.3. Construcción gráficos de control multivariados

A partir de los cálculos del estadístico  $T^2$  y los límites de control, se construyen los gráficos multivariados  $T^2(S_1)$  y  $T^2(S_2)$  de los estimadores calculados en el paso 2.1. En el gráfico  $T^2(S_1)$  se presentan los resultados para las características o residuos, calculando el estadístico  $T^2$  a partir del estimador de la matriz de covarianza  $S_1$ . En el gráfico  $T^2(S_2)$  se presentan los resultados para las características y/o errores de predicción, calculando el estadístico  $T^2$  a partir del estimador de la matriz de covarianza  $S_2$ .

Una vez realizados los gráficos, se determina el estado del proceso (si está o no en control). Si está en control, si no hay causas asignables de variación se realiza la etapa 4 y se determina la estabilidad del proceso (Ferrer, 2004). Si no está en control, es necesario pasar

a la etapa 3 para identificar las causas asignables de variación. Existen tres formas para tratar los puntos fuera de los límites de control:

1. Si uno o dos puntos están fuera de los límites de control y la causa se puede encontrar y eliminar, se construye de nuevo el gráfico de control multivariado.
2. Si hay uno o dos puntos están fuera de los límites de control, pero las causas no se pueden encontrar, o los motivos se pueden encontrar pero no pueden ser eliminados, no se eliminarán las causas asignables.
3. Si tres o más puntos están fuera de los límites de control, indica que el proceso está fuera de control, de esta forma se deben encontrar los problemas y resolverlos; luego volver a la etapa 1 y recolectar los datos del proceso.

### **Etapa 3. Identificación y eliminación de las causas asignables de variabilidad: descomposición estadístico $T^2$ de Hotelling**

En esta etapa se identifican las variables que generan las señales fuera de control según los gráficos multivariados y se analizan las posibles causas. Se descompone el estadístico  $T^2$  en  $p$  componentes, cada uno de los cuales se compara contra el estadístico total, con el objetivo de identificar la señal fuera del límite establecido.

Así, si  $T^2$  es el valor actual del estadístico y  $T_{(i)}^2$  es el valor del estadístico para todas las variables del proceso con excepción de la  $i$ -ésima, entonces se sugiere la ecuación 16:

$$d_i = T^2 - T_{(i)}^2 \quad (16)$$

Donde:

$T_{(i)}^2$  = estadístico  $T^2$  calculado para las  $p$  características, omitiendo la característica  $i$ , indicador de la contribución relativa de la  $i$ -ésima variable al estadístico global.

Cuando se genera una señal fuera de control, se calculan los valores de  $d_i$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ), se centra la atención en las características para las cuales el valor de la diferencia entre los dos estadísticos  $d_i$  es relativamente grande. Para esto, se estandarizan las variables con el fin de obtener cantidades adimensionales, en las cuales no influya la magnitud ni las unidades, que son diferentes entre las características. Para tal fin se usa la expresión 17 de estandarización de observaciones individuales (Montgomery 2007):

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (17)$$

Donde:

$x_{ij}$  = observación  $i$  de la característica  $j$ .

$\bar{x}_j$  = media de las observaciones de la característica  $j$ .

$s_j$  = varianza de las observaciones para la característica  $j$ .

Una vez identificadas las características fuera de control, se estudian las causas de variación presentadas en el proceso durante el período de medición. Para la eliminación de las causas asignables, sí los resultados indican que sólo hay máximo dos puntos fuera de control y sus

causas fueron identificadas y eliminadas, se realiza nuevamente el gráfico de control multivariado (etapa 3), de lo contrario se regresa a la etapa 1 y se inicia nuevamente el análisis para detectar señales fuera de control e identificar las causas de variación hasta que el proceso esté controlado. En caso que el proceso este en control, se calcula la capacidad del proceso y se continua con la Fase 3. Si no se encuentra ninguna causa conocida, se pasa a la Fase 3 y se implementa el control integral para ajustar el proceso.

#### Etapa 4. Medición capacidad multivariante

Con el proceso en control, se evalúa su capacidad multivariante. Se calcula el índice de capacidad multivariante, definido como el cociente de áreas ( $p=2$ ) o volúmenes ( $p>2$ ) de la zona de tolerancia y la zona de control. De esta manera el primer componente denominado  $C_{pM}$  se define por la expresión 18:

$$C_{pM} = \left[ \frac{Vol(Region\ de\ Tolerancia)}{Vol(Region\ de\ Proceso\ Modificada)} \right]^{1/p} \quad y \quad C_{pM} = \left[ \frac{\prod_{i=1}^p (UCL_i - LCL_i)}{\prod_{i=1}^p (UCL_i - LCL_i)} \right]^{1/p} \quad (18)$$

La región de tolerancia está conformada por los límites de especificacion según los requisitos. La región de proceso modificada se considera con los límites modificados, los cuales se hallan teniendo en cuenta la contribución a la variación de cada una de las características, como se plantea con la ecuación 19:

$$LSL_i = \mu_i + \sqrt{\frac{\chi_{(p,\alpha)}^2 \det(S_i^{-1})}{\det(S^{-1})}} \quad y \quad LCL_i = \mu_i - \sqrt{\frac{\chi_{(p,\alpha)}^2 \det(S_i^{-1})}{\det(S^{-1})}} \quad (19)$$

Donde:

$LSL$  = límite superior de control modificado.

$LCL$  = límite inferior de control modificado.

$\chi_{(p,\alpha)}^2$  = estadístico de la distribución  $\chi^2$  con un nivel  $\alpha$  de significancia y  $p$  grados de libertad.

$p$  = número de características.

$S_i$  = matriz de varianzas y covarianzas obtenida mediante la eliminación de la  $j$ -ésima columna y la  $i$ -ésima fila de la matriz  $S$ .

$S_i^{-1}$  = matriz inversa de  $S_i$

$\det(S^{-1})$  = determinante de la matriz  $S$

$\det(S_i^{-1})$  = determinante de la matriz  $S_i^{-1}$

$C_{pM} > 1$ , indica que el volumen de la región de tolerancia es superior al volumen conformado por la región de control, lo cual es indicio de una buena capacidad de proceso.

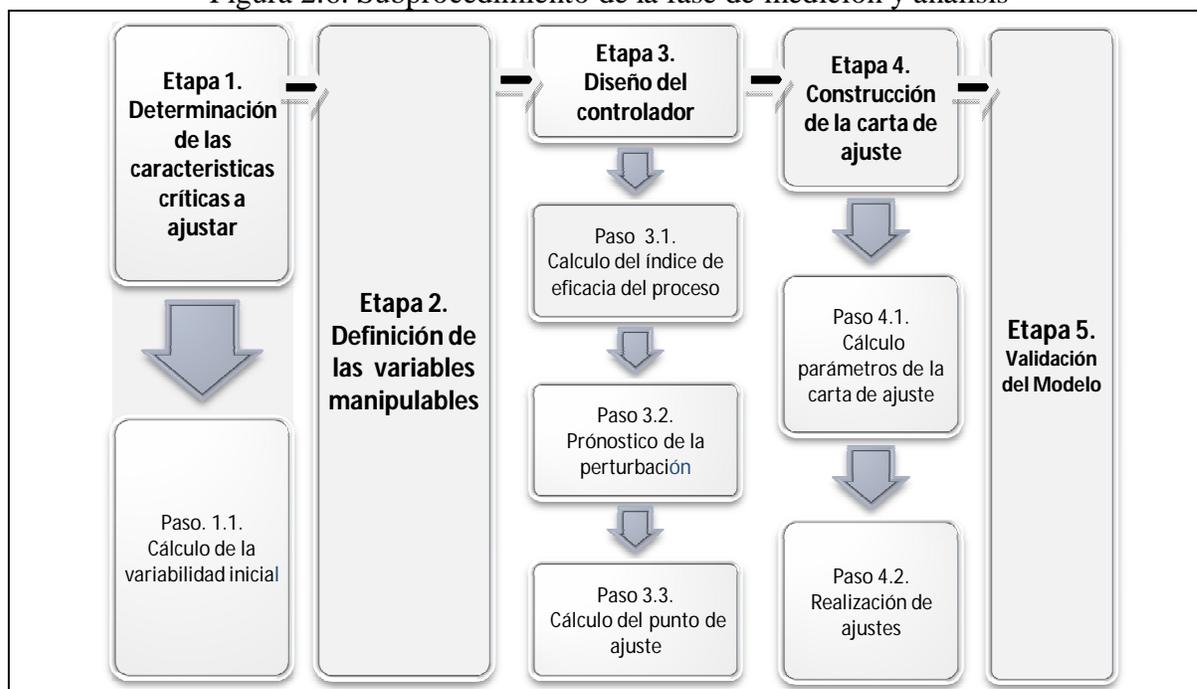
Con el proceso con capacidad y controlado, se pasa al control en línea (de ajuste), utilizando los resultados de la Fase 2 sobre su nivel de funcionamiento o su desviación del objetivo deseado.

### 2.3. Fase 3: Medición y análisis

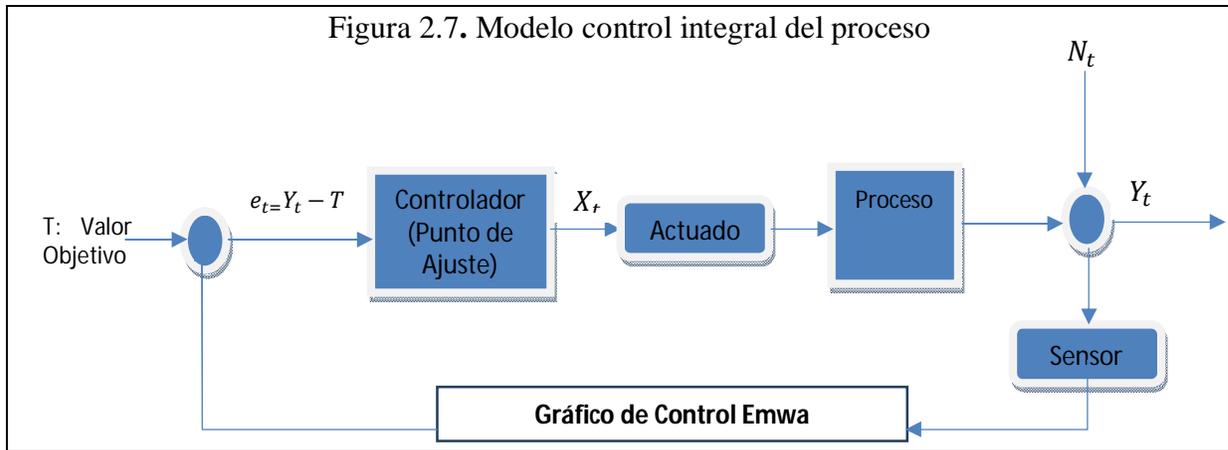
Con la medición y análisis, se regula el proceso para minimizar la variabilidad que no puede eliminarse en la fase anterior. El control integral del proceso no elimina las causas asignables sino que controla las causas comunes de variación, estima la perturbación de la salida mediante el control de las variables de entrada para cancelar su efecto y reducir la variabilidad. Se supone que el proceso es dinámico, relaciona la entrada y la salida, para aplicar el ajuste en las entradas y reducir la variabilidad de la salida.

En esta fase, se aplica el control integral mediante la determinación de las características críticas y las variables manipulables que afectan la salida, el diseño del controlador para monitoreo de las características y construcción de la carta de ajuste y finalmente validar el modelo. El subprocedimiento se describe en la Figura 2.6, y el control ingenieril la Figura 2.7.

Figura 2.6. Subprocedimiento de la fase de medición y análisis



Fuente: elaboración propia



Fuente: Zapata y Trujillo

Según Arántegui, (2011); en el control integral de procesos se identifican las siguientes variables:

- **Variable controlada:** es el parámetro más importante del proceso, debiéndose mantener estable (sin cambios), pues su variación alteraría las condiciones requeridas en el sistema, su monitoreo a través de un sensor es una condición importante para dar inicio al control.
- **Variable manipulable:** elementos o parámetros del proceso que se pueden modificar, a través de los cuales se deben corregir las perturbaciones del proceso, colocándose un actuador para lograr estabilizar el sistema.
- **Perturbaciones:** entradas al proceso que no pueden ser controladas pero que deben tener un valor fijo en el proceso.
- **Consigna (set point, valor objetivo):** es el valor deseado de la variable a controlar, puede ser constante o variar con el tiempo.

Los principales elementos físicos que hacen parte de un sistema de control son:

- **Instrumentos de medida o sensores:** son los elementos de control encargados de medir las perturbaciones, las variables controladas, etc. Son las fuentes de información de cómo va el proceso, siendo usados para lectura e indicación y otros para transformar la variable medida en una señal, la cual se dirige hacia la entrada del controlador para ser comparada con el valor de referencia o “set point” determinando el error y la acción de control.
- **Controlador:** recibe las señales de los sensores, es decir los desvíos existentes entre el valor medido y el valor deseado o “set point”, programado por un operador; emitiendo una señal de corrección hacia el actuador.
- **Actuador:** dispositivo físico que lleva a cabo la decisión del controlador, tienen por función alterar el valor de la variable manipulada con el fin de corregir o limitar la desviación del valor controlado, respecto al valor deseado.

Según la figura 2.7, el control se realiza mediante un dispositivo de ajuste para las variables manipulables, interviniendo en línea las características, a partir de la relación entrada-salida

y la estimación de las perturbaciones frente al objetivo deseado, mediante el modelo de predicción Emwa (Montgomery, 2009). Los supuestos de autocorrelación y normalidad quedan resueltos al utilizar el modelo Emwa-Arima; puesto que se transfiere la perturbación de las salidas a las variables manipulables del proceso mediante de ajuste (Emwa con las series de tiempo para pronósticos, promedio móvil ponderado de todas las observaciones pasadas y actuales, en alto grado insensible al supuesto de normalidad).

También se utiliza un actuador que hace parte del proceso productivo, que realiza el ajuste a la variable manipulable dependiendo del punto de ajuste del controlador y un sensor que determina el valor de la característica (variable controlada) y de los gráficos de control Emwa con las cuales se monitorea y determina la cantidad de ajustes necesarios.

La **estabilidad del controlador** es la característica del sistema que hace que la variable vuelva al punto de señal después de una perturbación. Se define de la siguiente manera: un controlador es estable si, ante cualquier entrada acotada en un intervalo cualquiera de tiempo, la salida también está acotada. La estabilidad, así definida, se conoce como estabilidad BIBO (Bounded-Input-Bounded-Output). Si un controlador es estable, entonces el sistema no puede "explotar", es decir, ante una entrada finita la salida del sistema no puede tender a infinito en un intervalo todo lo amplio que se quiera.

Matemáticamente, esto significa que para que un sistema lineal causal continuo en el tiempo sea estable, todos los polos de su función de transferencia deben estar situados en la mitad izquierda del plano complejo si se usa la transformada de Laplace. Es decir, su parte real debe ser menor o igual que cero o estar en la frontera o el interior del círculo de radio unidad si se usa la transformada Z, es decir, su módulo debe ser igual o menor que la unidad.

En ambos casos, si el polo tiene parte real estrictamente menor que cero o el módulo es estrictamente menor que uno, es asintóticamente estable. Las variables de un sistema asintóticamente estable siempre disminuyen su valor inicial (salvo por el transitorio inicial) y no muestran oscilaciones permanentes, que sí aparecen cuando el polo tiene parte real exactamente igual a cero o bien el módulo igual a uno. En este último caso se dice que el sistema es *simplemente estable*. Un sistema estable (o simplemente estable) que nunca decrece ni crece con el tiempo, y no presenta oscilaciones, es marginalmente estable: en este caso tiene polos con componente real nula y componente compleja nula. Si existen polos con parte real nula pero parte imaginaria distinta de cero, aparecen oscilaciones (Hincapié, 2006).

Finalmente para validar el modelo de control se comparan las desviaciones obtenidas antes y después de su aplicación, así como la función de autocorrelación para cada característica. Cabe anotar, que para cada característica que se necesite o desee controlar, se realizan las etapas de la 1 a la 5.

## **Etapa 1. Determinación de las características críticas a ajustar**

Como en el proceso existen causas comunes que deben ser vigiladas, se emplea el control integral para obtener una mayor observación y reducción en la variabilidad, debido a las características responsables de señales por los antecedentes de éstas en el control estadístico multivariado.

### **Paso 1.1. Cálculo de la variabilidad inicial**

Una vez eliminadas las causas asignables de variación, se calcula la variabilidad inicial de la(s) característica(s) responsable(s) identificada(s) en la fase 2, a partir de la ecuación 20:

$$V = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - T)^2 \quad (20)$$

Donde:

V = variabilidad

$y_t$  = desviación del proceso respecto al objetivo de desempeño

T = objetivo de desempeño

n = número de corridas.

## **Etapa 2. Definición de las variables manipulables**

En el control integral la variable manipulable es el parámetro a través del cual se corrigen las perturbaciones del proceso, colocándose un actuador para estabilizar el sistema. Las variables a ajustar son aquellas que tienen un actuador dinámico o automático, por lo tanto, se identifican las principales variables implicadas en las salidas y se decide cuales son las más adecuadas para intervenir.

## **Etapa 3. Diseño del controlador**

Con el control integral, se modela el proceso de fabricación como un sistema de entrada - salida en la que las variables de entrada se manipulan (o ajustan) para contrarrestar las perturbaciones incontrolables y mantener las salidas en el objetivo deseado disminuyendo así su variabilidad. Las variables de salidas son las mediciones de las características críticas del producto final que necesitan ser controladas. Las perturbaciones o factores ruido se controlan mediante el ajuste de las variables de entrada, por lo tanto se requiere un modelo que relacione las entradas y salidas del proceso.

### **Paso 3.1. Cálculo del índice de eficacia del proceso**

Sí la característica de interés de la salida del proceso en el período de tiempo  $t$  es  $y_t$ , y se desea mantener  $y_t$  tan cerca como sea posible de un objetivo  $T$ ; el proceso debe tener una variable manipulable  $x$ , un cambio en ésta variable genera su efecto en  $y$ , como se plantea con la ecuación 21:

$$y_{t+1} - T = IEx_t \quad (21)$$

Donde:

$IE$  = índice de eficacia del proceso (relaciona la magnitud de un cambio en  $x_t$  con un cambio en  $y_t$ ). Es así, como en este paso se hace el análisis de regresión de la característica (variable dependiente) en relación a las variables manipulables (variables independientes).

Éste índice de eficacia, explica la dependencia entre la variable respuesta o dependiente ( $Y$ ) y la(s) variable(s) explicativa(s) ( $X$ ). Su finalidad es la determinación de la relación funcional entre las variables con fines de predicción y la comprensión de las interrelaciones entre las variables, como se plantea con la ecuación 22:

$$Y = m(x_1 + x_2, \dots, x_k) + r \quad (22)$$

Donde:

$Y$  = variable respuesta (dependiente)

$m$  = función de regresión

$r$  = residuos del modelo (errores de observación, incompatibilidad del modelo)

Según el número de variables explicativas, el modelo puede ser de regresión simple o múltiple, y uno de los supuestos sobre la función de regresión, es que representa una relación lineal de los datos, según la ecuación 23:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + r \quad (23)$$

Aunque la regresión lineal es para ajustar mejor los datos de la relación entre las variables dependiente e independiente, éste no es siempre el caso. Por lo tanto, el primer paso es graficar e inspeccionarlos para tener seguridad de la mejor relación entre ellos. Entonces, se realiza una estimación curvilínea para la variable manipulable en relación con la característica. Con el coeficiente de determinación  $R^2$ , se plantea sí el modelo lineal es superior a 0,5 que representa un alto grado de relación entre la variable  $x_1$  y la característica  $y$ , de lo contrario es necesario realizar una linealización de los datos.

### Paso 3.2. Pronóstico de la perturbación

En un proceso normal, si no se hace ningún ajuste, el proceso se desvía apartándose del objetivo de acuerdo con lo planteado en la ecuación 24:

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} \quad (24)$$

Donde  $N_{t+1}$  es la perturbación, representada como un modelo de series de tiempo bajo Emwa-Arima, según la ecuación 25:

$$\hat{N}_{t+1} = \hat{N}_t + \lambda(N_t - \hat{N}_{t+1}) = \hat{N}_t + r \quad (25)$$

Donde:

$r = N_t - \hat{N}_T =$  error de predicción en el período  $t$  y  $0 < \lambda \leq 1$  es el factor de ponderación de Emwa. Este supuesto, es equivalente a que el proceso no esta controlado, está desviado de acuerdo con el modelo de promedio movil integrado (es decir con la ecuación 7).

Con el fin de estimar el valor más preciso de  $\lambda$ , se escoge un valor inicial en un intervalo  $0 < \lambda \leq 1$ , si se desea encontrar el valor óptimo se utiliza el modelo de predicción Emwa-Arima y el método de minimos cuadrados, empleado en la Fase 2 para quitar la autocorrelación de los datos.

### Paso 3.3. Cálculo del punto de ajuste

Teniendo en cuenta el índice de eficacia y el pronóstico de las perturbaciones en el tiempo  $t$ , se ajusta el proceso según ecuación 26:

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} + IEx_t \quad (26)$$

Según la ecuación, en el tiempo  $(t + 1)$  la desviación de la salida del objetivo depende de la perturbación en el período  $(t + 1)$  más el nivel  $x_t$  en el que se ajusta la variable manipulable en el período  $t$ . Por lo tanto,  $x_t$  se ajusta de tal modo que se cancele exactamente la perturbación. Sin embargo,  $N_{t+1}$  no se conoce en el período  $t$ ,  $N_{t+1}$  puede pronosticarse con  $\hat{N}_{t+1}$  utilizando la ecuación 27 para el modelo Emwa-Arima así:

$$y_{t+1} - T = e_{t+1} + \hat{N}_{t+1} + IEx_t \text{ con } e_{t+1} = N_{t+1} - \hat{N}_{t+1} \quad (27)$$

En la ecuación 27, si  $IEx_t = -N_{t+1}$  o si el punto de ajuste  $x_t = -\left(1/IEx_t\right)\hat{N}_{t+1}$ , se cancela la perturbación, y en el período  $t + 1$  la desviación de la salida respecto al objetivo es  $y_{t+1} - T = r_{t+1}$ , donde  $e_{t+1}$  es el error de predicción en el período  $t$ ; es decir  $e_{t+1} = N_{t+1} - \hat{N}_{t+1}$ . El ajuste real de la variable manipulable en el tiempo  $t$ ; se hace según la ecuación 28:

$$x_t - x_{t-1} = -\frac{1}{IEx_t}(\hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t) \quad (28)$$

Y la diferencia de las dos predicciones Emwa  $\hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t$  se presenta según la ecuación 29:

$$\hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t = \lambda N_t - \lambda \hat{N}_t = \lambda(N_t - \hat{N}_t) = \lambda r_t \quad (29)$$

Y el error real en el tiempo  $t$ ,  $r_t$ , es la diferencia entre la salida y el objetivo, expresado en la ecuación 30:

$$\hat{N}_{t+1} - \hat{N}_t = \lambda(y_t - T) \quad (30)$$

Por lo tanto, el ajuste en la variable manipulable en el período de tiempo  $t$ , se hace según la ecuación 31:

$$x_t - x_{t-1} = -\frac{\lambda}{IEx_t} r_t \quad (31)$$

Y el punto de ajuste real de la variable manipulable al final del período  $t$  es la suma de todos los ajuste a través del tiempo  $t$ , según la ecuación 32:

$$x_t = \sum_{j=1}^t (x_j - x_{j-1}) = -\frac{\lambda}{IE x_t} \sum_{j=1}^t r_j \quad (32)$$

Así, el nivel de la variable manipulable es igual a la suma ponderada de todas las desviaciones actuales y previas del proceso respecto del objetivo.

#### **Etapa 4. Construcción de la carta de ajuste**

La retroalimentación de la Etapa 3 se implementa de manera automática; esto implica la combinación de sensores o dispositivos de medición, un dispositivo lógico o una computadora para realizar los ajustes de las variables manipulables  $x$ . Cuando el control integral o el ajuste de retroalimentación se implementan de ésta manera, se denomina control automático de procesos.

Sin embargo, en la mayoría de los procesos industriales éste no es el caso y los ajustes por lo general se hacen manualmente. Para subsanar esta situación por la ausencia de dispositivos electrónicos para el control integral, se propone una carta de ajuste manual, para el monitoreo continuo del mismo. Esta carta se construye con los parámetros del modelo de predicción y control Emwa-Arima para observar la desviación de la salida respecto al objetivo, se ingresan los valores a la carta, se calcula la magnitud del ajuste (en caso de ser necesario) aplicando las ecuaciones de la Etapa 3, se lleva  $x_t$  a su nuevo punto de ajuste.

#### **Paso 4.1. Cálculo parámetros de la carta de ajuste**

El ajuste se realiza únicamente en los períodos en los que los que el pronóstico Emwa esté fuera de las cotas dadas por  $\pm L$ . El valor del límite  $L$  se determina tomando en consideración los costos de estar fuera del objetivo y el costo de realizar un ajuste. Sin embargo, los valores de  $L$  se establecen con base en datos históricos.

Los valores  $\pm L$ , son construidos a partir de la desviación promedio de los valores de las salidas no ajustadas frente al objetivo deseado. El factor  $L$  es la anchura de los límites de control del gráfico Emwa por lo que la desviación estándar del Emwa se analiza con la ecuación 33:

$$\hat{\sigma}_{EMWA} = \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \hat{\sigma}_{proceso\ no\ ajustado} \quad (33)$$

Donde los límites de control para un Emwa son ligeramente menores a tres sigma (los valores usuales son 2.6, 2.7, 2.8), de esta forma  $L$  es equivalente al número de desviaciones Emwa calculado.

Así, los datos de entrada para la carta de ajuste son: el valor objetivo de la característica, el valor de la constante  $\lambda$  hallado en el paso 3.2 (pronóstico de la perturbación), los datos de la característica para construir el gráfico de control multivariado en la fase 2, los cuales son las salidas del proceso no ajustado y el índice de eficacia del proceso que muestra la relación entre la característica y la variable manipulable.

Para comprobar la efectividad del modelo, se calcula la desviación de las salidas del proceso no ajustado frente al objetivo deseado, se grafican las salidas del proceso no ajustadas y los valores de predicción de Ewma calculados con las ecuaciones del paso 3.2 (pronóstico de la perturbación), porque sólo se hace un ajuste a la variable manipulable cuando el Emwa exceda los valores de  $\pm L$ .

#### **Paso 4.2. Realización de ajustes**

Establecidos los parámetros de la carta de ajuste, se empieza con la medición de las observaciones de las salidas del proceso para el período de ajuste. Cabe anotar que la frecuencia del muestreo es la utilizada en la Fase 2. Así, para la primera observación el cálculo del pronóstico de Emwa es el valor objetivo deseado, para las siguientes observaciones el cálculo del Emwa se realiza mediante la ecuación 34:

$$z_t = \lambda x_t + (1 - \lambda)z_{t-1} \quad (34)$$

Y sólo cuando en el período anterior ( $t - 1$ ) se haya hecho un ajuste, el valor del Emwa en el período  $t$  debe ser como se indica en la ecuación 35:

$$z_t = \lambda x_t + (1 - \lambda)\mu_0 \quad (35)$$

Donde  $\mu_0$  es el valor del objetivo deseado para la característica. De esta manera, si el valor del Emwa excede los límites  $\pm L$ , el ajuste se calcula como se establece en el modelo de control integral de acuerdo a la ecuación 31 del paso 3.3 (punto de ajuste), realizándose un cambio en la variable manipulable respecto al ajuste anterior, apreciando el efecto del ajuste en el siguiente período.

#### **Etapa 5. Validación del modelo**

En el modelo propuesto se debe realizar una evaluación de la variabilidad final de todo el proceso y debe contrastarse con la estimada en el análisis de los resultados del mismo. Una vez finalizado el período de medición y realizado los ajustes, con la gráfica de la variable de salida original no ajustada, la salida ajustada, los pronósticos Emwa y los ajustes reales del proceso, se calcula la efectividad del modelo propuesto, computando el porcentaje de variación entre la variabilidad inicial y final, aplicando de nuevo la ecuación 20. El cambio porcentual en la variación se mide mediante la ecuación 36:

$$\Delta V = \frac{V_i - V_f}{V_i} \times 100 \quad (36)$$

Donde  $V_i$  y  $V_f$  corresponden a la variación inicial y final respectivamente.

El cambio porcentual debe ser suficiente para considerar el modelo como válido, en caso contrario deberá reconsiderarse si bien las aproximaciones de las fases no son válidas, el proceso no se ha monitorizado adecuadamente o si se han desestimado factores.

### **Las limitaciones y aportaciones de los tres métodos se indican a continuación:**

Teóricamente las **limitaciones reconocidas en la Fase 1: Diagnóstico y ajuste y en la Etapa 1. Caracterización del producto y del proceso** corresponde a la descomposición del producto y del proceso, por falta de la información total de éstos para evaluarlos integralmente. En la **Etapa 2. Identificación de los problemas de calidad y sus causas** por parte de las empresas, se considera limitante por una definición no objetiva de los problemas. **En el Paso 3.1. Cálculo del tamaño de la muestra y prueba de normalidad** porque el período de medición depende de las condiciones particulares de cada proceso; si el proceso es continuo el período de producción podría ser largo y difícil, además la determinación del tiempo representativo depende de la experiencia y conocimiento total del mismo. **En el Paso 3.3. Cálculo de costos de variabilidad** dado la suposición de que las características siguen una distribución de normalidad y por el manejo confidencial de la información de costos.

**Las aportaciones en la Fase 1: Diagnóstico y ajuste** corresponde a la evaluación de variabilidad, la definición de la variación de los requisitos, es decir, la no conformidad con la especificación. Ésta descomposición facilita la identificación de las desviaciones, desde los valores objetivos y tolerancias.

**Las limitaciones reconocidas en la Fase 2. Predicción y corrección**, la independencia y la normalidad de los datos son restricciones para el control, por eso se deben verificar ambos supuestos. En la **Etapa 1. Caracterización de los datos** se considera limitación porque se parte del supuesto de que es la primera vez que se utilizan gráficos de control. En el **Paso 1.2. Evaluación de la autocorrelación para cada una de las características de calidad** como los datos del proceso pueden presentar autocorrelación, se aumenta la posibilidad que se presenten falsas alarmas o que no se identifiquen las señales fuera de control. En el **Paso 1.4. Análisis de los residuos**, éstos deben cumplir el supuesto de independencia para usarlos en la estimación de los parámetros y construcción del gráfico de control multivariado  $T^2$ . En la **Etapa 2. Análisis de datos  $T^2$  Hotelling** por el supuesto de que ninguna característica analizada presenta autocorrelación.

**Las aportaciones en la Fase de Predicción y corrección** corresponde a la definición del comportamiento del proceso según las características críticas encontradas por la caracterización de los datos, análisis de los datos, identificación y eliminación de las causas asignables y medición de la capacidad multivariante (control estadístico multivariado), justificando el modelo de control.

**Las limitaciones reconocidas en la Fase 3. Medición y acción** corresponden a los supuestos de autocorrelación y normalidad al utilizar el modelo Emwa-Arima; puesto que se transfiere la perturbación de las salidas a las variables manipulables del proceso

mediante de ajuste. En el **Paso 3.1. Cálculo del índice de eficacia del proceso**, aunque la regresión lineal es para ajustar mejor los datos de la relación entre las variables dependiente e independiente, éste no es siempre el caso, se debe tener la seguridad de la mejor relación entre ellos, de lo contrario es necesario realizar una linealización de los datos.

En esta etapa es importante delimitar el alcance el modelo, el cual excluye el diseño del controlador por recursos (economicos/tiempo) factores de peso empresarial, ya que éste es una solución altamente compleja y computacionalmente costosa y que no es de fácil aplicación en contextos reales de la manufactura.

El concepto que se maneja es el siguiente: una vez que se tiene una representación dinámica del proceso sin el control, es necesario definir un criterio de calidad para la respuesta del proceso controlado. En otras palabras se debe decidir la forma en que se desea que se comporte el proceso con el controlador instalado. La forma usual de definir un criterio de comportamiento es en base a la respuesta al avance; comparando la respuesta del proceso con la que idealmente se podría obtener y que es lógicamente un avance. La diferencia entre este avance ideal de respuesta y la respuesta actual se define como el error  $e(t)$ . Un criterio de comportamiento muy usado por la simplicidad de su verificación es el llamado “razón de amortiguamiento. Al especificar la razón de amortiguamiento se pretende garantizar un adecuado margen de estabilidad y al mismo tiempo asegurar que las variaciones de la variable controlada serán despreciables prácticamente después del cuarto ciclo de oscilación.

**La gran aportación de la Fase de Medición y acción**, es la normalización del proceso para minimizar la variabilidad que no puede eliminarse, el control de las causas comunes de variación, la estimación de la perturbación de la salida mediante el control de las variables de entrada para cancelar su efecto y reducir la variabilidad.

La combinación del Diagnóstico y ajuste + Predicción y corección + Medición y acción y conociendo las limitaciones y aportes, el modelo queda estructurado (subprocedimientos) de tal forma que permite realizar la evaluación de la variabilidad final de todo el proceso que debe contrastarse con la estimada, cuyo cambio porcentual debe ser lo suficiente para considerar el modelo como válido.

## 2.4. Conclusiones parciales

El cumplimiento de las características de calidad implica el aseguramiento de las operaciones con miras a reducir su variabilidad funcional. En aproximación a la literatura especializada, la variabilidad funcional se puede definir como la desviación de las características de calidad del producto respecto a un valor objetivo. Dada la complejidad de los procesos de manufactura, es necesario centrar la atención en las características críticas de calidad. A pesar de la importancia que implica el control basado en las características críticas de calidad, algunos enfoques de corte cualitativo no ofrecen las métricas adecuadas para un apropiado control; en contraste, los enfoques de corte cuantitativo, proponen soluciones altamente complejas y computacionalmente costosas que no son de fácil aplicación en contextos reales de la manufactura.

Es así, como el Modelo integral de control en línea propuesto pretende llenar el vacío de conocimiento detectado en el Marco Teórico-referencial, dado que integra los métodos de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis. Modelo éste que integra y aprovecha las ventajas de tres enfoques, usualmente aplicados en forma independiente, para mejorar la calidad de los productos reduciendo su variabilidad. Se resaltan los enfoques para abordar problemas de variabilidad; sin embargo, por su robustez prevalecen fundamentalmente los siguientes: la función de pérdida de la calidad, el control estadístico multivariante de procesos y el control ingenieril de procesos. La función de calidad, permite calcular los costos asociados a la mala calidad, es decir, aquellos debido a la desviación de las características de calidad frente a su valor objetivo. El control estadístico multivariante permite identificar e intervenir las causas asignables de variación (p.e. errores humanos, fallos mecánicos, materiales defectuosos, etc.). Por su parte, el control ingenieril permite reducir la variabilidad funcional mediante el ajuste de las causas comunes (p.e. temperatura, tiempo, caudal, algunas perturbaciones menores, etc.).

Es así, como el estudio de la variabilidad en el presente modelo, está asociado a los conceptos de costos de calidad y el cálculo de los mismos, que conducen a un método de costeo que pueda utilizarse para tasar el ahorro esperable en el proceso por la disminución de la misma, aumentando la satisfacción del cliente y la productividad empresarial.

Por lo tanto, el diseño del modelo es el proceso más importante en esta investigación que garantiza el desarrollo del trabajo de campo, simular los resultados y plantear las actividades de mejora y elegir las más prácticas y seguras; establecer la capacidad del proceso para lograr los beneficios deseados y reducir la variabilidad en las industrias y en otros entornos.

Para el desarrollo del modelo es necesario que se cumplan las hipótesis de normalidad, de independencia y de linealidad entre variables para garantizar que dicho modelo sea **válido** para el objeto de estudio planteado y **capaz** de explicar y estimar los efectos de las mejoras del proceso y **efectivo** sí el error es suficientemente bajo.

Además, también es necesario que se conozcan las interrelaciones y secuencias de las etapas del modelo, de tal forma que la propuesta sea lo más cercana posible a la realidad empresarial. Es indispensable que se comprenda cabalmente porque así permite visualizar asertivamente las limitaciones y beneficios del mismo.

En este sentido, el presente modelo expone el desarrollo y aplicación de etapas para resolver problemas de calidad debido a la variabilidad. Ésta se basa en las ventajas que ofrecen de manera individual los enfoques antes mencionados y despliega un conjunto de acciones integradas, organizadas y sistemáticas que conlleva a resultados favorables para el control en línea.

### **3. Capítulo 3. Resultados en dos empresas piloto.**

Con base en todos los planteamientos expuestos anteriormente en esta Tesis doctoral, en el presente capítulo se muestran las fases detalladas de la aplicación del modelo general propuesto en dos empresas piloto, **su alcance corresponde a la industria Láctea inmersa en el sector de alimentos.**

Como contribución, se ha diseñado un modelo, compuesto de fases con sus etapas específicas con el objetivo de disminuir la variabilidad. Se partió de la propuesta conceptual representada en las Figuras 2.1, 2.2 y 2.3, en las cuales se establecieron procedimientos claves para el diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y análisis y mejora. En este sentido, se sugieren y precisan las actividades generadoras de control en línea para normalizar el proceso.

Por tanto, en esta investigación se establece, con base en las evidencias teórico-prácticas encontradas, que para lograr la disminución de la variabilidad, es necesario: identificar las bases conceptuales para la construcción del Modelo integral de control en línea para la disminución de la variabilidad y abordar la solución del problema de investigación planteado, determinar los métodos estadísticos necesarios que respalden la integración de las técnicas de diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis con miras a afirmar la hipótesis de la investigación.

Las generalidades de la **empresa piloto uno**, llevan a considerar una pasteurizadora de la ciudad de Manizales, que decidió convertir un producto de alto riesgo para la salud de los consumidores en uno totalmente sano mediante equipos y maquinaria moderna, pasteurizando leche proveniente de los alrededores de la ciudad.

Dio inicio a la expansión de la línea de productos a la planta de quesillo, en la búsqueda del aprovechamiento de la leche ácida y la buena calidad de la grasa, valiéndose de las condiciones climáticas favorables de la zona para la producción de éste tipo con el fin de atender las necesidades de los consumidores.

En los últimos años, comenzó un proceso de cambio y ampliación en la estructura física, lo que permitió la tecnificación de los procesos tradicionales, renovando notablemente sus condiciones de infraestructura, la implementación del sistema de tanques de enfriamiento para leche y la mejora de los sistemas de transporte, para brindar mayor comodidad al proveedor y optimizar las condiciones de llegada de la materia prima a la planta.

En su diversificación, facilitó iniciación de la producción de otras bebidas con altos estándares de producción con el fin de atender las necesidades de los consumidores de otros departamentos. De igual manera comienza la elaboración nuevas maquilas que los consolida como una empresa de carácter internacional, abriendo puertas para próximas negociaciones con empresas a nivel mundial mediante su portafolio de productos y de creación de valor, que les permitirá diferenciarse de la competencia, en su línea de yogures, bebidas y refrescos, Kumis, quesos (maduros, semimaduros y frescos), mantequilla, arequipe, postres y dulces, crema de leche y leches pasteurizada, saborizada y deslactosada dada la solicitud expresa de los clientes y consumidores.

En la actualidad su nueva y moderna planta de procesamiento y empaçado, le permite su diversificación a la altura de las mejores compañías lácteas del mundo, consciente del constante avance de los procesos que garanticen productos más confiables, más higiénicos y más prácticos, respaldados por su certificación ISO 9001 otorgada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec), como un paso importante para el crecimiento de la compañía ya que se cuenta con estándares de calidad internacionales.

Hoy, en su proceso de cambio organizacional inició la implementación de la Planeación Estratégica (Core business, innovación, internacionalización y modelo corporativo), modelo de endeudamiento a través de la estructuración de bonos a largo plazo y de gestión orientado a la excelencia, en la búsqueda de mejorar significativamente sus procesos, productos, infraestructura, tecnología e imagen para vivir una cultura de calidad, confianza e innovación que los lleve siempre a trabajar para seguir escribiendo una historia, ofreciendo lo mejor y empoderando a la administración y redimensionando el negocio, hasta convertirse en una compañía con prácticas globales con los más estrictos controles de calidad y Responsabilidad social empresarial e integración de la cadena de logística.

Las generalidades de la **empresa piloto dos**, llevan a reconocer una productora de lácteos que desde sus inicios se ha posicionado como una empresa sólida, símbolo de calidad, prestigio e innovación, que busca ser productiva, consciente, aliada y promotora del desarrollo de una mejor sociedad.

La constante innovación desde su entrada al mercado caldense le ha permitido colocarse como pionera, ya que cuenta con una moderna planta procesadora de leche que en conjunto con su envase le permite conservar el producto fresco, con la calidad e inocuidad adecuada, durante meses sin necesidad de refrigeración. Un equipo de control de calidad altamente calificado supervisa constantemente todo el proceso, desde la recepción de la leche hasta el proceso de empaque y distribución.

Fomentar el consumo de productos lácteos de excelente calidad y mejorar el nivel de nutrición de las familias es parte de su compromiso. Es por ello que está dedicada a garantizar que la leche cumple con los estándares de seguridad alimentaria necesarios para que los consumidores puedan llevar a sus hogares productos de calidad asegurada.

La empresa produce leche pasteurizada entera, semidescremada, descremada, deslactosada, ultrapasteurizada semidescremada, ultrapasteurizada UHT entera, deslactosada con fibra, en polvo y evaporada; para ello cuenta con tecnología apropiada y un talento humano

visionario, comprometido con los valores corporativos, la preservación del medio ambiente y la construcción de un desarrollo social y económico de región mediante la realización procesos innovadores, cumpliendo los más estrictos estándares de calidad, productividad y competitividad para satisfacer las necesidades de sus clientes en los mercados locales.

**Las consideraciones sintomáticas de los dos casos experimentales para validar el modelo que aportan relevancia y justifican el problema de investigación**, están basadas en la exigencia de ofrecer a los consumidores productos lácteos confiables y sanos, siendo un imperativo para incrementar el consumo doméstico, mantener y conquistar nuevos mercados y competir con productos importados, es decir para asegurar en el tiempo la viabilidad del sector en su conjunto.

Por lo tanto, los productos lácteos de las empresas pilotos cumplen con los requisitos identificados sobre la base de su vida y la aceptación del cliente de un producto confiable y sano y el aseguramiento de la calidad de los mismos, como prioridad absoluta. En ambas empresas, se tiene establecida una política de calidad de los alimentos, con el propósito de lograr la seguridad en el producto terminado, a partir de las intervenciones en todas las etapas del proceso, desde la elaboración, almacenamiento y transporte hasta el punto final. Esto determina responsabilidades por parte del industrial y de toda la cadena de distribución, logrando valorizar al máximo la calidad higiénica sanitaria.

En los dos casos experimentales, los diagnósticos de los puntos críticos de control, surgen a partir de ésta necesidad, concentrándose en acciones correctivas y técnicas específicas para resolver los problemas y su posterior seguimiento en el tiempo tales como: olores, sedimentos, sustancias extrañas, cantidad y calidad inapropiada de los componentes sólidos (grasa, proteína, lactosa y minerales); carga microbiana; bacterias causantes de enfermedades (brucelosis, tuberculosis, patógenos de mastitis), sustancias tóxicas producidas por bacterias u hongos y residuos químicos e inhibidores con células somáticas.

Para una mejor comprensión a primera vista, los problemas son por calidades **composicional, higiénica y sanitaria**; factores que alteran el proceso incidiendo directamente en la calidad final. Las consecuencias de éstas situaciones se refieren a cambios en la composición de los productos bajo la influencia del estado sanitario de la leche, la repercusión de éstos en la elaboración de los diferentes lácteos, presencia de residuos de antibióticos utilizados para combatir enfermedades y su incidencia en la salud pública y los procesos industriales, influencia de las bacterias causantes de mastitis menoscabando la calidad de los productos finales.

**Se abordaron los dos casos de validación**, mediante experimentos frecuentes durante el desarrollo del proceso en las primeras etapas de la fabricación del producto. Donde se realizaron cambios para establecer las condiciones de operación que produjeran las mejores respuestas, con excelentes resultados en el diseño preliminar del proceso de elaboración de lácteos, donde las características de interés eran las fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas.

Esta experimentación tuvo como finalidad caracterizar y diseñar un proceso químico, mediante técnicas estadísticas, en base a una investigación bibliográfica, a pruebas de

escrutinio y a asesoría de expertos. Se determinó que los factores que debían ser tomados en cuenta para el estudio eran: tiempos, temperaturas, tamaño de muestras, relación ácido/sólidos y maduración. Basados en pruebas preliminares y en la experiencia de los investigadores y del personal de proceso, se establecieron los factores de control, se definió la **unidad experimental** de producto y la **unidad de muestreo** del mismo y se fijaron el **número de réplicas**.

Se provocaron cambios deliberados en las variables de entrada del proceso, con el fin de observar e identificar las causas de estos cambios en la respuesta de salida con el objetivo experimental de desarrollar y depurar el proceso que resultará consistente o robusto. Esto es, un proceso afectado mínimamente por fuentes de variación externas y consecuentemente se obtuviera productos con mayor confiabilidad y mejor funcionamiento en el campo, con menores costos y menor tiempo de proceso y desarrollo del producto.

El siguiente paso fue graficar con el objeto de tener una comprensión más clara del comportamiento de los factores. Luego, se determinaron las correlaciones de los factores que proporcionaron una mejor respuesta (parámetros del proceso). Al incorporar los gráficos de control, como una parte formal del proceso técnico (o de ingeniería) para ayudar a alcanzar el objetivo, se evaluaron costos, se ajustó el modelo estadístico para consolidar la robustez del proceso o producto, el análisis proporcionó las condiciones óptimas y una buena reproducibilidad del experimento.

Por ejemplo, se observó que al cambiar las temperaturas se tuvieron los siguientes beneficios: un menor consumo de energía, mayor vida útil del equipo de aceleración, mayor facilidad de manejo para el operario, mayor seguridad en las instalaciones. El modelo, permitió reducir el número de experimentos, por lo tanto el tiempo y costo se redujo en la misma proporción. Resultó muy útil al inicio del experimento, ya que se pudieron identificar los factores que más influencia tenían en la respuesta, además de conseguir un acercamiento hacia los puntos óptimos, alcanzando un porcentaje significativo de disminución de la variabilidad.

Como se expuso en el capítulo anterior, existe un conjunto de fases, etapas y actividades que deben ser totalizadas dentro del Modelo integral de control en línea. En la presente sección se muestran los resultados obtenidos de la implementación de dicho modelo en dos empresas piloto seleccionadas del sector Lácteos de Manizales, como se referenció en el apartado 1.3.

El capítulo se estructuró en 3 partes principales como lo establece el modelo propuesto; se parte de las etapas y actividades de Diagnóstico y ajuste, seguidamente la Predicción y corrección y finalmente de la Medición y análisis.

### **3.1. Resultados de la empresa piloto uno.**

A continuación se presentan los resultados de la empresa uno, como se propuso el modelo en fases, etapas y procedimientos.

### 3.1.1. Fase 1. Diagnóstico y ajuste

El objetivo de ésta fase es la caracterización del producto y del proceso, la identificación de los problemas de calidad y variabilidad.

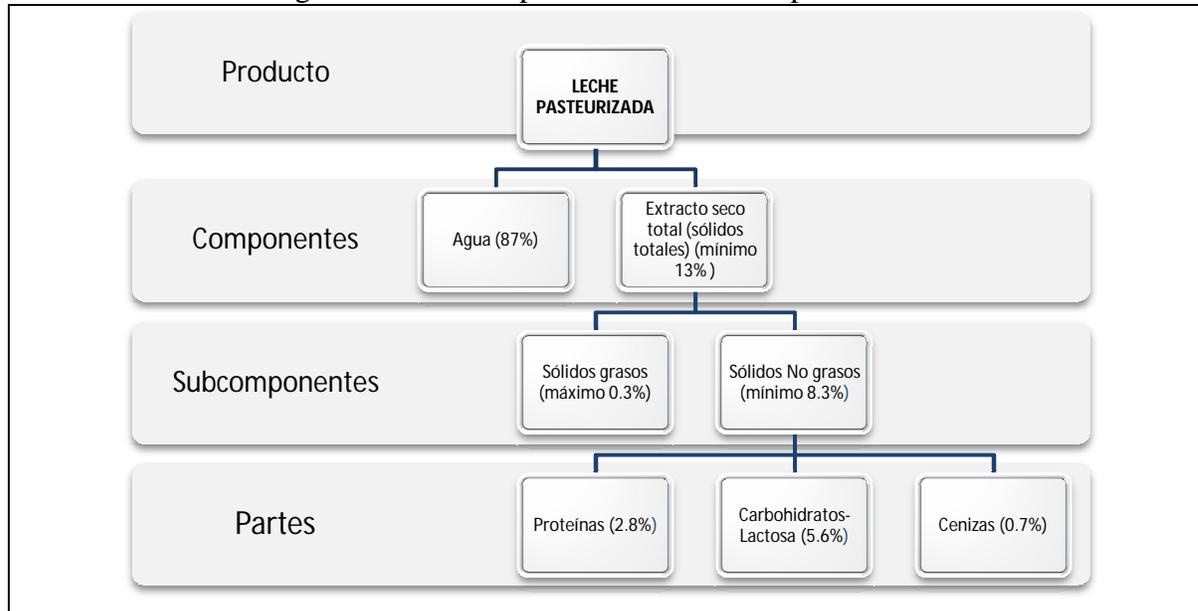
#### Etapa 1. Caracterización del producto y del proceso

El producto corresponde a la leche pasteurizada entera, con características fisicoquímicas y organolépticas (Decreto 616 de 2006) y el proceso se dividió en componentes, subcomponentes y partes.

#### Paso 1.1. Descomposición del producto

La leche pasteurizada es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas como: agua, grasa, proteínas, azúcares, vitaminas, minerales y otras que están en menor concentración, como se muestra en la Figura 3.1 y en la Tabla 3.1. La información detallada se expone en el Anexo E.

Figura 3.1. Descomposición de la Leche pasteurizada



Fuente: Zapata y Trujillo

En la Tabla 3.1 se presentan los requerimientos de calidad del producto solicitados por el cliente, y las especificaciones técnicas según la empresa.

Tabla 3.1. Características de calidad de la Leche pasteurizada

CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD													
↑ Max.	↓ Min.	• Objetivo	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS								CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS		
Requerimientos de Diseño		Indice Crioscópico	Densidad	Acidez	Grasa	Proteína	SNG*	S.T.*	Peroxidasa	Fosfatasa	Mesófilos Aeróbios	Coliformes totales	Coliformes Fecales
Requerimientos del Cliente	Importancia	8	7	8	7	9	8	8	7	7	10	10	10
Sin elementos extraños	10	0	0	0	0	0	5	5	0	0	1	1	1
Sabor característico de la	10	0	0	5	1	0	0	0	0	0	3	3	3
Color Blanco Marfil Opaco	10	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Sin olores extraños	10	0	0	1	0	0	3	3	0	0	3	3	3
Textura Uniforme	9	5	1	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0
Baja Grasa	8	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Precio	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5
<b>Total</b>		45	9	60	87	27	107	90	0	0	105	105	105
Especificaciones	Descripción*	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO	ANEXO
	Unidad	(°H)	(15/15 °C g/ml)	(% m/v)	(% m/v)	(% m/v)	(% m/m)	(% m/m)	(+)	(-)	UFC/ML	UFC/ML	UFC/ML
	Valor hacia el que tiene el objetivo	-0,541	1,0310	0,15	3,20	3,1	8,38	11,65	(+)	(-)	0	1	1
	LCL	-0,55	1,0285	0,13	3,00	2,97	8,30	11,3	(+)	(-)	0	0	0
	UCL	-0,53	1,033	0,17	3,40	3,5	8,50	11,7	(+)	(-)	200	3	3
	Momento de la Medición (operación)	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado	Producto Terminado
Relaciones													
	5 Fuerte												
	3 Media												
	1 Débil												
	Ninguna												

\*Sólidos No Grasos; \*\*Sólidos Totales

Fuente: elaboración propia a partir de los datos suministrados por la empresa

En esta Tabla 3.1, se ponderó la importancia de los requerimientos y de las características de calidad, en una escala de 1 a 10, siendo 10 la variable de más peso y 1 la de menor peso. Las relaciones entre éstas se valoraron con base en una escala de 5 (fuerte), 3 (media) y 1 (débil), cuyo resultado es la ponderación total. Las características con valores mayores o iguales a 100, se consideraron como las de mayor importancia. Es así, como los sólidos no grasos (107), mesófilos aeróbios (105) y coliformes totales (105) y fecales (105) son las características de calidad de mayor impacto. Estos valores se tomaron como factores de evaluación en la matriz de variabilidad del paso 3.4.

### Paso 1.2. Descomposición del proceso productivo

El proceso productivo de la leche pasteurizada está conformado por 8 operaciones, como se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Caracterización del proceso de Leche pasteurizada

			CADENA DEL PROCESO							
			Recepción de la Leche	Almacenamiento o Temporal	Filtración	Desaireación	Homogenización	Pasteurización Baja	Envasado	Almacenamiento y Refrigerado
Partes Críticas y Características de las Partes	Valor Objetivo	Importancia	8	7	8	6	9	10	6	9
Índice Crioscópico	-0,541	8	1	0	0	0	0	0	0	0
Densidad	1,031	7	1	0	0	3	0	0	0	0
Acidez	0,15	8	1	0	0	0	0	3	0	0
Grasa	3,20	7	1	0	0	3	5	0	0	0
Proteína	3,10	9	1	0	0	0	0	0	0	0
SNG*	8,38	8	1	0	5	0	0	0	0	0
S.T*	11,65	8	1	0	5	0	0	0	0	0
Peroxidasa	(+)	7	1	0	0	0	0	5	0	0
Fosfatasa	(-)	7	1	0	0	0	0	5	0	0
Mesófilos Aerobios	150,00	10	1	1	0	0	0	5	3	3
Coliformes totales	1	10	1	1	0	0	0	5	3	3
Coliformes Fecales	1	10	1	1	0	0	0	5	3	3
<b>TOTAL</b>			99	30	80	42	35	244	90	90
Relaciones										
	5 Fuerte									
	3 Media									
	1 Débil									
	Ninguna									

Fuente: elaboración propia a partir de los datos suministrados por la empresa

Como se puede observar en la Tabla 3.2, la etapa de mayor importancia en una escala de 1 a 10, siendo 10 la variable de más peso y 1 la de menor peso, con una ponderación de 244, corresponde a la pasteurización. En el Anexo E se describe la descomposición del proceso.

## **Etapas 2. Identificación de los problemas de calidad y sus causas**

Se realizó la identificación de los problemas de calidad, de acuerdo al instrumento aplicado para valorar los aspectos de funcionalidad, gestión, eficiencia, diseño de producto y diseño de procesos. Para tal fin se elaboró un diagnóstico preliminar de los problemas de calidad en las empresas objeto de estudio y el análisis de variabilidad con el fin de determinar las características críticas que se deben controlar y mejorar, mediante un análisis univariado, bivariado y de correlación, como se detalló en el apartado 1.3.2.

Se tuvieron en cuenta 5 tipos de problemas de calidad, cada uno conformado por variables cualitativas. Con el fin de identificar los principales problemas de calidad, se construyeron indicadores globales para cada tipo. Se realizó un análisis de frecuencias por subsectores como descriptivos.

Con el **análisis univariado** a partir de la tipología de los problemas de calidad, se estimaron indicadores globales con la media aritmética y se evaluó la normalidad. Se aclara que se referenciaron otros sectores para determinar el comparativo y el comportamiento de los Lácteos, tal como se muestran los descriptivos en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Descriptivos por sectores

SECTORES		FRECUENCIA	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
Válido	Bebidas	5	26,3	26,3
	Café	3	15,7	42,0
	Cárnicos	1	5,3	47,3
	Confitería y Chocolate	1	5,3	52,6
	Frutas y Hortalizas	1	5,3	57,9
	<b>LÁCTEOS</b>	<b>3</b>	<b>15,8</b>	<b>73,7</b>
	Molinería	2	10,5	89,5
	Otros Alimentos	1	5,3	94,7
	Panadería	1	5,3	<b>100,0</b>
	Total	<b>19</b>	<b>100,0</b>	

Según la Tabla 3.3, al realizar el comparativo entre sectores de los problemas de calidad se encuentra que predomina el subsector “bebidas”, le siguen “lácteos” con el 15,8%, después los de menor número de empresas asociadas. En la Tabla 3.4, se presentan los indicadores globales según los problemas de calidad de acuerdo a los descriptivos.

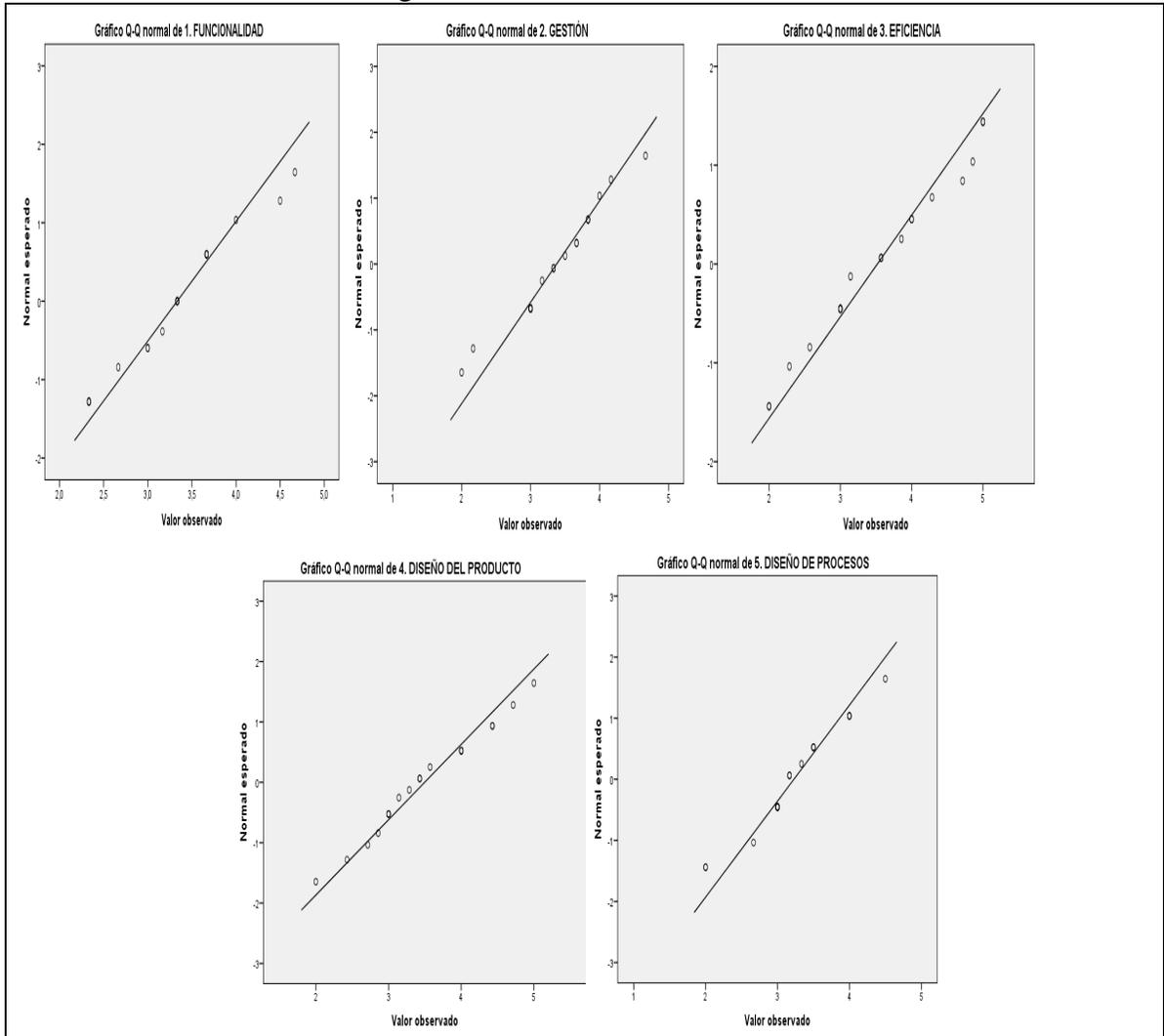
Tabla 3.4. Media aritmética de los problemas de calidad

DESCRIPTIVOS		Estadístico	Error estándar
<b>1. FUNCIONALIDAD</b>	Media	<b>3,2441</b>	<b>0,14599</b>
2. GESTIÓN	Media	3,3772	0,14909
3. EFICIENCIA	Media	3,5188	0,22314
4. DISEÑO DEL PRODUCTO	Media	3,4962	0,18390
5. DISEÑO DE PROCESOS	Media	3,3333	0,15027

En la Tabla 3.4. se observa que el problema de calidad más frecuente es el de “Funcionalidad”, con un estimativo de 3,2441. Las frecuencias de los indicadores se presentan en el Anexo F.

El **análisis de la normalidad** para los problemas de calidad, lleva a los siguientes resultados mostrados en la Figura 3.2.

Figura 3.2. Prueba de Normalidad



En los gráficos Q-Q plot de la Figura 3.2 se observa que las variables siguen la distribución normal, para sustentarla se hace la **prueba de Shapiro-Wilk** para muestra menor a 30, se planteó:

$H_0$ : Las muestras siguen una distribución normal

$H_1$ : Las muestras no siguen una distribuyen normal

$$\text{Estadístico de prueba: } W_0 = \frac{[\sum_{i=1}^n a_i X_{(i)}]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sim \chi_m^2$$

Criterio de rechazo:  $P(W \leq W_0) \leq \alpha$ ,  $\alpha = 0.05$ , según la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para problemas de calidad

DESCRIPTIVOS	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
1. FUNCIONALIDAD	0,941	19	0,273
2. GESTION	0,957	19	0,513
3. EFICIENCIA	0,943	19	0,304
4. DISEÑO DEL PRODUCTO	0,975	19	0,876
5. DISEÑO DE PROCESOS	0,937	19	0,233

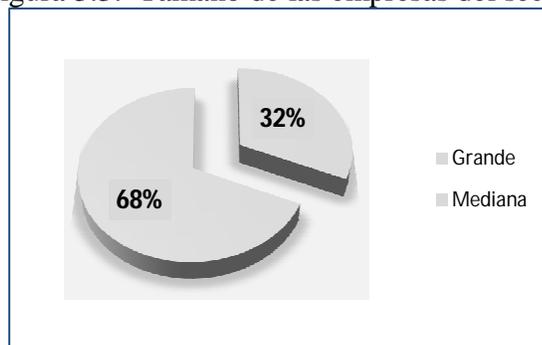
Se acepta dado que p-valor >0.05, en todos los casos las variables siguen una distribución normal, con un nivel de significancia del 5%, lo que significa que la media aritmética si es una buena medida de estimación para los indicadores globales.

Con el **análisis Bivariado** se identificaron los principales problemas de calidad de las empresas. En la Figura 3.3. y la Tabla 3.6, se presenta el tamaño de las empresas.

Tabla 3.6. Descriptivo por tamaño de las empresas

Tamaño		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válido	Grande	6	31,6	31,6
	Mediana	13	68,4	100,0
	Total	19	100,0	

Figura 3.3. Tamaño de las empresas del sector



De acuerdo a la clasificación por la normativa nacional, para el tamaño de las empresas, el 68% corresponde a empresas medianas y el 32% a grandes. Se sustentan las Tablas 3.6 por tamaño de empresa, 3.7 análisis para problemas de calidad, 3.8 comparaciones de medias, 3.9 comparaciones de manera desagregada, 3.10 comparaciones por sector, 3.11 comparaciones por sectores de manera desagregada.

Tabla 3.7. Análisis bivariado para problemas de calidad

ANÁLISIS BIVARIADO	TAMAÑO		
	Total	Grande	Mediana
	Media	Media	Media
1. FUNCIONALIDAD	3,2	3,3	3,2
2. GESTIÓN	3,4	3,2	3,5
3. EFICIENCIA	3,5	2,8	3,9
4. DISEÑO DEL PRODUCTO	3,5	3,6	3,5
5. DISEÑO DE PROCESOS	3,3	3,3	3,3

Según la Tabla 3.7 observa que el problema más frecuente en las empresas grandes es de “*eficiencia*”, mientras que en las empresas medianas es de “*funcionalidad*”.

Tabla 3.8. Comparaciones de medias por tamaño

Comparaciones de medias	TAMAÑO	
	Grande	Mediana
	(A)	(B)
1. FUNCIONALIDAD		
2. GESTIÓN		
3. EFICIENCIA		A
4. DISEÑO DEL PRODUCTO		
5. DISEÑO DE PROCESOS		

Según la Tabla 3.8. se observa que existen diferencias significativas en la “*eficiencia*” de las medianas y grandes empresas. Las empresas medianas presentan menores problemas de eficiencia, mientras que en las empresas grandes sucede lo contrario.

Tabla 3.9. Comparaciones de medias por tamaño de manera desagregada

DESCRIPTIVO	TAMAÑO	
	Grande	Mediana
	(A)	(B)
1. FUNCIONALIDAD		
2. GESTIÓN		
3. EFICIENCIA		A
3.1. Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas		A
3.2. Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento		A
3.3. La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables		A
<b>3.4. La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares</b>		
3.5. El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización		A
3.6. La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos		A
3.7. El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción		A
4. DISEÑO DEL PRODUCTO		
5. DISEÑO DE PROCESOS		

En la Tabla 3.9. se observan diferencias significativas en la “*eficiencia*” de las medianas y grandes empresas. Se concluye que dentro de la eficiencia, no existen diferencias entre las empresas medianas y grandes en la orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares.

Tabla 3.10. Comparaciones de medias por sector

ANÁLISIS BIVARIADO	SECTORES									
	Total	Bebidas	Café	Cárnicos	Confitería Chocolate	Frutas Hortalizas	Lácteos	Molinería	Otros	Panadería
	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
1. FUNCIONALIDAD	3,2	3,1	4,1	3,4	3,3	3,7	2,3	3,0	3,3	3,0
2. GESTIÓN	3,4	3,4	3,1	3,7	3,8	3,8	3,8	2,6	3,3	3,0
3. EFICIENCIA	3,5	3,7	3,3	3,6	3,1	4,3	4,3	2,9	2,6	3,0
4. DISEÑO DEL PRODUCTO	3,5	3,7	4,01	2,9	4,2	4,0	3,1	2,5	2,4	4,0
5. DISEÑO DE PROCESOS	3,3	3,2	3,4	3,2	3,4	4,0	3,5	2,5	3,7	3,7
		3,42	3,58	3,36	3,56	3,96	3,4	2,7	3,06	3,34

También como comparativo se presenta la Tabla 3.10, donde se observa que los mayores problemas de calidad se presentan en un sector diferente al de Lácteos, reportando en general los mayores promedios en casi todos los tipos.

Tabla 3.11. Comparaciones de medias por sectores de manera desagregada

Comparaciones de medias de columna									
DESCRPTIVOS	SECTORES								
	Bebidas	Café	Cárnicos	Confitería Chocolate	Frutas Hortalizas	Lácteos	Molinería	Otros	Panadería
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)
1. FUNCIONALIDAD		F	a		a			a	a
2. GESTIÓN			a		a			a	a
3. EFICIENCIA			a		a			a	a
4. DISEÑO DEL PRODUCTO		G	a	G	a			a	a
5. DISEÑO DE PROCESOS			a		a			a	a

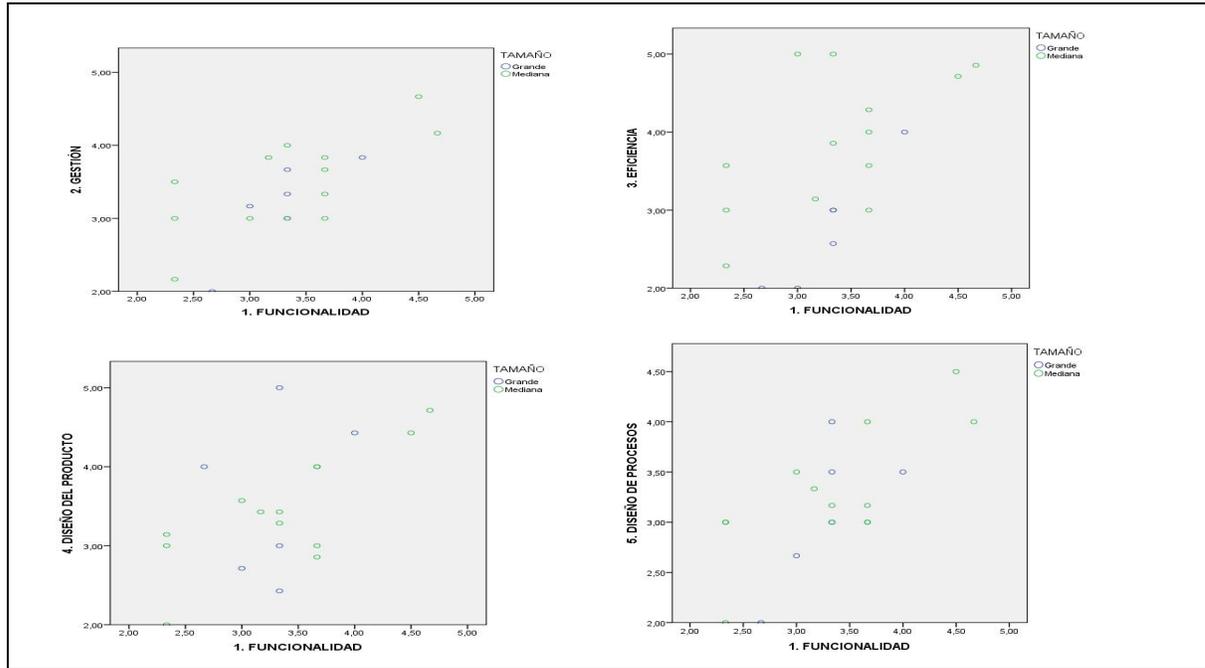
Según la Tabla 3.11, las empresas de lácteos representan los mayores problemas de calidad en “funcionalidad”, diferencia que es significativa frente a otros sectores. Los resultados del análisis bivariado tanto por tamaño como por sector se encuentran en el Anexo G.

**El análisis de correlación**, en la Tabla 3.12 y la Figura 3.4 se presentan los resultados de la correlación de Pearson de las correlaciones establecidas.

Tabla 3.12. Correlación de Pearson para los problemas de calidad

CORRELACIÓN DE PEARSON	1. FUNCIONALIDAD	2. GESTIÓN	3. EFICIENCIA	4. DISEÑO DEL PRODUCTO	5. DISEÑO DE PROCESOS
1. FUNCIONALIDAD	1	0,714**	0,571*	0,587**	0,715**
2. GESTIÓN	0,714**	1	0,544*	0,395	0,799**
3. EFICIENCIA	0,571*	0,544*	1	0,319	0,655**
4. DISEÑO DEL PRODUCTO	0,587**	0,395	0,319	1	0,435
5. DISEÑO DE PROCESOS	0,715**	0,799**	0,655**	0,435	1

Figura 3.4. Gráficos de Dispersión del análisis de correlación de problemas de calidad



Para interpretar el coeficiente de correlación se utilizó la escala que se presenta en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Escalas para significancia de correlación

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativamuy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

De acuerdo a los coeficientes de correlación y los gráficos de dispersión, existe una “*correlación positiva alta entre los problemas de Funcionalidad y Gestión*”, así como entre los problemas de “*Funcionalidad y los de Diseño de procesos*”. Igualmente existe una “*correlación positiva moderada entre los problemas de Funcionalidad y Eficiencia*”, igual entre los de “*Funcionalidad y los de Diseño de Producto*”. Los problemas que aquejan al sector son los “*Problemas de Funcionalidad*”, aceptando la hipótesis ( $H_0$ ), igualmente el grado de correlación entre los problemas de funcionalidad y los otros 4 tipos es

“*positivamente alta*”, lo que indica una alta influencia de la primera sobre las demás, siendo posible aceptar la hipótesis.

Partiendo de estos resultados, es necesario el diseño de una metodología para intervención de los problemas de funcionalidad generados principalmente por la variabilidad. Con el análisis bivariado fue posible comprobar que el sector con mayor presencia de este tipo de problemas es el de “*Lácteos*”, justificando la aplicación de la metodología en empresas de este sector. El diagnóstico de los problemas de Calidad en las empresas piloto uno y dos, se presentan en el Anexo H y H1.

### **Etapa 3. Evaluación de la Variabilidad**

La evaluación se realizó mediante la matriz de variabilidad a partir de las características del producto, la capacidad del proceso y el costo de la variabilidad, con el fin de determinar las características críticas que deben ser controladas.

#### **Paso 3.1. Cálculo del tamaño de la muestra y prueba de normalidad**

Para el cálculo del tamaño de la muestra, se tuvo en cuenta la producción diaria de leche pasteurizada (80.000 litros); al aplicar la ecuación 1 el tamaño fue de 97 litros y el período de medición de 30 días. Por costos del control microbiológico, se escogió el menor  $P$  para que fuera representativa, el número acordado con la empresa fue de 6 muestras por día, en 2 turnos, para un total de 180 muestras, las cuales se presentan en el Anexo I.

Se realizó **la prueba de Kolmogorov-Smirnov** (prueba de normalidad) para la verificar la normalidad de los datos para identificar e intervenir los problemas de calidad debido a la variabilidad.

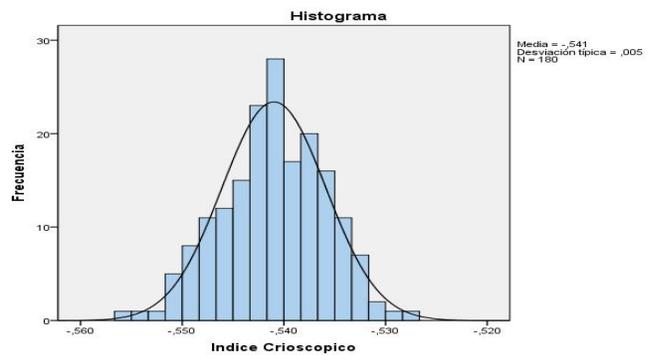
Las características que por norma deben ser controladas son las físico químicas y las microbiológicas, pero solo las cuantitativas se consideraron en el estudio. La característica de cantidad de proteínas, aunque no es exigida legalmente, la empresa la mide como indicador del valor nutritivo del producto terminado. Así, las 8 características a las cuales se les aplicó el test de normalidad son: índice crioscópico, densidad, acidez, % grasa, proteínas, sólidos no grasos, sólidos totales y recuento mesófilos aerobios.

Con  $n > 50$ , se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (si la significancia es exactamente  $\geq 0,05$  los datos tienen una distribución normal. En la Figura 3.5 se exponen los resultados de la prueba de normalidad de cada característica de calidad.

Figura 3.5. Prueba de normalidad de las características de calidad

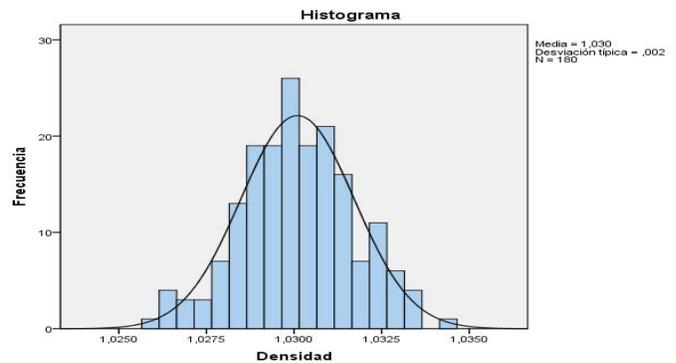
## ➤ Prueba de normalidad Índice Crioscópico.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Índice Crioscópico
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	-,54098
	Desviación típica	,005115
Diferencias más extremas	Absoluta	,036
	Positiva	,026
	Negativa	-,036
Z de Kolmogorov-Smirnov Sig. asintót. (bilateral)		,478 ,976



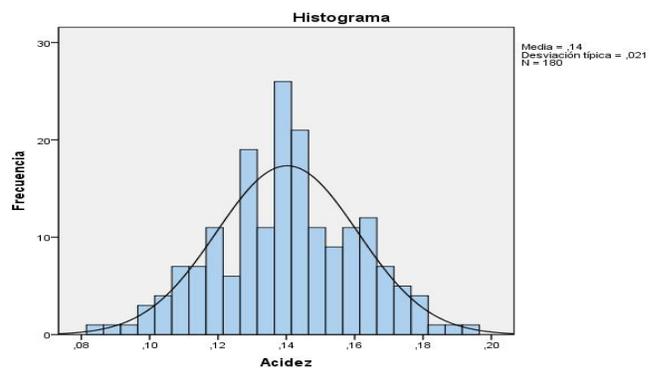
## ➤ Prueba de normalidad de la Densidad

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Densidad
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	1,03010
	Desviación típica	,001623
Diferencias más extremas	Absoluta	,042
	Positiva	,042
	Negativa	-,036
Z de Kolmogorov-Smirnov Sig. asintót. (bilateral)		,557 ,915



## ➤ Prueba de normalidad de Acidez

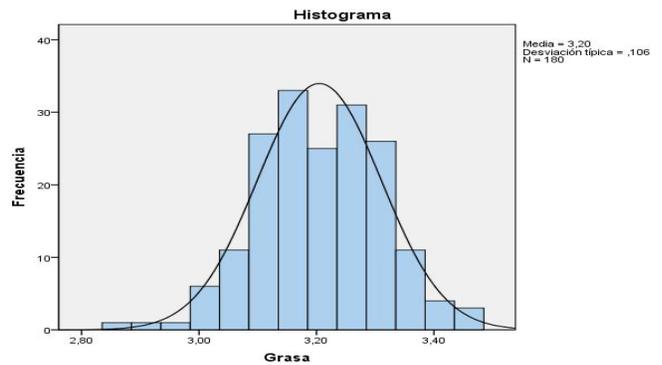
Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Acidez
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,1402
	Desviación típica	,02069
Diferencias más extremas	Absoluta	,055
	Positiva	,055
	Negativa	-,044
Z de Kolmogorov-Smirnov Sig. asintót. (bilateral)		,744 ,637



➤ Prueba de normalidad de la Grasa

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Grasa
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	3,2047
	Desviación típica	,10572
Diferencias más extremas	Absoluta	,051
	Positiva	,042
	Negativa	-,051
Z de Kolmogorov-Smirnov		,684
Sig. asintót. (bilateral)		,738

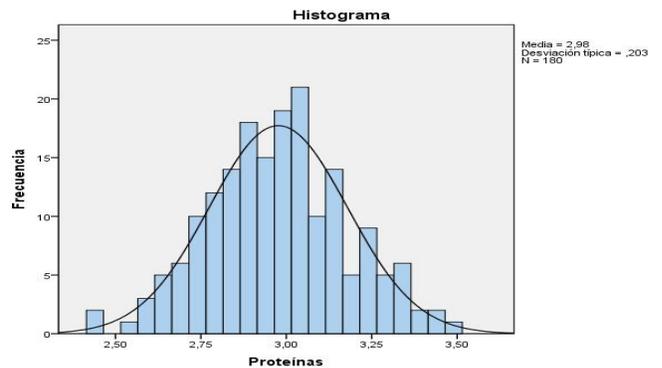
- a. La distribución de contraste es la normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.



➤ Prueba de normalidad de las Proteínas

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Proteínas
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	2,9765
	Desviación típica	,20258
Diferencias más extremas	Absoluta	,040
	Positiva	,040
	Negativa	-,030
Z de Kolmogorov-Smirnov		,538
Sig. asintót. (bilateral)		,934

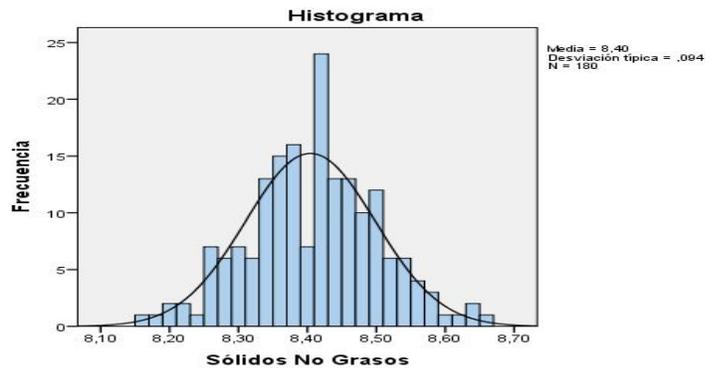
- a. La distribución de contraste es la normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.



➤ Prueba de normalidad de Sólidos No Grasos

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Sólidos No Grasos
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	8,4043
	Desviación típica	,09427
Diferencias más extremas	Absoluta	,057
	Positiva	,037
	Negativa	-,057
Z de Kolmogorov-Smirnov		,769
Sig. asintót. (bilateral)		,596

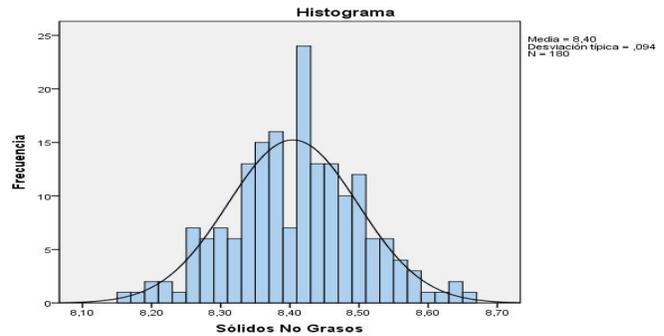
- a. La distribución de contraste es la normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.



### ➤ Prueba de normalidad de Sólidos Totales

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Sólidos Totales
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	11,5544
	Desviación típica	,19479
Diferencias más extremas	Absoluta	,069
	Positiva	,030
	Negativa	-,069
Z de Kolmogorov-Smirnov		,925
Sig. asintót. (bilateral)		,359

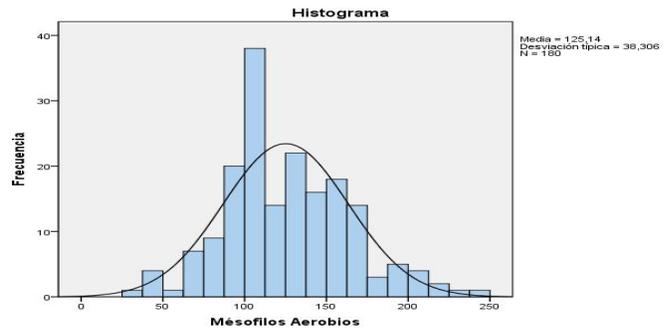
- a. La distribución de contraste es la normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.



### ➤ Prueba de Normalidad de Mesófilos Aerobios

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Mesófilos Aerobios
N		180
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	125,14
	Desviación típica	38,306
Diferencias más extremas	Absoluta	,087
	Positiva	,087
	Negativa	-,052
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,168
Sig. asintót. (bilateral)		,131

- a. La distribución de contraste es la normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.



De acuerdo a los resultados de la Figura 3.5, se comprueba la normalidad de los datos.

### Paso 3.2. Medición de la capacidad de proceso

Con la normalidad de los datos para cada característica de calidad, se calculó el índice de capacidad de proceso. Se determinaron los límites de especificación, la media, desviación estándar y el valor objetivo para cada característica de calidad. Para calcular la estimación de la desviación  $\hat{\sigma}$  se aplicó la ecuación 2, para calcular el rango promedio de cada subgrupo, definido como el número de muestras por día y se determinó la constante  $d_2$  (ver el Anexo J). Al aplicar la ecuación 2 se obtuvo  $\hat{C}_{pm}$  para cada característica de calidad. En la Tabla 3.14 se relacionan los parámetros mencionados y los índices ya calculados para cada característica de calidad.

Tabla 3.14. Índices de Capacidad de proceso de características de calidad

Variables	$\bar{X}$	$\hat{\sigma}$	$d_2$	$\bar{R}$	$S$	$T$	$UCL$	$LCL$	$\hat{C}_p$	$V$	$\hat{C}_{pm}$
Índice Crioscópico	-0,5409	0,0053	2,534	0,013	0,00511	-0,541	-0,530	-0,550	0,628	0,0039	0,627
Densidad	1,03010	0,0017	2,534	0,004	0,00162	1,0310	1,0330	1,0285	0,451	-0,5545	0,394
Acidez	0,1402	0,0201	2,534	0,051	0,02069	0,15	0,17	0,13	0,331	-0,4736	0,299
% Grasa	3,2047	0,1029	2,534	0,261	0,10572	3,2	3,4	3	0,647	0,0444	0,647
Proteínas	2,9765	0,2030	2,534	0,514	0,20258	3,1	3,5	2,97	0,435	-0,6096	0,371
Sólidos No Grasos	8,4043	0,0952	2,534	0,241	0,09427	8,38	8,50	8,30	0,350	0,2577	0,3391
Sólidos Totales	11,5544	0,1937	2,534	0,491	0,19479	11,65	1,7	11,3	0,341	-0,4907	0,3089
Mesófilos Aerobios	125,14	37,900	2,534	96,040	38,306	0	200	0	0,879	3,26685	0,2574

### Paso 3.3. Cálculo de costos de variabilidad

Para estimar los costos de variabilidad por medio de la función de pérdida, se consideraron los costos de fallos internos que representa la no calidad de puertas adentro. Por cada unidad del producto reprocesada o desechada por el incumplimiento de las especificaciones, la pérdida de la calidad es equivalente a los costos de producción y de control de calidad por ser los directamente relacionados con la variabilidad, como se analizan en el Anexo K. Una vez determinados los costos de producción y costos de control de calidad, se estableció el costo total por unidad para cada característica, como se muestra en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Costo total/unidad producida

Característica de Calidad	Costo Producción	Costos Control Calidad	Costo Total/unidad(D)
Índice Crioscópico	\$ 1.034,56	\$ 0,7125	\$ 1.035,27
Densidad	\$ 1.034,56	\$ 0,5250	\$ 1.035,08
Acidez	\$ 1.034,56	\$ 0,7125	\$ 1.035,27
Grasa	\$ 1.034,56	\$ 0,7125	\$ 1.035,27
Proteínas	\$ 1.034,56	\$ 0,8400	\$ 1.035,40
Sólidos No Grasos	\$ 1.034,56	\$ 0,7125	\$ 1.035,27
Sólidos Totales	\$ 1.034,56	\$ 0,7125	\$ 1.035,27
Peroxidasa	\$ 1.034,56	\$ 0,7125	\$ 1.035,27
Fosfatasa	\$ 1.034,56	\$ 0,7125	\$ 1.035,27
Mesófilos Aerobios	\$ 1.034,56	\$ 1,5525	\$ 1.036,11
Coliformes Totales	\$ 1.034,56	\$ 1,4850	\$ 1.036,04
Coliformes Fecales	\$ 1.034,56	\$ 1,4850	\$ 1.036,04

Para la función de pérdida de Taguchi, se calculó el coeficiente de proporcionalidad desconocido  $K$  con información de las pérdidas  $D_{LCL}$  y  $D_{UCL}$  causadas por exceder los límites ( $LCL, UCL$ ). Para este caso,  $D_{LCL} = D_{UCL}$ , se calcularon los coeficientes  $K_{LCL}$  y  $K_{UCL}$  para cada característica como se muestra en la Tabla 3.16:



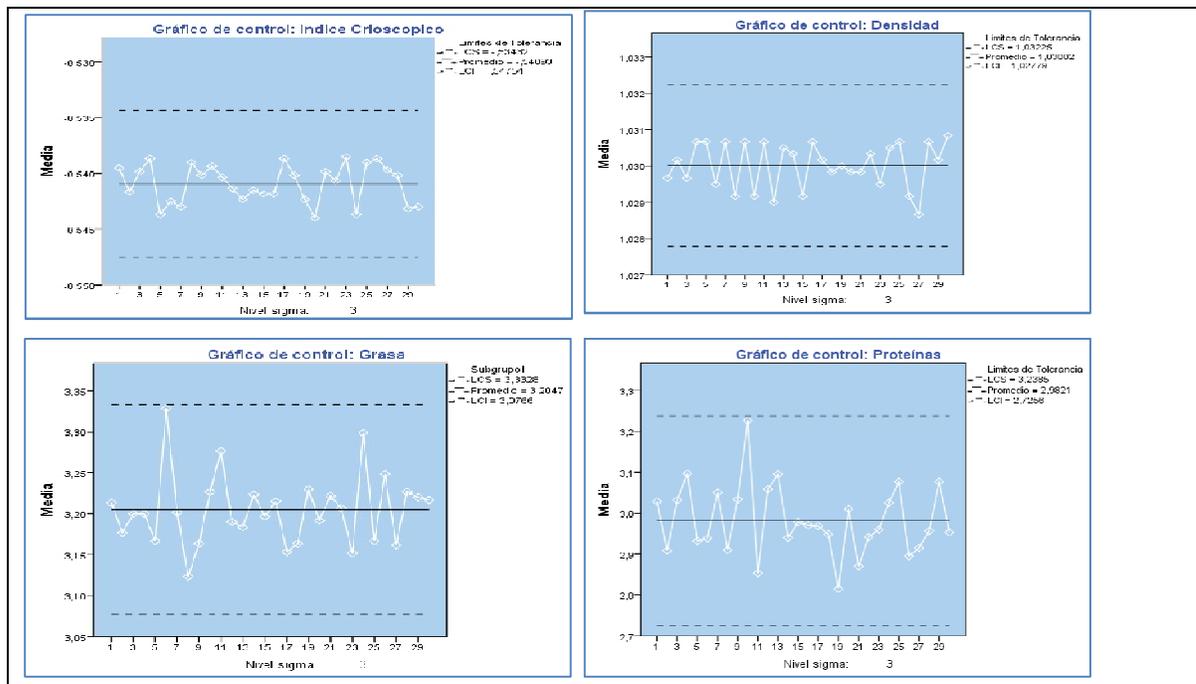
Tabla 3.16. Determinaciones constantes de proporcionalidad *K*

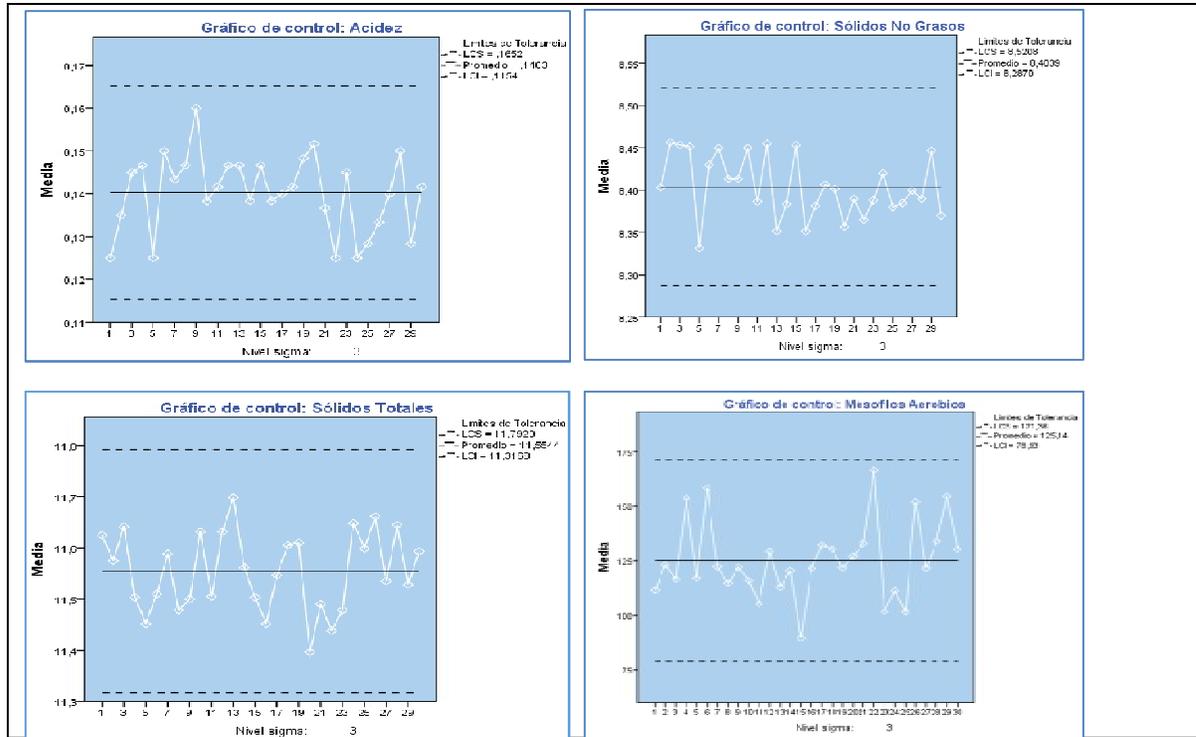
Característica de Calidad	Media <i>Y</i>	Valor Objetivo (M)	D	(LCL) <sup>2</sup>	(UCL) <sup>2</sup>	<i>K</i> <sub>LCL</sub>	<i>K</i> <sub>UCL</sub>
Índice Crioscópico	-0,54098	-0,541	\$ 1.035,27	0,3025	0,2809	3422,372	3685,538
Densidad	1,0301	1,0310	\$ 1.035,08	1,05781225	1,067089	978,510	970,003
Acidez	0,1402	0,15	\$ 1.035,27	0,0169	0,0289	61258,432	35822,405
Grasa	3,2047	3,2000	\$ 1.035,27	9	11,56	115,030	89,556
Proteínas	2,9765	3,1	\$ 1.035,40	8,8209	12,25	117,380	84,522
Sólidos No Grasos	8,4043	8,38	\$ 1.035,27	68,89	72,25	15,028	14,329
Sólidos Totales	11,5544	11,65	\$ 1.035,27	127,69	136,89	8,108	7,563
Mésofilos Aerobios	125,14	0	\$ 1.036,11	0	40000		0,026

Al igual que la capacidad de proceso, por la naturaleza de las variables y la capacidad para su medición, las características de peroxidasa, fosfatasa, coliformes totales y coliformes fecales no fue posible determinar los coeficientes de proporcionalidad y por consiguiente, tampoco los costos de variabilidad.

Para determinar la pérdida de calidad se identificaron los límites para cada característica, para estimar la diferencia entre la media y los límites naturales y el valor objetivo y los límites de especificación. Para calcular los límites, se construyó, para cada característica, el gráfico de control univariado *X-barra*, con el mismo tamaño de subgrupo, para un total de 30 observaciones. Los resultados se muestran en la Figura 3.6.

Figura 3.6. Gráficos de control univariado





A partir de los gráficos de control para cada característica, se determinaron los límites de tolerancia natural, los cuales fueron utilizados para calcular la pérdida por la no calidad de cada característica. Los resultados se exponen en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Especificaciones de las características de calidad

Característica de Calidad	Valor Objetivo (M)	LCL	UCL	$K_{cl}$	$K_{uc}$	LTI	LTS
Índice Crioscópico	-0,541	-0,55	-0,53	3422,372	3685,54	-0,548	-0,534
Densidad	1,031	1,0285	1,033	978,510	970,00	1,028	1,032
Acidez	0,15	0,13	0,17	61258,432	35822,40	0,115	0,165
Grasa	3,2	3	3,4	115,030	89,56	3,077	3,333
Proteínas	3,1	2,97	3,5	117,380	84,52	2,726	3,239
Sólidos No Grasos	8,38	8,3	8,5	15,028	14,33	8,287	8,521
Sólidos Totales	11,65	11,3	11,7	8,108	7,56	11,317	11,792
Mésófilos Aeróbicos	150	100	200	0,104	0,03	78,930	171,360

Calculado el valor objetivo, los límites de especificación, los coeficientes de proporcionalidad y los límites de tolerancia natural, se aplicó la ecuación 3 para hallar el valor de la pérdida promedio para cada característica de calidad, como se presenta en el Anexo L. En la Tabla 3.18 se presenta la función de pérdida promedio para cada característica de calidad.

Tabla 3.18. Función de pérdida promedio para cada característica de calidad

Característica de calidad	Función de pérdida ( $P$ )
Índice Crioscópico	0,0008
Densidad	0,000011
Acidez	0,825
Grasa	0,168
Proteínas	2,060
Sólidos no grasos	0,0173
Sólidos totales	0,1052
Mesófilos Aerobios	43649,04

### Paso 3.4. Elaboración de la Matriz de Variabilidad

Con los valores de la importancia para la empresa de cada característica de calidad, la capacidad de proceso y la pérdida promedio, se construyó la matriz de variabilidad con las 8 características de calidad. De acuerdo al valor de cada característica en cada uno de los tres factores analizados, se ponderó cada variable en un rango de 1 a 8 (8: peor desempeño o mayor importancia, 1: mejor desempeño o menor importancia), se seleccionaron como críticas aquellas con valores mayores o iguales a 100. Los resultados se exponen en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Matriz de variabilidad

Característica de Calidad	Grado de Importancia-Casita de la Calidad	Ponderación	Capacidad de Proceso $\widehat{Cpm}$	Ponderación	Pérdida de la no calidad	Ponderación	Total
Índice Crioscópico	45	3	0,628	2	0,0008	2	12
Densidad	9	1	0,395	3	0,00001	1	3
Acidez	60	4	0,300	7	0,826	6	168
Grasa	87	5	0,647	1	0,168	5	25
Proteínas	27	2	0,372	4	2,061	7	56
Sólidos No Grasos	107	8	0,339	5	0,017	3	120
Sólidos Totales	90	6	0,309	6	0,105	4	144
Mesófilos Aerobios	105	7	0,257	8	43649,048	8	448

De acuerdo a los resultados de la Matriz de variabilidad de la Tabla 3.19, se puede evidenciar que las características críticas fueron la *acidez*, *sólidos no grasos*, *sólidos totales* y *mesófilos aerobios*. Se puede afirmar que estas 4 características son, 1) las de mayor importancia para la empresa en el cumplimiento de los requerimientos de los clientes; 2) no tienen la capacidad suficiente para cumplir con las especificaciones exigidas y 3) el incumplimiento de éstas debido a su variabilidad, generan las mayores pérdidas. Por lo tanto, está probada la necesidad de realizar un procedimiento de control y mejoramiento, para lograr el objetivo de reducir la variabilidad y aumentar la calidad del producto.

#### 3.1.2. Fase 2. Predicción y corrección

En esta fase con el control estadístico multivariado se detectaron las causas asignables de variabilidad, bajo los supuestos de independencia y normalidad para verificar si el proceso está bajo control.

## Etapa 1: Caracterización de los datos

Se determinaron las características de calidad, para la implementación del modelo de control multivariado a partir del estadístico  $T^2$  de Hotelling. Además, de la normalidad de los datos demostrada en la Fase 1, se comprobó su independencia o autocorrelación y la correlación entre cada par de variables para identificar y eliminar las posibles causas asignables de variación en el proceso.

Las características críticas determinadas en la Fase1, analizadas en las siguientes etapas en términos de variables son: Acidez, Sólidos No Grasos, Sólidos Totales y Mésófilos Aerobios

### Paso 1.1. Análisis de la correlación

La presencia de correlación justifica la implementación del modelo multivariado, ya que ésta puede generar señales fuera de control que no son detectadas al monitorear cada variable de manera individual. Así, al aplicar la ecuación 4 para determinar el coeficiente de correlación entre las 4 variables, se obtuvieron los resultados de la Tabla 3.20.

Tabla 3.20. Análisis de la correlación

		Acidez (X <sub>1</sub> )	Sólidos No Grasos (X <sub>2</sub> )	Sólidos Totales (X <sub>3</sub> )	Mesófilos Aerobios (X <sub>4</sub> )
Acidez (X <sub>1</sub> )	Correlación de Pearson	1	0,057	-,186*	0,045
	Sig. (bilateral)		0,446	0,012	0,549
	Suma de cuadrados y productos cruzados	0,077	0,02	-0,134	6,377
	Covarianza	0	0	-0,001	0,036
	N	180	180	180	180
Sólidos No Grasos (X <sub>2</sub> )	Correlación de Pearson	0,057	1	0,073	-0,051
	Sig. (bilateral)	0,446		0,331	0,498
	Suma de cuadrados y productos cruzados	0,02	1,591	0,24	-32,833
	Covarianza	0	0,009	0,001	-0,183
	N	180	180	180	180
Sólidos Totales (X <sub>3</sub> )	Correlación de Pearson	-,186*	0,073	1	0,071
	Sig. (bilateral)	0,012	0,331		0,343
	Suma de cuadrados y productos cruzados	-0,134	0,24	6,792	95,036
	Covarianza	-0,001	0,001	0,038	0,531
	N	180	180	180	180
Mésófilos Aerobios (X <sub>4</sub> )	Correlación de Pearson	0,045	-0,051	0,071	1
	Sig. (bilateral)	0,549	0,498	0,343	
	Suma de cuadrados y productos cruzados	6,377	-32,833	95,036	262660,244
	Covarianza	0,036	-0,183	0,531	1467,376
	N	180	180	180	180

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

La Tabla 3.20, contiene los estadísticos para cada par de características; se planteó como la correlación entre dos variables, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.21.

- No existe correlación significativa entre el par de variables
- Existe correlación significativa entre el par de variables

Tabla 3.21. Correlación entre variables.

Correlación entre variables	Nivel de significancia	Tipo de Correlación (Resultados)
$(X_1, X_2)$	0,446	Existe correlación significativa
$(X_1, X_3)$	0,012	No existe correlación significativa
$(X_1, X_4)$	0,549	Existe correlación significativa
$(X_2, X_3)$	0,331	Existe correlación significativa
$(X_2, X_4)$	0,498	Existe correlación significativa
$(X_3, X_4)$	0,343	Existe correlación significativa

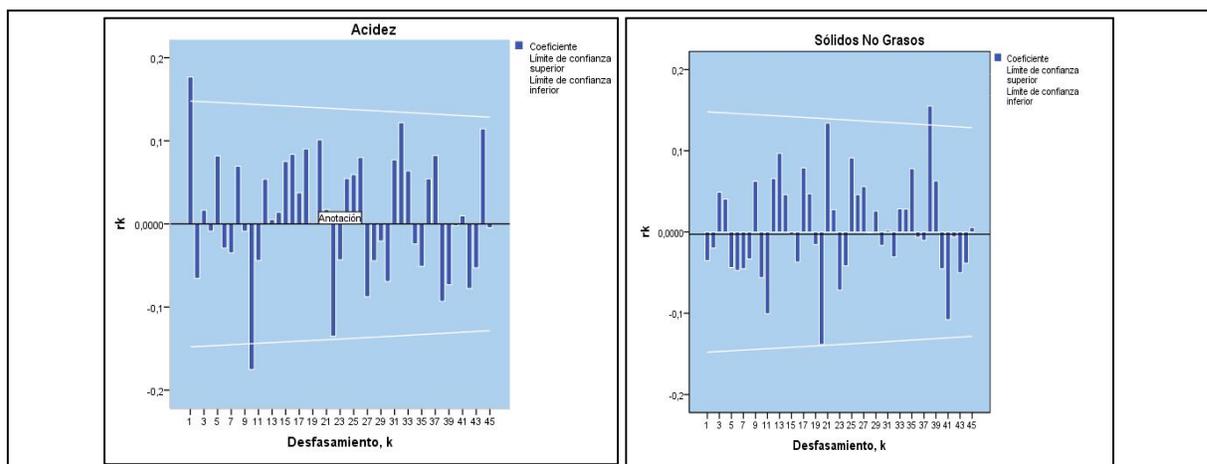
Según el nivel de significancia ( $\rho$ -value) hallado, se dedujo que no existe dependencia significativa entre la acidez ( $X_1$ ) y los sólidos totales ( $X_3$ ). Por otro lado se demuestra que la acidez ( $X_1$ ) ésta correlacionada con los sólidos no grasos ( $X_2$ ) y el recuento de mésofilos aerobios ( $X_4$ ). Igualmente, los sólidos no grasos ( $X_2$ ) están correlacionados con los sólidos totales ( $X_3$ ) y el recuento de mésofilos aerobios ( $X_4$ ). Finalmente los sólidos totales ( $X_3$ ) están correlacionados con el recuento de mésofilos aerobios ( $X_4$ ). Dado que de 6 análisis, 5 presentaron correlación, es justificable la utilización del control estadístico multivariado para la identificación de las causas asignables de variación en el proceso.

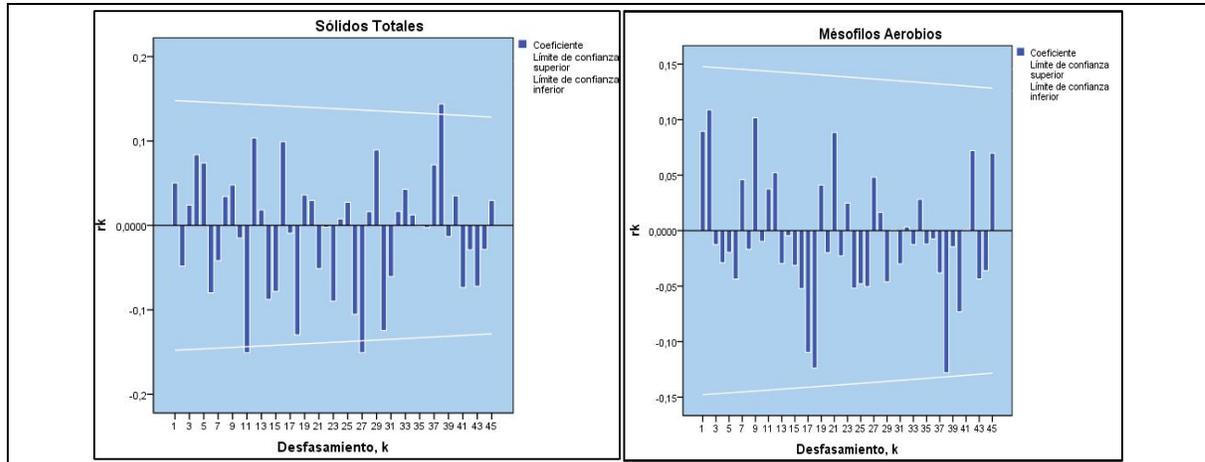
**Paso 1.2. Evaluación de la autocorrelación para cada una de las características de calidad.**

Para determinar la presencia de autocorrelación muestral para cada una de las características críticas, se aplicó la ecuación 6. El desfaseamiento ( $k$ ) utilizado de acuerdo a la regla general, fue la cuarta parte de un total de 45 muestras.

A continuación se presenta en la Figura 3.7, la función de autocorrelación muestral para cada característica crítica. Las líneas horizontales de la gráfica corresponden a los límites de dos desviaciones estándar para el parámetro de autocorrelación  $\rho_k$  con el desfaseamiento  $k$ .

Figura 3.7. Función de autocorrelación.





Para la acidez, se puede observar, que hay dos casos de presencia de autocorrelación, el primero con el desfase 1 es  $r_1 = 0,177$ , y el segundo, con el desfase 10, un  $r_{10} = -0,175$ . Ambos valores lo suficientemente grandes para causar distorsión en el desempeño, lo cual es suficiente para concluir que la acidez presenta autocorrelación.

En el caso de los sólidos no grasos, se puede observar que el desfase en 38  $r_{38} = 0,155$ ; un valor lo suficientemente grande para causar distorsión en el desempeño y suficiente para concluir que los sólidos no grasos presentan autocorrelación.

Con respecto a los sólidos totales, se puede observar, que hay tres casos de presencia de autocorrelación, con el desfase 11  $r_{11} = -0,151$ , con el desfase 27  $r_{27} = -0,151$  y con el desfase 44  $r_{44} = 0,144$ , siendo estos valores lo suficientemente grandes para causar distorsión en el desempeño y suficiente para concluir que los sólidos totales presentan autocorrelación.

En los mesófilos aerobios, se puede observar, que no hay presencia de autocorrelación, puesto que ningún valor sobrepasa los límites de confianza.

Dado que 3 características críticas de calidad ( $X_1, X_2, X_3$ ) presentaron autocorrelación, fue necesario aplicar el modelo de predicción Emwa-Arima a cada una de éstas para transformar los datos en incorrelacionados y aplicar el control estadístico multivariado para la identificación y eliminación de las causas asignables de variación.

### Paso 1.3. Cálculo de predicción de Emwa para datos correlacionados

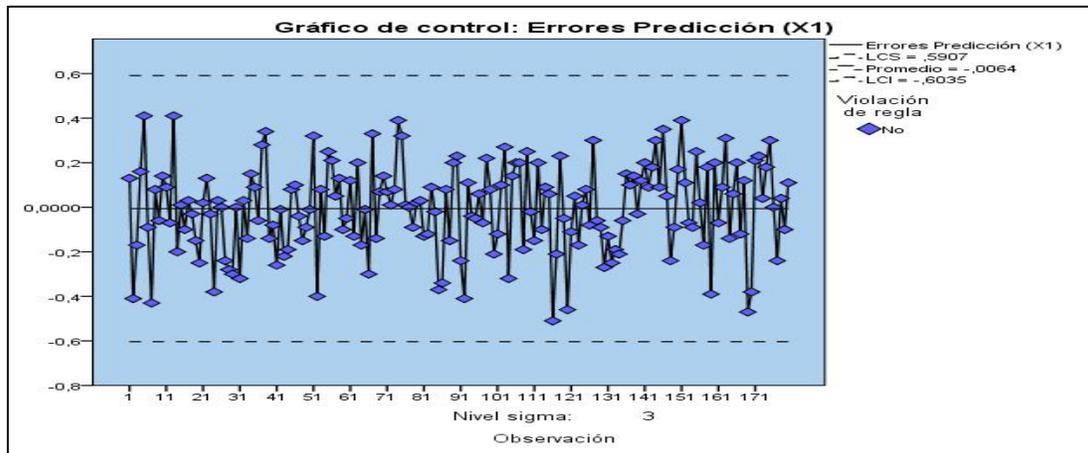
Para aplicar el modelo Emwa-Arima a cada una de las características que presentaron autocorrelación, se utilizó un  $\lambda$  inicial de 0.05, por ser la mediana del intervalo de valores que puede tomar este parámetro ( $0 < \lambda \leq 1$ ). Luego, por medio del método de mínimos cuadrados, se encontró un valor apropiado de  $\lambda$  como excelente predictor del pronóstico siguiente, minimizando la suma de los cuadrados de los errores de predicción o residuos. Los datos utilizados en el análisis de los mínimos cuadrados para hallar los valores de  $\lambda$  para las características se encuentran en el Anexo M.

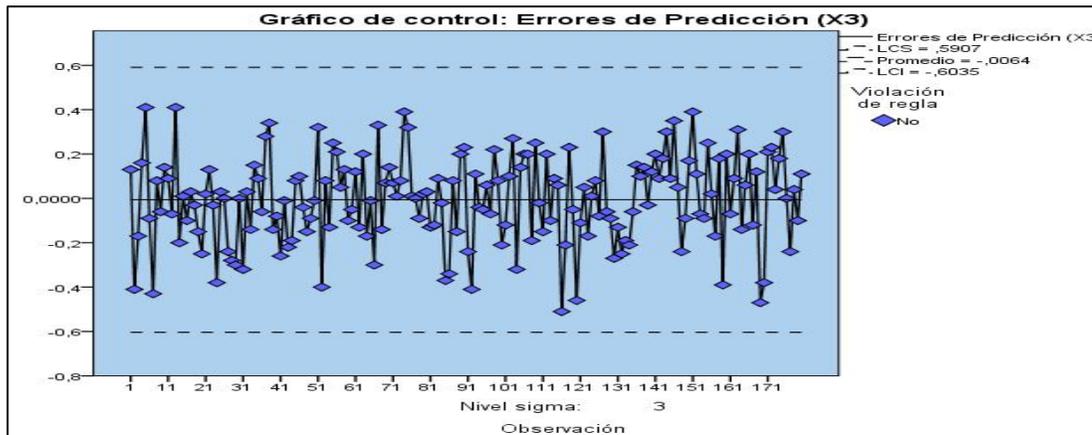
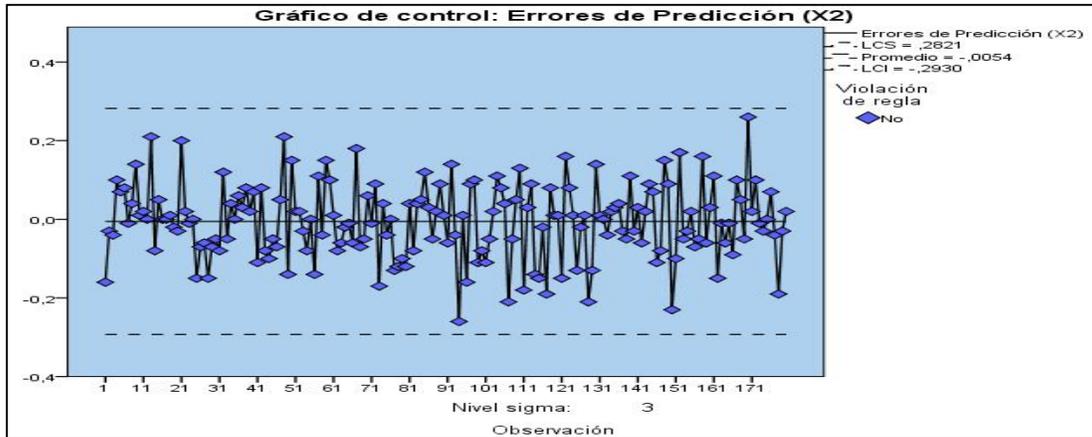
Se usaron las ecuaciones 7, 8 y 9 para aplicar el modelo de predicción y hallar los errores de predicción. Los resultados se muestran en el Anexo N para cada una de las características. Los errores de predicción fueron calculados utilizando un valor de  $\lambda$  que minimizará la suma de sus cuadrados.

**Paso 1.4. Análisis de los Residuos**

La verificación de la efectividad de la aplicación del modelo de predicción Emwa-Arima para datos autocorrelacionados, se realizó mediante la carta de control con los errores de predicción  $e_t$  (o residuales del modelo) con  $\lambda = 0,06$  para  $(X_1)$ ,  $\lambda = 0,02$  para  $(X_2)$  y  $\lambda = 0,04$  para  $(X_3)$ . En la Figura 3.8 se presentan los resultados de los gráficos de control para los residuales correspondientes a cada característica.

Figura 3.8. Carta de control para los errores de predicción de la acidez, sólidos no grasos y sólidos totales





Como se puede observar en la Figura 3.8, ninguna carta presentó puntos fuera de control; por lo tanto, el modelo de predicción fue efectivo para eliminar la autocorrelación de los datos. Cumplidos los tres supuestos de normalidad, correlación e independencia fue posible aplicar el control estadístico multivariado en la siguiente etapa.

## Etapa 2. Análisis de datos $T^2$ Hotelling

En esta etapa se aplicó el control estadístico multivariado mediante la construcción del gráfico de Hotelling  $T^2$  a las cuatro características de calidad.

### Paso 2.1. Medición Estadístico $T^2$ de Hotelling

Los cálculos del estadístico  $T^2$  se efectuaron aplicando la ecuación 10. Se tuvo en cuenta la naturaleza del proceso para definir el tamaño del subgrupo de  $n = I$ ; el número de muestras es  $m = 180$  y  $p = 4$  características y las dos estimaciones de las matrices de covarianzas que se muestran a continuación:

El primer estadístico  $T^2$ , se construyó con el estimador de la matriz de covarianza  $S_I$  de la ecuación 11:

$$S_I = 1.0e+03 * \begin{matrix} 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 \\ -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0006 \end{matrix}$$

$$0.0000 \quad -0.0002 \quad 0.0006 \quad 1.5112$$

Para hallar el estadístico  $T^2$  fue necesario calcular la inversa de la matriz  $S_1$ :

$$S_1^{-1} = 1.0e+03 * \begin{matrix} 2.3753 & -0.0312 & 0.0503 & -0.0001 \\ -0.0337 & 0.1135 & -0.0048 & 0.0000 \\ 0.0491 & -0.0044 & 0.0272 & -0.0000 \\ -0.0001 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \end{matrix}$$

El segundo estadístico  $T^2$ , se construyó con el segundo estimador la matriz de covarianza  $S_2$  de la ecuación 12:

$$S_2 = 1.0e+03 * \begin{matrix} 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0001 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 \\ -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0004 \\ 0.0001 & -0.0002 & 0.0004 & 1.3620 \end{matrix}$$

La inversa de la matriz  $S_2$ :

$$S_2^{-1} = 1.0e+03 * \begin{matrix} 2.8654 & -0.0230 & 0.0677 & -0.0002 \\ -0.0230 & 0.1070 & -0.0045 & 0.0000 \\ 0.0677 & -0.0045 & 0.0287 & -0.0000 \\ -0.0002 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \end{matrix}$$

Finalmente, los valores del estadístico  $T^2$  hallados al aplicar la ecuación 10 mediante las matrices de covarianza  $S_1$  y  $S_2$  se encuentran en el Anexo Ñ.

### Paso 2.2. Cálculo de los límites de Control

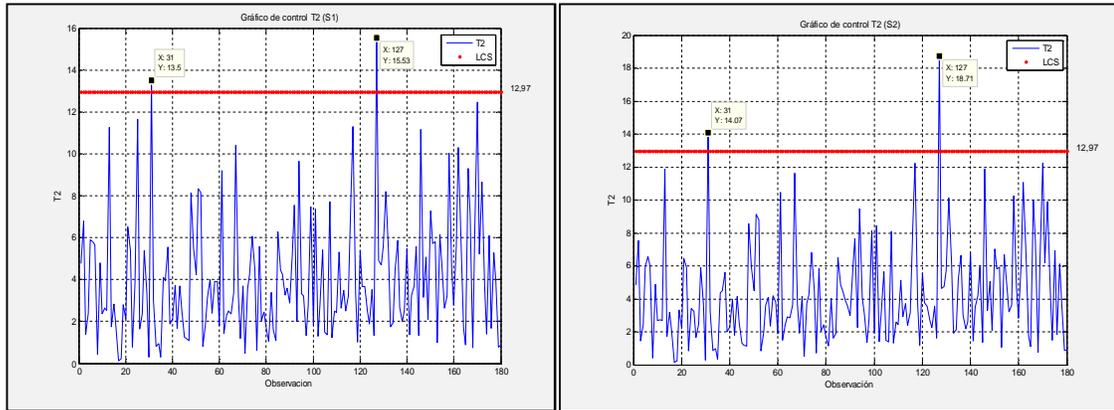
Los valores de los límites de control se hallaron aplicando las ecuaciones 13 y 14. Los parámetros fueron:  $p=4$  y  $\alpha=0,01$ . Los resultados obtenidos fueron:

$$\begin{aligned} F_{(0,01,4,175)} &= 3,438 \\ \beta_{(0,01,2,87,5)} &= 0,0728 \\ ULC &= 12,97 \text{ y } LCL = 0 \end{aligned}$$

### Paso 2.3. Construcción gráficos de control multivariados

A partir del estadístico  $T^2$  y los límites de control se construyeron los dos gráficos de control multivariados con las respectivas estimaciones de las covarianzas. Las señales fuera de control fueron los estadísticos  $T^2$  que estuvieron por fuera de los límites  $ULC$  y  $LCL$  ( $T^2 > ULC$  y  $T^2 < LCL$ ) (ver Anexo Ñ). En la Figura 3.9 se ilustra el gráfico multivariado  $T^2$  a partir de la matriz de covarianza  $S_1$  y  $S_2$

Figura 3.9. Gráfico de control  $T^2$  a partir de la matriz de covarianza  $S_1$  y  $S_2$



En los gráficos  $T^2 (S_1)$  y  $T^2 (S_2)$  se presentan los resultados para las cuatro variables, calculando el estadístico  $T^2$  a partir del estimador de la matriz de covarianza  $S_1$  y  $S_2$ . Para  $T^2 (S_1)$  se observan 2 puntos fuera del límite de control superior, equivalentes a las observaciones tomadas en los momentos 31 y 127, por lo cual se infiere que el proceso está fuera de control. Para  $T^2 (S_2)$  se observan 2 puntos fuera del límite de control superior, equivalentes a las observaciones registradas en los momentos 31 y 127, por lo cual se infiere que el proceso está fuera de control.

Ambas cartas, presentaron los mismos 2 puntos por fuera de control, lo que se infiere que las dos matrices de covarianza no son significativamente diferentes estadísticamente, dado que requirieron el mismo tiempo para identificar una señal por fuera del límite, luego de haber detectado un cambio significativo en la media. De acuerdo con lo anterior, fue necesario identificar las causas asignables de variación y determinar si es posible o no su eliminación para llevar el proceso a un estado de control, con el fin de hallar la capacidad multivariante y pasar a la Fase 3.

### **Eta 3. Identificación y eliminación de las causas asignables de variabilidad: descomposición estadístico $T^2$ de Hotelling**

Para cada una de las  $p$  características estandarizadas, se aplicó la ecuación 16 para descomponer el estadístico  $T^2$  calculando su valor sin incluir una de las  $i$  características, con el fin de determinar la contribución de dicha variable al valor total del estadístico. Asimismo, la estandarización se realizó utilizando la ecuación 17 (Anexo Ñ). Como se observa las dos señales fuera de control detectadas corresponden a inconsistencias en la variable  $X_4$  (Recuento de mésofilos aerobios), puesto que la diferencia  $d_4$  fue la mayor.

- **Eliminación causas asignables**

En el gráfico de control multivariado, se observaron dos puntos fuera de control correspondientes a la característica  $X_4$ ; para tal fin, se realizó la trazabilidad en la operación de pasteurización lenta.

Se halló que la muestra 31 fue tomada durante el primer lote de producción después de realizar las actividades de mantenimiento y limpieza del tanque y sus equipos periféricos; la causa fue la descalibración en los controladores de tiempo/temperatura. En el momento 127, al efectuar el enfriamiento o choque térmico después de la pasteurización, la causa de la señal fuera de control, fue un abandono en el control de la temperatura del agua circulante, puesto que fue necesario una mayor cantidad de tiempo para que la leche lograra estar en la temperatura requerida, por lo tanto, se presentaron microorganismos, que aumentaron la cuenta de agentes microbianos.

Como sólo se identificaron dos puntos fuera control y las causas se pudieron encontrar y eliminar, se construyó de nuevo el gráfico de control multivariado para verificar que las causas asignables fueron removidas.

### • Medición del estadístico $T^2$ de Hotelling

Para la construcción del segundo gráfico de control, después de eliminar las 2 causas asignables de variación, se aplicó la ecuación 10, el tamaño del subgrupo fue  $n = 1$ , el número de muestras  $m = 178$  y  $p = 4$  características y las dos estimaciones de las matrices de covarianzas que se muestran a continuación.

Para determinar el primer estadístico  $T^2$  después de remover las causas asignables, se utilizó la matriz de covarianza  $S_1$  de la ecuación 11:

$$S_1 = \begin{matrix} 1.0e+03 * \\ \begin{matrix} 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 \\ -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0007 \\ 0.0000 & -0.0002 & 0.0006 & 1.5514 \end{matrix} \end{matrix}$$

Para hallar el estadístico  $T^2$  fue necesario calcular la inversa de la matriz  $S_1$ :

$$S_1^{-1} = \begin{matrix} 1.0e+03 * \\ \begin{matrix} 2.3695 & -0.0359 & 0.0488 & -0.0001 \\ -0.0378 & 0.1152 & -0.0040 & 0.0000 \\ 0.0446 & -0.0044 & 0.0277 & -0.0000 \\ -0.0001 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \end{matrix} \end{matrix}$$

El segundo estadístico  $T^2$  después de remover las causas asignables, se construyó con el segundo estimador la matriz de covarianza  $S_2$  de la ecuación 12:

$$S_2 = \begin{matrix} 1.0e+03 * \\ \begin{matrix} 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0001 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 \\ -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0005 \\ 0.0001 & -0.0002 & 0.0005 & 1.2592 \end{matrix} \end{matrix}$$

El segundo estadístico  $T^2$ , se construyó con la matriz de covarianza  $S_2$ :

$$S_2^{-1} = \begin{matrix} 1.0e+03 * \\ \begin{matrix} 2.9237 & -0.0347 & 0.0618 & -0.0002 \\ -0.0347 & 0.1066 & -0.0034 & 0.0000 \\ 0.0618 & -0.0034 & 0.0290 & -0.0000 \\ -0.0002 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \end{matrix} \end{matrix}$$

Así, los nuevos valores del estadístico  $T^2$  sin causas asignables de variación calculados mediante las matrices de covarianza  $S_1$  y  $S_2$ , se encuentran en el Anexo O.

- **Cálculo de los límites de Control**

Los nuevos valores de los límites de control se hallaron con los mismos parámetros utilizados para los límites iniciales, con 178. Los resultados obtenidos fueron:

$$F_{(0,01,4,173)}=3,44073$$

$$\beta_{(0,01,2,87,5)}=0,07369$$

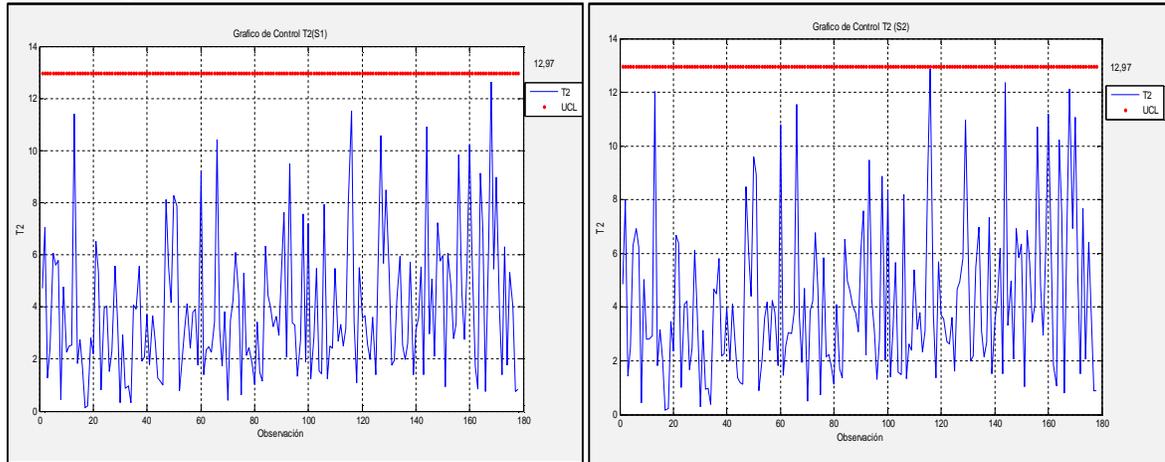
$$UCL=12,97 \text{ y } LCL=0$$

Los puntos por fuera de control se identifican cuando  $T^2 > UCL$ .

- **Construcción gráfico de control multivariado**

Se construyó el grafico de control multivariado con los valores del estadístico  $T^2$  y los límites de control con las dos matrices de covarianza utilizadas, como se presentan en la Figura 3.10.

Figura 3.10. Gráfico de control  $T^2$  a partir de la matriz de covarianza  $S_1$  y  $S_2$



Como se puede observar en la Figura 3.10, los gráficos construidos con la matriz de covarianza  $S_1^{-1}$  y  $S_2^{-1}$  después de eliminar las causas asignables de variación y volver a aplicar el control estadístico, no se detectó ninguna señal fuera de control, por lo tanto el proceso se encuentra controlado. Se calculó la capacidad multivariante y se continuó con la Fase 3 con control ingenieril para ajustarlo y disminuir la desviación de la media del objetivo deseado.

#### **Etapa 4. Medición capacidad multivariante**

En esta etapa se aplicó la ecuación 18 para hallar el valor de  $C_{pM}$ ; para tal fin se utilizó la matriz de covarianza general para las 4 características. Igualmente, se tomó la región de proceso con un nivel de significancia  $\alpha = 0.001$  y  $p = 4$  grados de libertad, para un valor de  $\chi^2_{(p,\alpha)} = 18,647$ . Los cálculos de las matrices inversas al igual que sus determinantes, se presentan en el Anexo P. Al aplicar la ecuación 19, se obtuvieron los límites para cada característica, como se muestran en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22. Límites de la región de proceso modificada

Variable	LSC	LIC
$X_1$	0,08751553	-0,084777525
$X_2$	0,39845715	-0,40934878
$X_3$	0,81568563	-0,828945726
$X_4$	280,061386	-32,22608513

El valor de la capacidad multivariante, se calculó a partir de la razón entre la región de tolerancia determinada por los límites de especificación y la región de control determinada por los límites de control modificados. La capacidad multivariante estimada del proceso fue:

$$C_{pM} = 0,3076$$

Como se puede observar, el cociente de los volúmenes de la región de tolerancia y de la región de proceso modificada es realmente bajo. Así, aunque el proceso se llevó a un estado de control, todavía no es capaz de cumplir con las especificaciones, por lo cual se requiere minimizar la variabilidad o desviación de la media frente al objetivo deseado para cada característica, por lo tanto es necesario el control ingenieril de procesos de la Fase 3.

### 3.1.3. Fase 3. Medición y análisis

A continuación se desarrolla la última etapa del Modelo de control en línea, correspondiente a la Medición y análisis, sujeta a los resultados de las dos anteriores de diagnóstico y ajuste y predicción y corrección.

#### Etapa 1. Determinación de las características críticas a ajustar

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Fase 2, la característica responsable de las señales fuera de control fue la variable  $X_4$  (Mésofilos aerobios); aunque las causas asignables fueron eliminadas, llevando el proceso a un estado de control, en el análisis de los datos históricos de dicha característica, se observó una alta variación de los datos respecto al valor objetivo deseado, causando una mayor dificultad para su control. Dicha característica es considerada como la de mayor importancia debido a los requerimientos de inocuidad.

#### Paso. 1.1. Cálculo de la variabilidad inicial

Para aplicar el modelo de control, fue necesario tener datos históricos de la característica de calidad a ajustar. Al aplicar la ecuación 20, según los datos históricos del recuento de mesofilos, la variabilidad inicial de la muestra respecto al valor objetivo ( $T=0$ ) fue 134,62.

#### Etapa 2. Definición de las variables manipulables

Debido a que la característica a controlar es  $X_4$  el recuento de mesófilos aerobios, el proceso directamente responsable es la pasteurización, que permite controlar los microorganismos

que alteran la leche, destruyéndolos o controlándolos por lo que es necesario regular los tratamientos térmicos. Así, la eficiencia de dicho proceso (porcentaje de reducción del número de microorganismos), depende de la temperatura de pasteurización, del tiempo de retención de esta temperatura, del número total de bacterias y del porcentaje que representan los microorganismos termodúricos con relación a la carga microbiana total.

La operación de la empresa es la pasteurización baja o lenta (tratamiento de retención de temperaturas: eficiencia del 95%), que no modifica significativamente las propiedades sensoriales y físico-químicas de la leche. Adicionalmente, otros factores que intervienen en la alteración de la leche pasteurizada, son la contaminación procedente del equipo en la operación de llenado de los envases, la posible presencia de enzimas microbianas residuales termo resistente y la temperatura de almacenamiento total.

De todos los factores que influyen en la eficiencia de la pasteurización para destruir la carga microbiana, fue necesario escoger aquellas variables que se pudieran manipular durante el proceso y que fuese de influencia en la destrucción de la carga microbiana. Así, las principales variables fueron tiempo y temperatura de calentamiento para la realización de los ajustes necesarios mediante el control de procesos.

### **Etapa 3. Diseño del controlador**

Es de aclarar que no se implementa el control automatizado por ser una solución altamente compleja y computacionalmente costosa que no es de fácil aplicación en contextos reales de la manufactura. Para el diseño del controlador, y en reemplazo de éste la alternativa es matemática, por lo tanto se requiere modelar la relación entre las entradas y salidas del proceso, primero se determinó el coeficiente de regresión entre la temperatura y el recuento de mesofilos aerobios, luego se realizó el pronóstico de las perturbaciones y finalmente se calculó el punto de ajuste.

#### **Paso 3.1. Índice de eficacia del proceso**

La experiencia empresarial lleva a la decisión de determinar el rango de tiempo - temperatura de pasteurización entre  $60 - 68$  °C durante 30 minutos; pero para comprobar el coeficiente de regresión fue necesario que este rango se elevara a  $71$  °C durante el mismo tiempo de retención.

- **Recolección de muestra**

Durante 4 días seguidos en el proceso de pasteurización, se tomaron 3 muestras cada día (12 muestras en total), se inició con leche cruda en el silo de almacenamiento para calcular el recuento inicial de mesofilos. Posteriormente, durante el tratamiento térmico (Figura 3.11), para la obtención de las muestras necesarias de la Fase 3, se tuvieron en cuenta los requisitos establecidos en la NTC 4519:2009, para evitar la posible contaminación con el medio externo y se ejecutaron los análisis microbiológicos.

Figura 3.11. Toma de muestras



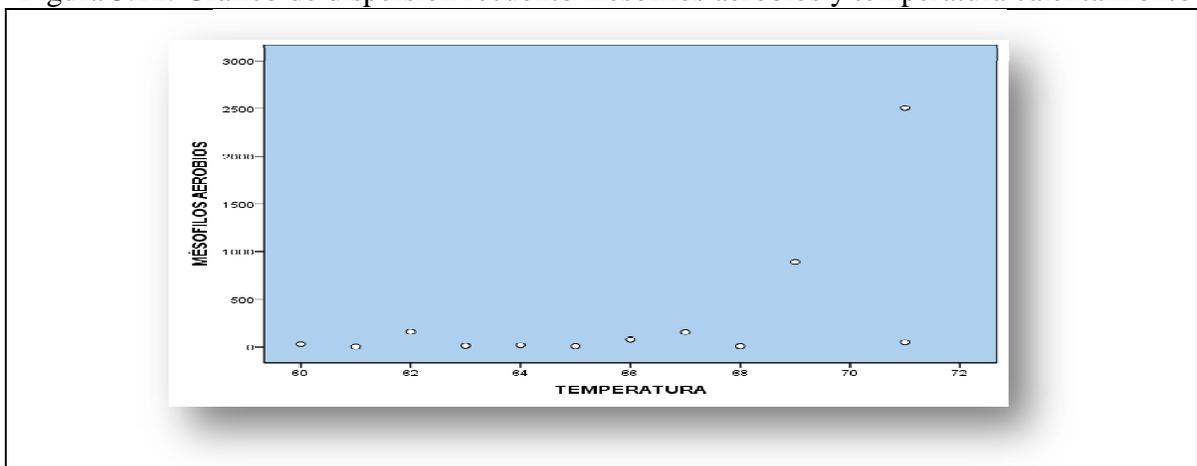
Fuente: Información suministrada por la empresa piloto uno.

Para determinar el coeficiente de regresión que corresponde al índice de eficacia del proceso se realizaron 12 experimentaciones con un intervalo de temperaturas desde 60 -71 °C con un tiempo constante de 30 minutos, como se presenta en la Tabla 3.23 y la Figura 3.12 que presenta el comportamiento de la característica de calidad a medida que se varía la temperatura, según los datos condensados del informe de laboratorio experimental de la Universidad de Caldas.

Tabla 3.23. Datos muestrales para la determinación del coeficiente de regresión

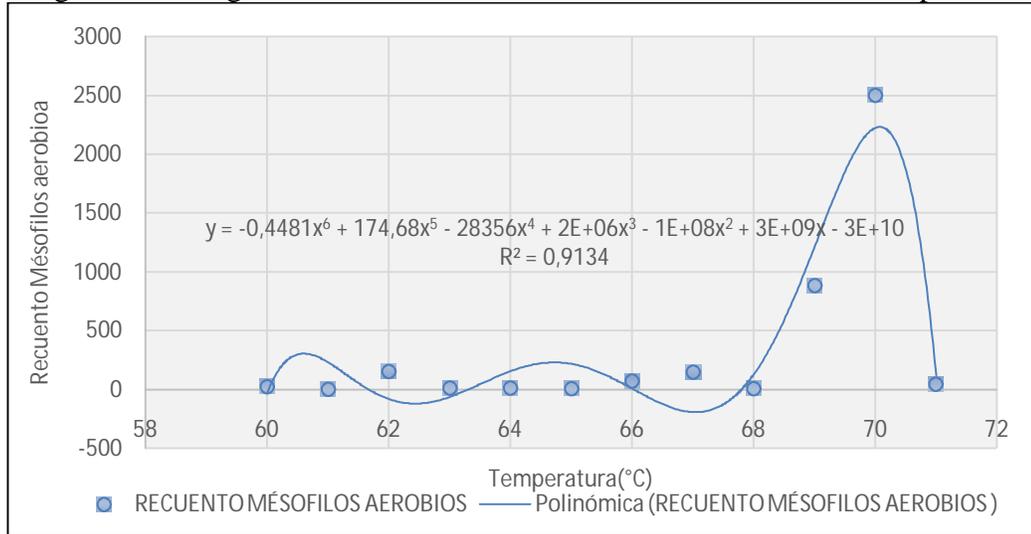
TEMPERATURA (°C)	( $X_4$ ) RECUENTO MÉSOFILOS AEROBIOS (UFC/g)
60	30
61	5
62	160
63	15
64	20
65	10
66	78
67	155
68	10
69	890
70	2505
71	50

Figura 3.12. Gráfico de dispersión recuento mesófilos aerobios y temperatura calentamiento



En el gráfico de dispersión de la Figura 3.12, se puede observar que los datos no siguen una relación lineal, tienen un comportamiento ciclico hasta la temperatura de 68 °C. Adicionalmente, hay dos puntos alterados que corresponden a las temperaturas 69 °C y 70 °C. Debido a lo anterior, se realizó un análisis de regresión curvilínea para determinar la relación entre el recuento de mesófilos aerobios y la temperatura de calentamiento; se ilustra en la Figura 3.13.

Figura 3.13. Regresión curvilínea recuento mesófilos aerobios vs. temperatura



Como se puede observar en la Figura 3.13, mediante la estimación curvilínea, la relación entre la variable manipulable y la característica de calidad es polinómica de orden 6, con un  $R^2 = 0,9134$ . Sin embargo, con el fin de aplicar el modelo y determinar los correspondientes puntos de ajustes, la eficacia del proceso se halló a partir de una regresión lineal y fue necesario linealizar los datos, mediante el cálculo de las derivadas de la función, por la cual fue posible aproximar la función polinómica de orden 6 a una función lineal de orden 1 (se puede generalizar, siempre que la función  $f$  tenga suficientes derivadas). Una vez derivada la función polinómica, al aplicar las ecuaciones 21, 22 y 23, el índice fue:

$$IEx_t = -19,4916x_t + 1305,6$$

### Paso 3.2. Pronóstico de la perturbación

Una vez calculado el índice de eficacia del proceso, es posible determinar el pronóstico de las perturbaciones. Éstas se pronosticaron utilizando EMWA con  $\lambda=0,1$ . El valor a emplear de  $\lambda$  fue hallado mediante el procedimiento EMWA-ARIMA aplicado a 50 salidas del proceso no ajustado; éste fue usado para hallar los pronósticos y errores de predicción, los cuales fueron minimizados por el método de mínimos cuadrados (ver Anexo Q). Entonces, el pronóstico de la perturbación en  $N_{t+1}$  un período posterior, se calculó aplicando la ecuación 25, así:

$$\begin{aligned} \hat{N}_{t+1} &= \hat{N}_t + 0,1r_t = \hat{N}_t + 0,1(N_t - \hat{N}_t) \\ &= \hat{N}_t + 0,1(N_t - \hat{N}_t) = 0,2N_t + 0,9\hat{N}_t = 0,1(y_t - 0) + 0,9\hat{N}_t \end{aligned}$$

### Paso 3.3. Cálculo del punto de ajuste

Teniendo en cuenta el índice de eficacia del proceso y el pronóstico de las perturbaciones en el tiempo  $t$ , el punto de ajuste de la temperatura en el proceso de pasteurización al final del período  $t$  aplicando las ecuaciones 26 a 32 fue:

$$\begin{aligned} -19,4916x_t + 1306,5 &= -[0,1(y_t - 0) + 0,9\hat{N}_t] \\ -19,4916x_t &= -[0,1(y_t - 0) + 0,9\hat{N}_t] \\ x_t &= \frac{0,1}{19,4916}(y_t - 0) \end{aligned}$$

### Etapa 4. Construcción de la carta de ajuste

En esta etapa se construyó carta de ajuste para el monitoreo de los ajustes necesarios en la variable manipulable. Ésta se realizó con los parámetros del modelo de predicción Emwa-Arima.

#### Paso 4.1. Cálculo parámetros de la carta de ajuste

Los parámetros utilizados en el cálculo de los límites del gráfico Emwa fueron  $\lambda=0,1$ ;  $m=2,6$ ;  $-L=-80$  y  $+L=+80$ . Igualmente, el  $\hat{\sigma}_{EMWA}$  se utilizó para encontrar la amplitud aproximada de los límites de control, la cual fue de  $2,6\hat{\sigma}_{EMWA}$ . Con esto, los límites de control de la carta de ajuste fueron  $L=-80$  o  $L=80$ .

Así, se aplicó la ecuación 33 para hallar el valor de  $\hat{\sigma}_{EMWA}$  como se muestra a continuación.

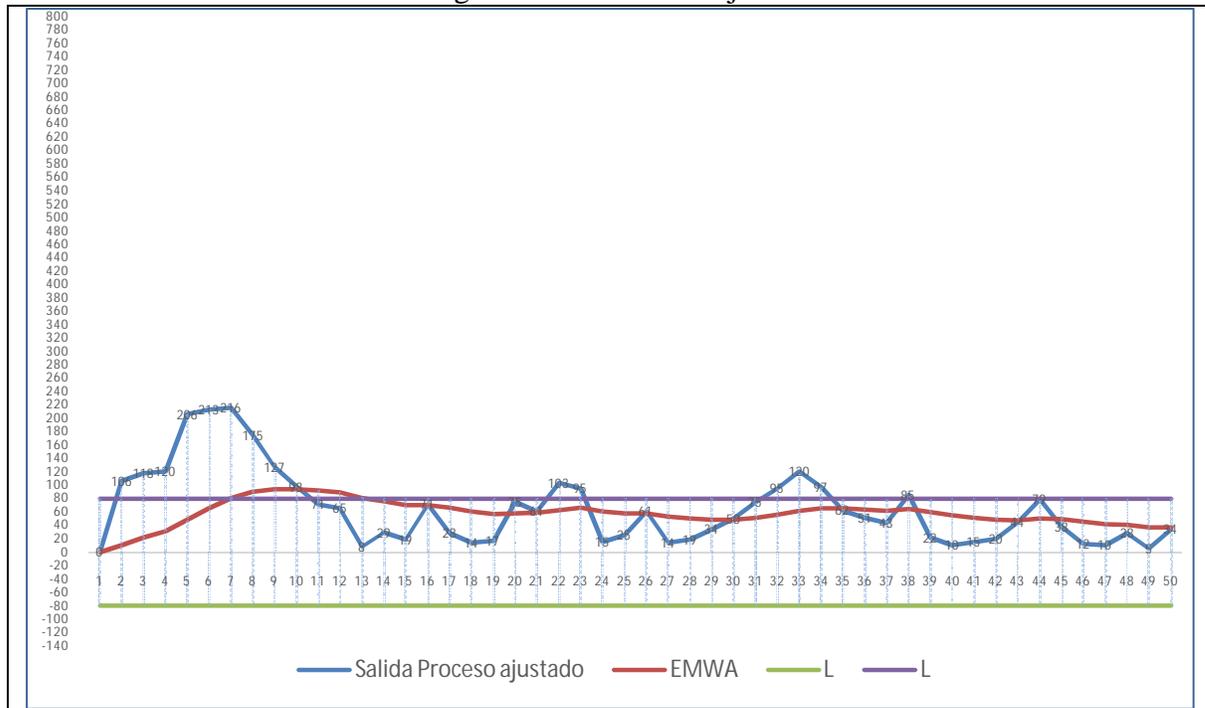
$$\hat{\sigma}_{EMWA} = \sqrt{\frac{0,1}{2 - 0,1}} 134,62$$

$$\hat{\sigma}_{EMWA} = 30,88$$

#### Paso 4.2. Realización de ajustes

El punto de ajuste se aplicó a 50 ciclos del proceso; las salidas se monitorearon con el gráfico de control de los pronósticos de Emwa. De esta forma, en la Figura 3.14 se presenta la carta de ajuste acotada, en la cual se hizo un ajuste únicamente en los períodos en los cuales el pronóstico Emwa estuvo fuera de las cotas dadas por  $L=-80$  y  $L=80$ . En el Anexo R se presentan los datos utilizados para la carta de ajuste, los cálculos del Emwa y los arreglos de la temperatura. Es importante anotar que la temperatura base inicial para aplicar el control ingenieril de procesos fue  $60^\circ\text{C}$ .

Figura 3.14. Carta de Ajuste



Como se puede observar en la Figura 3.14, el comportamiento de los pronósticos Emwa para las salidas del proceso presentan un comportamiento creciente hasta el período  $t = 7$ , período en el cual sobrepasa la cota superior  $L=80$ . A partir de este periodo se aplica el primer punto de ajuste y se hace un cambio en la variable manipulable en una unidad, incrementándose la temperatura a  $61^{\circ}\text{C}$  en el periodo  $t = 8$  y siendo necesario realizarse otros tres ajustes en la variable manipulable hasta obtener una temperatura de  $64^{\circ}\text{C}$  en el  $t = 11$  periodo a partir del cual, el pronóstico de Emwa empezó a decrecer quedando por debajo de la cota superior en el periodo el  $t = 14$ . A partir de este periodo el pronóstico Emwa se mantiene por debajo de la cota superior por lo que ya no es necesario realizar más ajustes. Finalmente sólo es necesario realizar 4 ajustes en las 50 observaciones.

### Etapa 5. Validación del Modelo

Se aplicó la ecuación 20 para calcular la variabilidad final de las 50 mediciones aplicadas a la característica de  $X_4$ : Mesófilos aerobios del proceso ajustado. Luego, se aplicó la Ecuación 36, para calcular la reducción de la variabilidad funcional. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24. Reducción de la variabilidad

Cálculos	Proceso no Ajustado	Proceso Ajustado
Suma de Cuadrados de las desviaciones del objetivo	906085	352002
Desviación promedio del objetivo	134,62	63,96
<b>Reducción Variabilidad</b>		<b>52,49%</b>

Como se puede observar en la Tabla 3.24, la variabilidad final en la salida ajustada alrededor del objetivo obtuvo una reducción del **52,49%** respecto a la variabilidad inicial. Esto valida la aplicación del modelo de control propuesto.

### 3.2. Resultados de la empresa piloto dos.

A continuación se presentan los resultados de la empresa dos, como se estructuró el modelo en fases, etapas y pasos.

Como una ampliación de la aplicación del Modelo Integral de Control en Línea, para mejorar la función de calidad en esta Tesis Doctoral, en la presente sección se muestran los resultados obtenidos de la implementación en la empresa piloto dos. Igual como se expuso para la empresa piloto uno, se parte de las etapas y actividades de Diagnóstico y Ajuste, Predicción y Corrección y Medición y Análisis.

#### 3.2.1. Fase 1. Diagnóstico y ajuste

La Etapa 1. **Caracterización del producto y del proceso**, compuesta por Paso 1.1. **Descomposición del producto** da respuesta al Decreto 616 del 2006 según Figura 3.1 del análisis de la empresa (ver Anexo E). En la Tabla 3.25 se presentan las relaciones de las características de calidad de la leche pasteurizada según ésta segunda empresa.

Tabla 3.25. Características de calidad de la Leche pasteurizada

CARACTERISTICAS DE CALIDAD										
FISICO - QUIMICAS								MICRO BIOLÓGICAS		
Requerimientos de Diseño		Crioscopico	Acidez	Grasa	Valor nutritivo	Sólidos	Peroxidasa	Fosfatasa	Mesofilos	Coliformes
Requerimiento del Cliente	Importancia	8	8	8	8	8	8	8	10	10
Pureza	10	1				5			1	3
Sabor	9		5	1					3	3
Color	9			1		1				
Olor	9		1			1			3	3
Textura	9	5		1		3				1
Saludable	10			5	5	3	1	1	5	1
Económica	5									
TOTAL		55	54	77	50	125	10	10	114	103
Especificaciones	Unidad						(+)	(-)		
	Valor objetivo	-0.541	0.15	3.20	3.1	11.65	(+)	(-)	0	1
	LCL	-0.55	0.13	3.00	2.97	11.3	(+)	(-)	0	0
	UCL	-0.53	0.17	3.40	3.5	11.7	(+)	(-)	200	3

Según la Tabla 3.25, los sólidos, los mesófilos y coliformes son las características de calidad de mayor impacto, que fueron tenidas en cuenta para la evaluación en la matriz de variabilidad.

### Paso 1.2. Descomposición del proceso productivo

En la Tabla 3.26. se presentan las relaciones entre las características y la cadena del proceso.

Tabla 3.26. Caracterización del proceso de Leche

			CADENA DEL PROCESO							
			Inspección	Espera	Filtración	Desaireación	Homogenización	Pasteurización	Empaque	Refrigeración
Etapas críticas	Valor objetivo	Importancia	6	5	8	7	9	10	5	9
Crioscopico	-0.541	8	1							
Acidez	0.15	8	1					5		
Grasa	3.20	8	1			3	5			
Valor nutritivo	3.10	8	1							
Sólidos	11.65	8	1		3					
Peroxidasa	(+)	8	1					5		
Fosfatasa	(-)	8	1					5		
Mesofilos	150.00	10	1	1	3			5	3	5
Coliformes	1	10	1	1	3			5	3	3
Total			76	20	84	24	40	220	60	80

En la Tabla 3.26 la etapa de mayor importancia con una ponderación de 220 es la pasteurización.

### Etapa 2. Identificación de los problemas de calidad y sus causas

Se realizó la identificación de los problemas de calidad de la empresa piloto dos de acuerdo al instrumento elaborado para tal fin, e incluido dentro del diagnóstico preliminar de las empresas de alimentos mediante el análisis 1) **análisis univariado** como se muestran en la Tabla 3.3, 3.4 y 3.5 y la Figura 3.2; 2) **análisis de la normalidad** mostrados en la Figura 3.3 y la tabla 3.6; 3) **análisis bivariado** sustentado en las Tablas 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11, y 4) **análisis de correlación** según la Tabla 3.12 y la Figura 3.4. Igualmente, para interpretar el coeficiente de correlación se estableció la escala para la significancia de la correlación en la Tabla 3.13.

### Etapa 3. Evaluación de la Variabilidad

Se realizó mediante la Matriz de variabilidad a partir de las características del producto, la capacidad del proceso y el costo.

#### Paso 3.1. Cálculo del tamaño de la muestra y prueba de normalidad

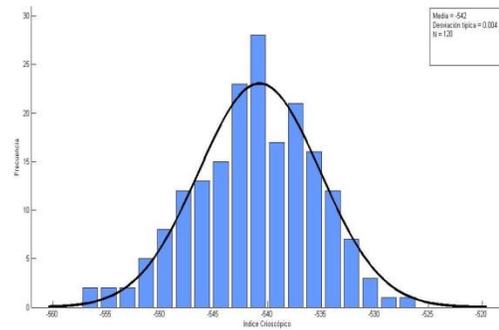
Para el cálculo del tamaño de la muestra por día, se tuvo en cuenta la producción diaria de leche pasteurizada para un total de 120 muestras. (ver Anexo II).

**En la Prueba de Normalidad** las características a las cuales se les aplico el test de normalidad son: crioscopico, acidez, grasa, valor nutricional, sólidos, mesófilos.

Figura 3.15. Prueba de normalidad de las características de calidad

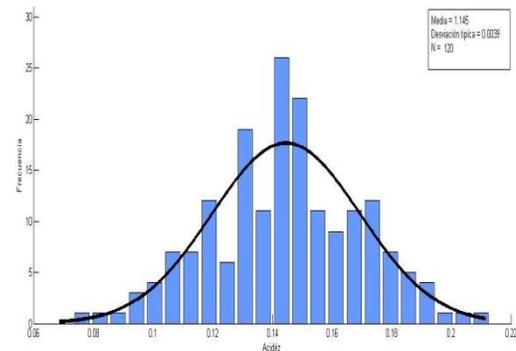
➤ Prueba de normalidad Crioscopico.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		<b>Crioscopico</b>
N		120
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	-,50000
	Desviación típica	,005100
Diferencias más extremas	Absoluta	,030
	Positiva	,025
	Negativa	-,030
Z de Kolmogorov-Smirnov		,470
Sig. asintót. (bilateral)		,975



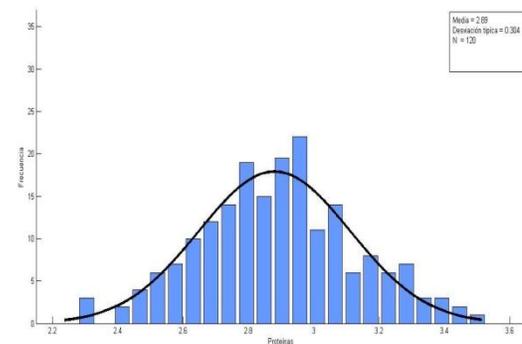
➤ Prueba de normalidad Acidez

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		<b>Acidez</b>
N		120
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,1400
	Desviación típica	,02070
Diferencias más extremas	Absoluta	,055
	Positiva	,055
	Negativa	-,040
Z de Kolmogorov-Smirnov		,744
Sig. asintót. (bilateral)		,635



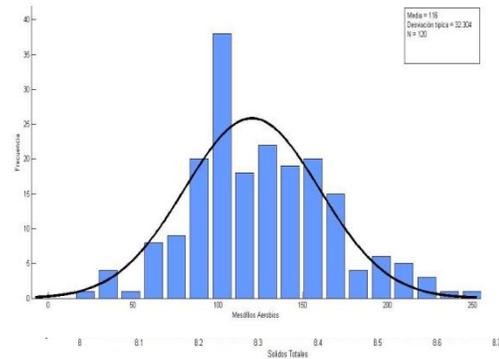
➤ Prueba de normalidad Valor nutricional

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		<b>Valor nutricional</b>
N		120
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	2,97005
	Desviación típica	,20210
Diferencias más extremas	Absoluta	,040
	Positiva	,040
	Negativa	-,030
Z de Kolmogorov-Smirnov		,530
Sig. asintót. (bilateral)		,930



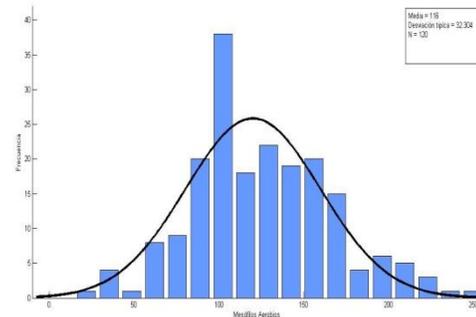
### ➤ Prueba de normalidad Sólidos

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Sólidos
N		120
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	8,2040
	Desviación típica	,09500
Diferencias más extremas	Absoluta	,50
	Positiva	,35
	Negativa	
Z de Kolmogorov-Smirnov		-,055 ,7605 ,592



### ➤ Prueba de normalidad Mesófilos

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Mesófilos
N		120
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	124,150
	Desviación típica	39,100
Diferencias más extremas	Absoluta	,087
	Positiva	,087
	Negativa	-,050
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,170
Sig. asintót. (bilateral)		,13010



Los resultados de la Figura 3.15, se comprueba la normalidad de los datos.

### Paso 3.2. Medición de la capacidad de proceso

Para calcular la capacidad de proceso, se determinaron los límites de especificación, la media, la desviación estándar, el valor objetivo y la constante  $d_2$  (ver Anexo J) para cada característica de calidad, relacionados en la Tabla 3.27

Tabla 3.27. Índices de Capacidad de proceso de características de calidad

Variables	UCL	LCL	$\hat{C}_p$	$\hat{C}_{pm}$
<i>Crioscopico</i>	-0,550	-0,600	0,6232	0,630
<i>Acidez</i>	0,15	0,13	0,350	0,311
<i>Grasa</i>	3,4	3	0,6507	0,6507
<i>Valor nutricional</i>	3,5	3	0,4485	0,3871
<i>Sólidos</i>	8,60	8,30	0,341	0,341
<i>Mesófilos</i>	210	0	0,890	0,300

### Paso 3.3. Cálculo de costos de variabilidad

Para la empresa los estimativos de los costos son confidenciales, reportando solo los costos totales por unidad para cada característica, como se muestra en la Tabla 3.28. Se calcularon el coeficiente de proporcionalidad  $K$ , los coeficientes  $K_{LCL}$  y  $K_{UCL}$  para cada característica, partiendo de la media, el valor objetivo y los costos como se muestra en la Tabla 3.29

(peroxidasa, fosfatasa, coliformes sin determinar). Con los límites de especificación, se construyeron para las características, los gráficos de control univariado *X-barra*, los resultados se muestran en la Figura 3.16

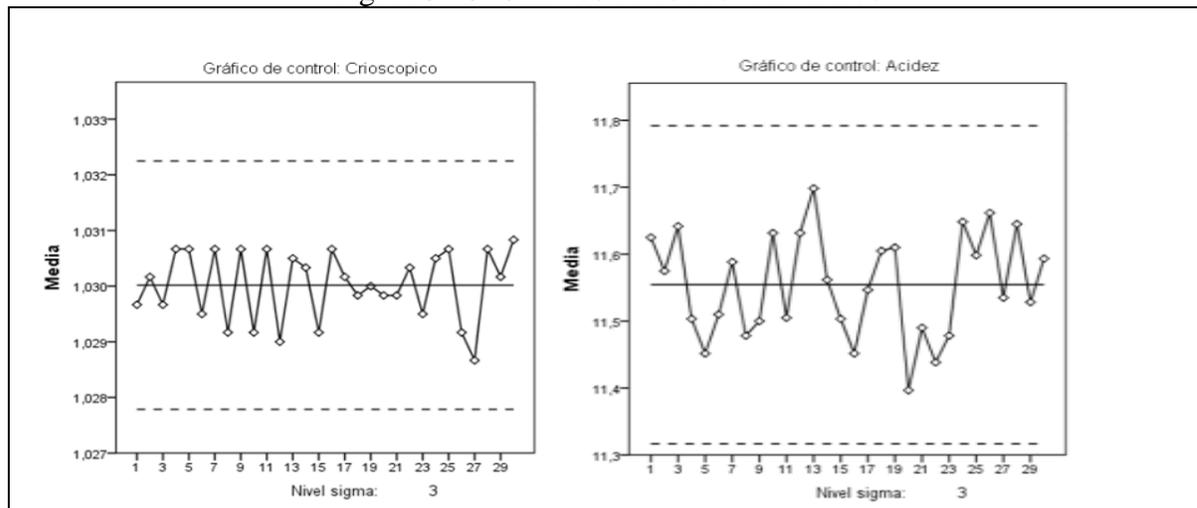
Tabla 3.28. Costo total/unidad producida

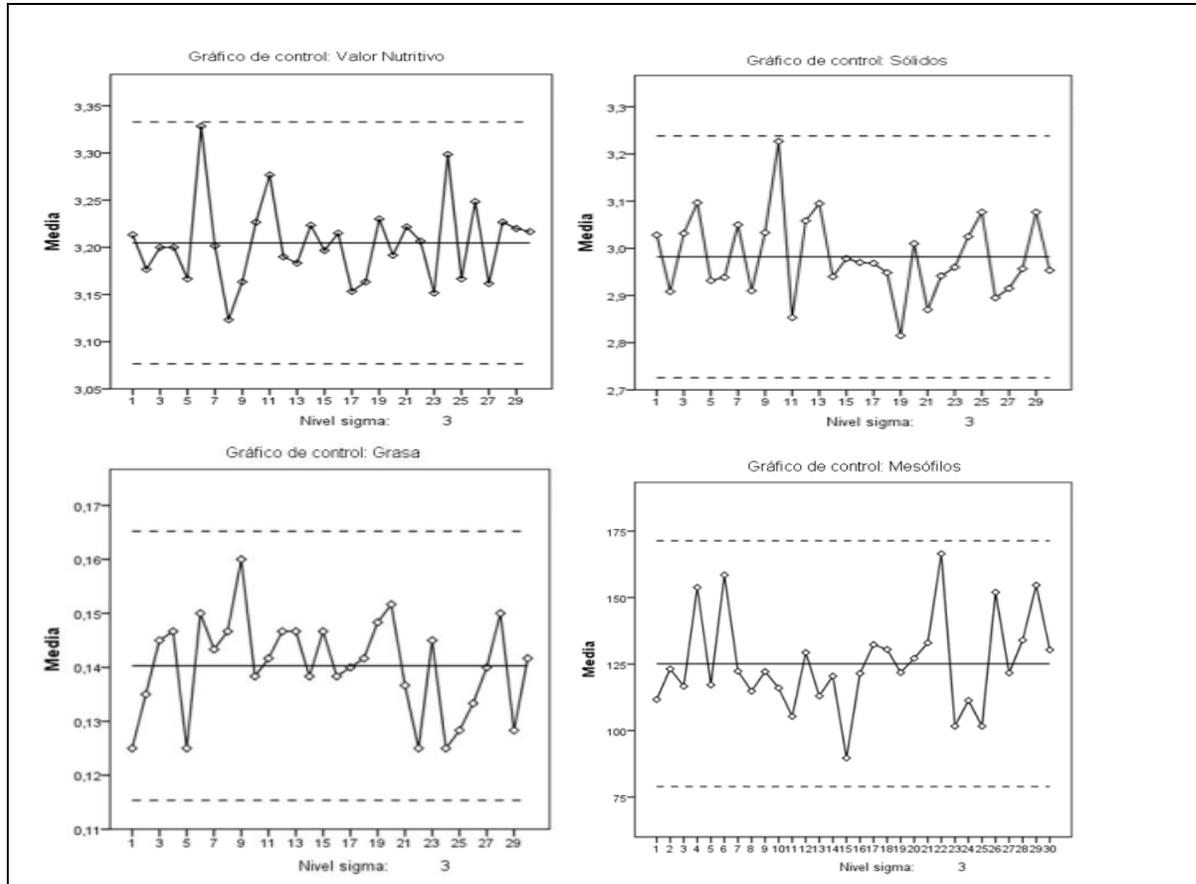
Característica de Calidad	C. Total/ Unidad (Producción + Control Calidad)
Crioscópico	\$ 1.136
Acidez	\$ 1.235
Grasa	\$ 1.035
Valor Nutritivo	\$ 1.035
Sólidos	\$ 1.300
Peroxidasa	\$ 1.000
Fosfatasa	\$ 1.000
Mesófilos	\$ 1.500
Coliformes	\$ 1.036

Tabla 3.29. Constantes de proporcionalidad *K*

Característica de Calidad	$K_{LCL}$	$K_{UCL}$
Crioscópico	3420,500	3681,00
Acidez	6100,022	32800,02
Grasa	120,00	60,136
Valor Nutritivo	110,380	64,500
Sólidos	16,038	15,029
Mesofilos	0	0

Figura 3.16. Gráficos de control univariado





A partir de los gráficos de control para cada característica, se determinaron los límites de tolerancia natural, cuyos resultados se exponen en la Tabla 3.30.

Tabla 3.30. Especificaciones de las características de calidad

Característica de Calidad	LTI	LTS
Crioscópico	-0,50	-0,50
Acidez	0,125	0,150
Grasa	3,00	3,333
Valor Nutritivo	2,8	3,901
Sólidos	8,190	8,520
Mesófilos	78,219	170,260

Con el valor objetivo, los límites de especificación, los coeficientes de proporcionalidad y los límites de tolerancia natural, se estimó la pérdida promedio para cada característica de calidad, como se presenta en el Anexo L1, tal como se presenta en la Tabla 3.31.

Tabla 3.31. Función de pérdida promedio para cada característica de calidad

Característica de calidad	Función de pérdida (P)
Crioscópico	0,0019
Acidez	0,90
Grasa	0,250
Valor nutritivo	2,300
Sólidos	0,1005
Mésófilos	43999,054

### Paso 3.4. Elaboración de la Matriz de Variabilidad

Con los valores de cada característica de calidad, la capacidad de proceso y la pérdida promedio, se construyó la matriz de variabilidad con las 8 características. Los resultados se exponen en la Tabla 3.32.

Tabla 3.32. Matriz de variabilidad

Característica de Calidad	Grado de importancia	Ponderación	Capacidad de proceso $\bar{C}_{pm}$	Ponderación	Pérdida de calidad	Ponderación	Total
Crioscópico	55	3	0,630	2	0,0019	2	12
Acidez	54	4	0,311	7	0,90	6	168
Grasa	77	5	0,6507	1	0,250	5	25
Valor Nutritivo	50	2	0,3871	4	2,300	7	56
Sólidos	125	5	0,341	5	0,1005	5	125
Mesófilos	114	8	0,300	8	43999,054	8	512

De acuerdo a los resultados de la Matriz de Variabilidad de la Tabla 3.32, se puede evidenciar que las características críticas fueron la *Acidez*, *Sólidos* y *Mésofilos*, siendo éstas características las de mayor importancia para la empresa en el cumplimiento de los requerimientos de los clientes; las que no tienen capacidad suficiente para cumplir con las especificaciones exigidas y que presentan incumplimiento y que generan las mayores pérdidas.

#### 3.2.2. Fase 2. Predicción y corrección

En esta fase con el control estadístico se verifica si el proceso está bajo control.

#### Etapa 1: Caracterización de los datos

Determinadas las características de calidad y comprobada la normalidad de los datos, se realiza el análisis de la correlación para las críticas:  $X_1 = \text{Acidez}$ ,  $X_2 = \text{Sólidos}$ ,  $X_3 = \text{Mésofilos}$ .

#### Paso 1.1. Análisis de la correlación

Se determino el coeficiente de correlación entre las 3 variables, se obtuvieron los resultados de la Tabla 3.33.

Tabla 3.33. Análisis de la correlación

		$X_1$	$X_2$	$X_3$
$X_1$	Correlación de Pearson	1	0,050	0,045
	Sig. (bilateral)		0,445	0,550
	Suma de cuadrados y productos cruzados	0,08	0,02	6,777
	Covarianza	0	0	0,04
	N	120	120	120
$X_2$	Correlación de Pearson	0,050	1	-0,051
	Sig. (bilateral)	0,450		0,450
	Suma de cuadrados y productos cruzados	0,019	1,6	-31,990
	Covarianza	0	0,01	-0,185
	N	120	120	120
$X_3$	Correlación de Pearson	0,05	-0,050	1
	Sig. (bilateral)	0,550	0,450	
	Suma de cuadrados y productos cruzados	6,5	-31,990	252590,002
	Covarianza	0,036	-0,9	1300,120
	N	120	120	120

Se planteó  $\rho_{xy}$  como la correlación entre dos variables, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.34.

- $H_0: \rho_{xy} < 0,05$  No existe correlación significativa entre el par de variables
- $H_1: \rho_{xy} \geq 0,05$  Existe correlación significativa entre el par de variables

Tabla 3.34. Correlación entre variables.

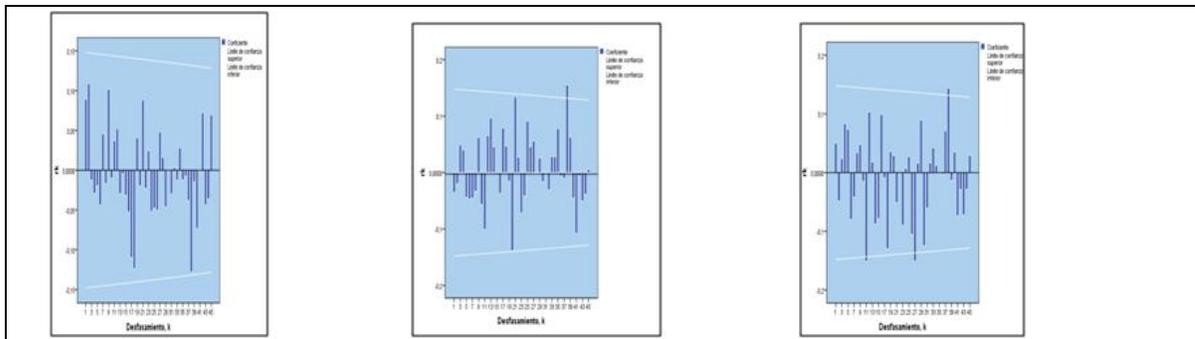
Correlación entre variables	Nivel de significancia	Tipo de Correlación (Resultados)
$(X_1, X_2)$	0,445	Existe correlación significativa
$(X_1, X_3)$	0,550	Existe correlación significativa
$(X_2, X_3)$	0,450	Existe correlación significativa

Se dedujo que existe dependencia significativa entre la acidez ( $X_1$ ) y los sólidos ( $X_3$ ), la acidez ( $X_1$ ) y los mesófilos ( $X_3$ ), los sólidos ( $X_2$ ) están correlacionados con los mesófilos ( $X_3$ ). Con estas correlaciones es justificable el control estadístico multivariado para la identificación de las causas asignables de variación.

### Paso 1.2. Evaluación de la autocorrelación para cada una de las características de calidad.

Se presenta en la Figura 3.17, la función de autocorrelación para cada características crítica.

Figura 3.17. Función de autocorrelación



La acidez y los sólidos presentan autocorrelación, el desfaseamiento es lo suficientemente grande para causar distorsión en el desempeño del proceso. Dado que  $X_1$  y  $X_2$  presentaron autocorrelación, fue necesario aplicar el modelo de predicción Emwa-Arima para la identificación y eliminación de las causas asignables de variación. En los mesófilos, no hay presencia de autocorrelación, puesto que ningún valor sobrepasa los límites de confianza.

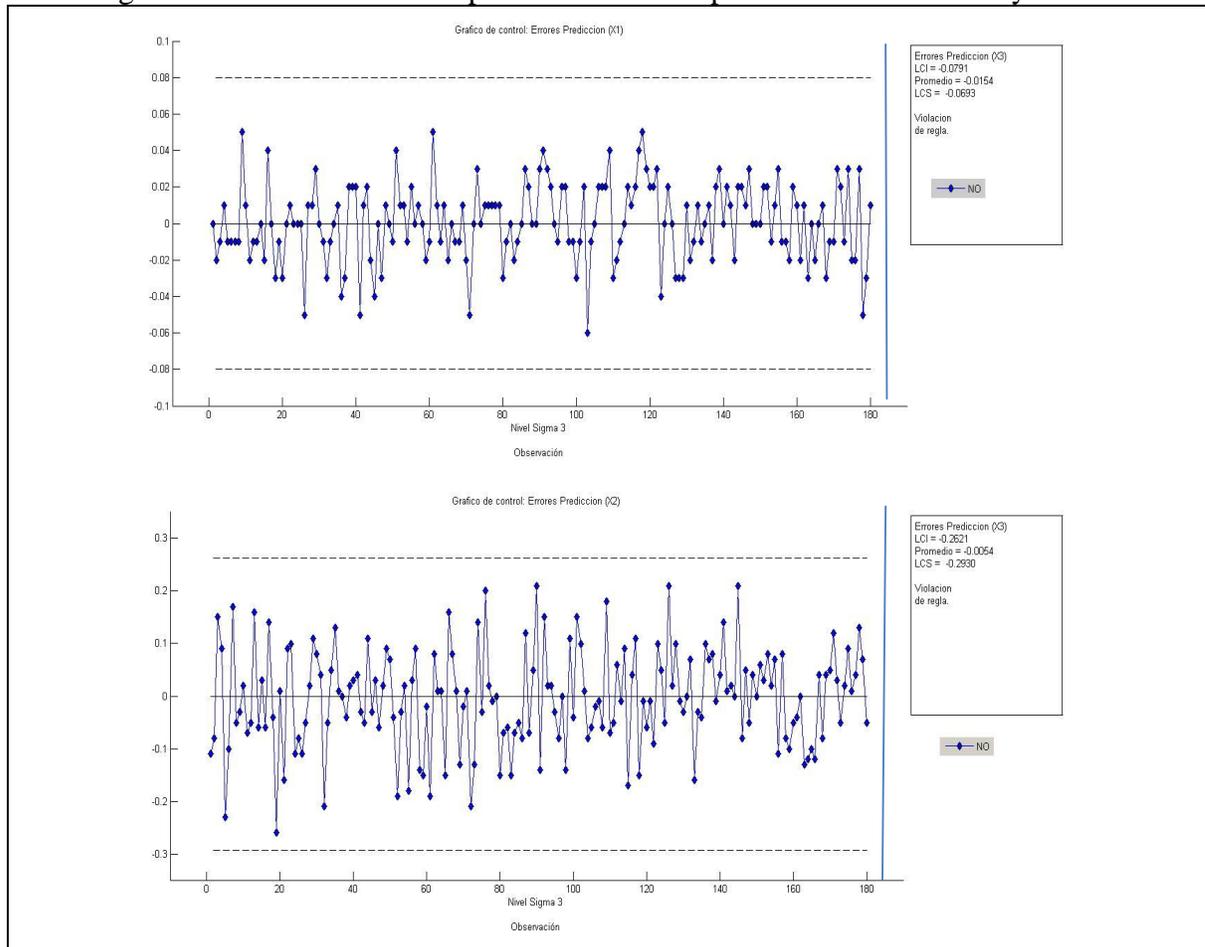
### Paso 1.3. Cálculo de de predicción de Emwa para datos correlacionados

Para aplicar el modelo Emwa-Arima se utilizó un  $\lambda$  inicial de 0.05, el método de mínimos cuadrados, y se aplicó el modelo de predicción. Los resultados de los mínimos cuadrados se muestran en el Anexo M1 y en el N1 los del modelo de predicción.

### Paso 1.4. Análisis de los Residuos

En la Figura 3.18 se presentan los resultados de los gráficos de control para los residuales correspondientes a cada característica.

Figura 3.18. Carta de control para los errores de predicción de la acidez y sólidos



Como se puede observar en la Figura 3.18, ninguna carta presentó puntos fuera de control, por lo tanto el modelo de predicción fue efectivo para eliminar la autocorrelación de los datos.

### Etapa 2. Análisis de datos $T^2$ Hotelling

Se aplicó el control estadístico multivariado mediante el gráfico de Hotelling  $T^2$  para las tres características de calidad.

#### Paso 2.1. Medición Estadístico $T^2$ de Hotelling

Los valores del estadístico  $T^2$  hallados al aplicar la ecuación 10 mediante las matrices de covarianza  $S_1$  y  $S_2$  se encuentran en el Anexo Ñ1.

### Paso 2.2. Cálculo de los límites de Control

Los resultados obtenidos fueron:

$$F_{(0,0.1)}=3,838$$

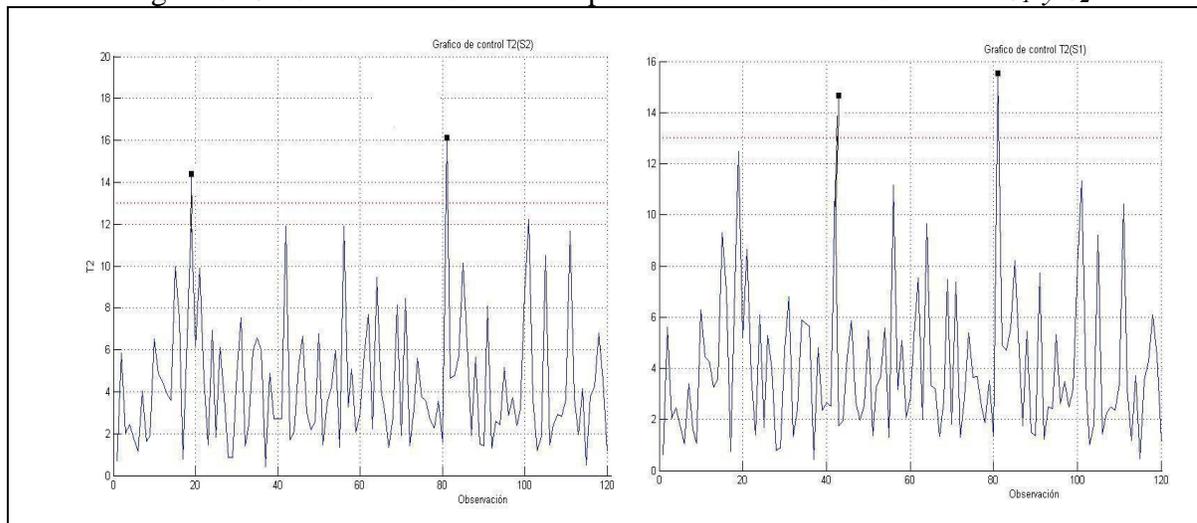
$$\beta_{(0,0.1)}=0,008$$

$$ULC=15,90 \text{ y } LCL=0$$

### Paso 2.3. Construcción gráficos de control multivariados

En la Figura 3.19 se ilustra el gráfico multivariado  $T^2$  a partir a partir de la matriz de covarianza  $S_1$  y  $S_2$ .

Figura 3.19. Gráfico de control  $T^2$  a partir de la matriz de covarianza  $S_1$  y  $S_2$



Tanto en  $T^2(S_1)$  y en  $T^2(S_2)$ , se observan 2 puntos fuera del límite de control superior, por lo cual se deduce que el proceso está fuera de control, se infiere que las dos matrices de covarianza no son significativamente diferentes estadísticamente. Por lo tanto, fue necesario identificar las causas asignables de variación y determinar si es posible o no su eliminación con el fin de hallar la capacidad multivariante y pasar a la Fase 3.

### Etapa 3. Identificación y eliminación de las causas asignables de variabilidad: descomposición estadístico $T^2$ de Hotelling

Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo Ñ1, se observan las dos señales fuera de control detectadas en la variable  $X_3$ : mésofilos.

- **Eliminación causas asignables**

Se realizó la trazabilidad en la operación de la pasteurización, las inconsistencias se presentaron por respuesta a planes HACCP. Como sólo se identificaron dos puntos fuera control y las causas se pudieron encontrar y eliminar, se construyó de nuevo el gráfico de control multivariado para verificar que las causas asignables fueron removidas.

- **Medición del estadístico  $T^2$  de Hotelling**

Los nuevos valores del estadístico  $T^2$  sin causas asignables de variación calculados mediante las matrices de covarianza  $S_1$  y  $S_2$  se encuentran en el Anexo O1.

- **Cálculo de los límites de Control**

Los nuevos valores de los límites de control fueron:

$$F_{(0,01)}=3,780$$

$$\beta_{(0,01)}=0,07001$$

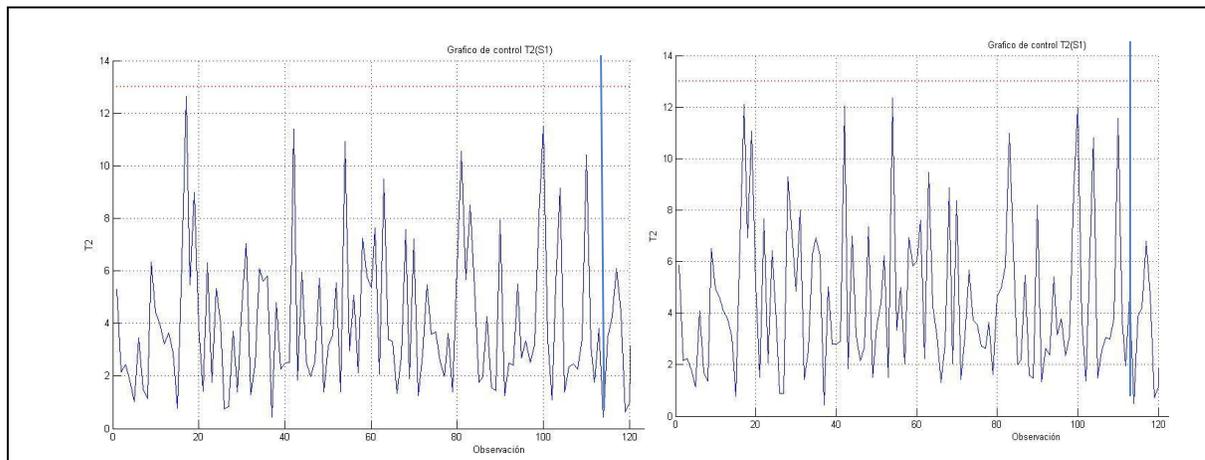
$$UCL=12,97 \text{ y } LCL=0$$

Los puntos por fuera de control se identifican cuando  $T^2 > UCL$ .

- **Construcción gráfico de control multivariado**

Se construyó el gráfico de control multivariado, como se presentan en la Figura 3.20.

Figura 3.20. Gráfico de control  $T^2$  a partir de la matriz de covarianza  $S_1$  y  $S_2$



Como se puede observar en los gráficos contruidos  $S_1^{-1}$  y  $S_2^{-1}$ , no se detectó ninguna señal fuera de control, el proceso se encuentra controlado, se calculó la capacidad multivariante.

#### **Etapa 4. Medición capacidad multivariante**

Se halló el valor de  $C_{pM}$ ; se utilizó la matriz de covarianza general para las 3 características, se obtuvieron los límites para cada una de ellas, como se muestran en la Tabla 3.35 (ver Anexo P1).

Tabla 3.35. Límites de la región de proceso modificada

Variable	LSC	LIC
$X_1$	0,08700053	-0,082356525
$X_2$	0,38841715	-0,428048010
$X_3$	281,991336	-35,735608513

Se calculó la capacidad multivariante estimada del proceso:

$$C_{pM} = 0,2899$$

Con este cociente tan bajo, el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones, por lo cual se requiere minimizar la variabilidad, y fue necesaria la Fase 3.

### 3.2.3. Fase 3. Medición y Análisis

Se desarrolla la etapa de Medición y Análisis, sujeta a los resultados de Diagnóstico y Ajuste y Predicción y Corrección.

#### Etapa 1. Determinación características críticas a ajustar

La característica fuera de control fue la variable  $X_3$  (Mésofilos), con una alta variación de los datos respecto al valor objetivo deseado.

#### Paso. 1.1. Cálculo de la variabilidad inicial

Con los datos de los  $X_3$  mesofilos, la variabilidad inicial de la muestra respecto al valor objetivo ( $T=0$ ) fue 142,82.

#### Etapa 2. Definición de las variables manipulables

La característica a controlar es la mesófilos, por lo tanto es necesario regular los procesos térmicos en la pasteurización sin modificar las propiedades de la leche, teniendo en cuenta factores como tiempo y temperatura para el control del proceso.

#### Etapa 3. Diseño del controlador

Se requiere modelar la relación entre las entradas y salidas del proceso.

#### Paso 3.1. Índice de eficacia del proceso

El procedimiento empresarial determinó el rango de tiempo-temperatura de pasteurización de 50 - 60°C durante 30 minutos.

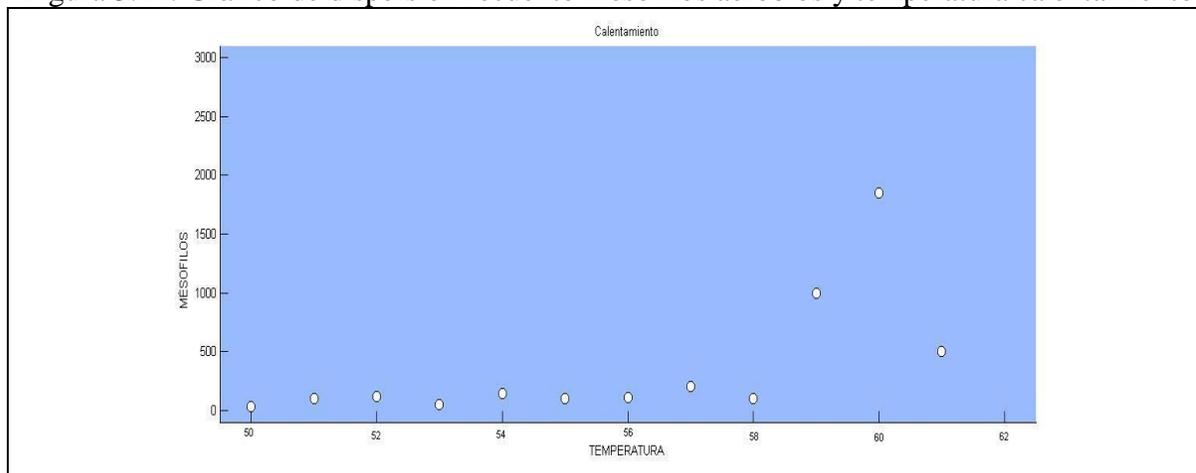
- **Recolección de muestra**

Se tomaron muestras y se realizaron las experimentaciones con un intervalo de temperaturas desde 55 - 61°C con un tiempo constante de 30 minutos, como se presenta en la Tabla 3.36 y la Figura 3.21, según los datos del Anexo Q1.

Tabla 3.36. Datos muestrales para la determinación del coeficiente de regresión

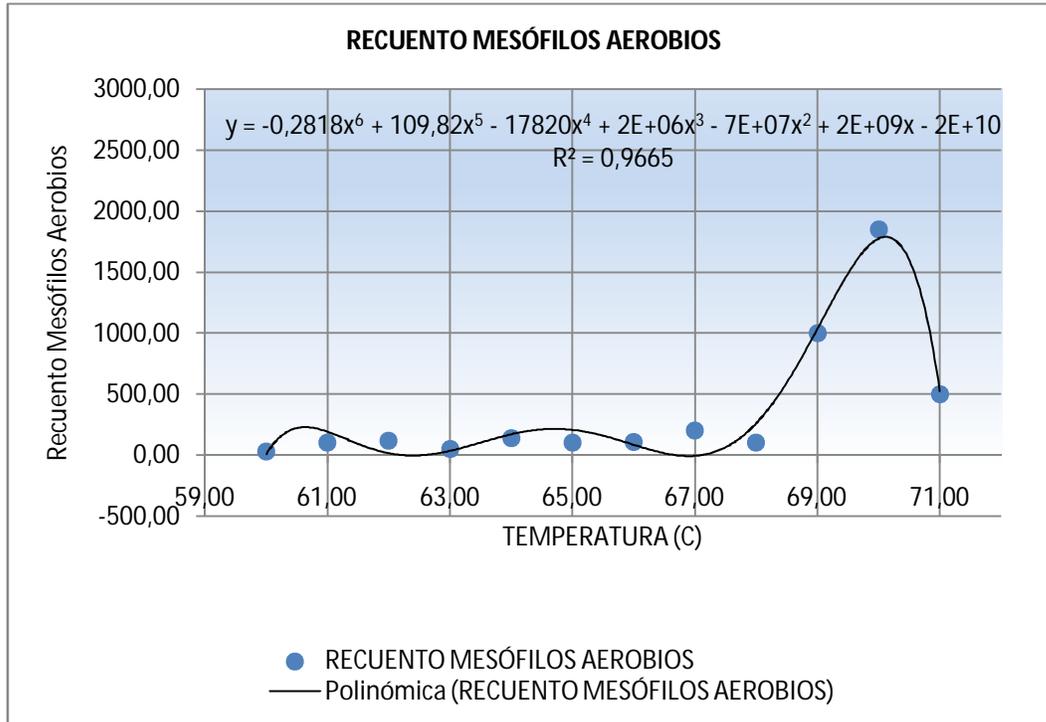
TEMPERATURA (°C)	RECuento MÉSOFILOS AEROBIOS (UFC/g)
50	52
51	12
52	180
53	25
54	25
55	15
56	108
57	185
58	25
59	1200
60	2832
61	80

Figura 3.21. Gráfico de dispersión recuento mesófilos aerobios y temperatura calentamiento



En la Figura 3.21, se puede observar que los datos no siguen una relación lineal, hay dos puntos desfasados, por lo tanto se realizó un análisis de regresión curvilínea para determinar la relación entre los mesófilos y la temperatura; como se ilustra en la Figura 3.22.

Figura 3.22. Regresión curvilínea de mesófilos vs. temperatura



Como se puede observar en la Figura 3.22, mediante la estimación curvilínea, la relación entre la variable manipulable y la característica de calidad es polinómica, con un  $R^2 = 0,9665$  y el índice fue:

$$I = -26,1946x_t + 1200,8$$

### Paso 3.2. Pronóstico de la perturbación

Una vez calculado el índice de eficacia del proceso, se determinó el pronóstico de las perturbaciones. Los pronósticos y los errores de predicción calculados por el método de los mínimos cuadrados se encuentran en el Anexo Q1.

### Paso 3.3. Cálculo del punto de ajuste

El punto de ajuste de la temperatura en el proceso de pasteurización al final del período  $t$  sería:

$$x_t = \frac{0,1}{26,1946} (y_t - 0)$$

### Etapa 4. Construcción de la carta de ajuste

En esta etapa se construyó carta de ajuste para la variable manipulable.

**Paso 4.1. Cálculo parámetros de la carta de ajuste**

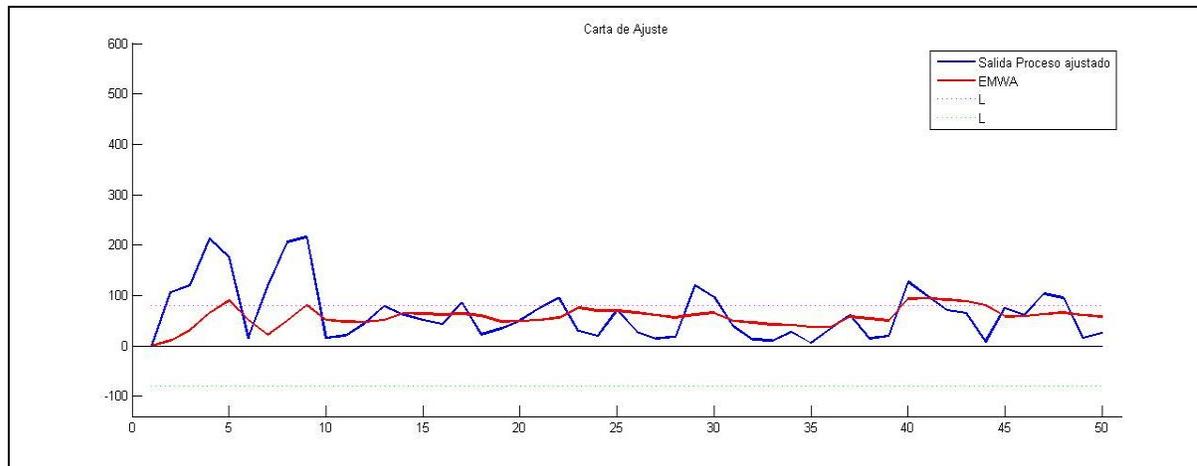
Utilizando los parámetros en el cálculo de los límites del gráfico Emwa:  $\lambda=0,1$ ;

$$\hat{\sigma}_{EMWA}=32,76.$$

**Paso 4.2. Realización de ajustes**

En el Anexo R1 se presentan los datos utilizados para la carta de ajuste, como los son las salidas del proceso, los cálculos del Emwa y los ajustes hechos a la temperatura. Igualmente, es importante anotar que la temperatura base inicial para aplicar el control ingenieril de procesos fue 50°C.

Figura 3.23. Carta de ajuste



Como se puede observar en la Figura 3.23, las salidas del proceso presentan un comportamiento creciente y sobrepasa la cota superior, a partir del cual se aplica el primer punto de ajuste y se hace un cambio en la variable manipulable en una unidad, incrementándose la temperatura a 51°C y siendo necesario otros ajustes en la variable manipulable hasta obtener una temperatura decreciente por debajo de la cota superior, por lo que ya no es necesario realizar más ajustes.

**Etapas 5. Validación del Modelo**

Se calculó la variabilidad final a la característica de Mesófilos del proceso ajustado, los resultados se muestran en la Tabla 3.37.

Tabla 3.37. Reducción de la variabilidad

Cálculos	Proceso no Ajustado	Proceso Ajustado
Desviación promedio del objetivo	142,82	71,00
<b>Reducción Variabilidad</b>	<b>49,18%</b>	

Como se puede observar en la Tabla 4.24, la variabilidad final en la salida ajustada alrededor del objetivo obtuvo una reducción del **49,18%** respecto a la variabilidad inicial. Esto valida la aplicación del modelo de control propuesto.

### **3.3. Discusión final y comprobación de la Hipótesis de investigación.**

**La implementación práctica**, en la Fase 1, se seleccionó el producto a intervenir en función de las políticas o de la conveniencia estratégica de la empresa. En este paso, se identifican las características de calidad y sus especificaciones técnicas. Además, se realiza el desglose de las operaciones del producto seleccionado y de las etapas del proceso de fabricación. Luego, se identificaron las características del producto con mayores problemas de calidad, es decir sus características críticas mediante un análisis de la variabilidad de tres factores: el grado de importancia para la empresa, análisis de capacidad de procesos y análisis de costos por fallos internos por medio de la función de pérdida de calidad.

De esta forma, para cada características de calidad, se realizó la recolección de datos relativos a cada una. El período de medición escogido fue de 30 días y el número de muestras fue de 6 por día, repartidas en los 2 turnos de la empresa (6:00 am a 2:00 pm / 2:00 pm a 10:00 pm), para un total de 180 muestras. A cada muestra se le midieron 8 características de calidad: Índice Crióscopico, Densidad, Acidez, % Grasa, Proteínas, Sólidos No Grasos, Sólidos Totales, Recuento Mesófilos Aerobios.

Con el criterio de la empresa, se consultó al Director de calidad sobre el grado de importancia de cada característica en función de su contribución a la variabilidad del producto. La escala de calificación utilizada fue de 1 a 8, donde 8 representa el mayor grado de contribución y 1 el menor grado. Luego, se calculó para cada característica su capacidad de procesos y la función de pérdida de calidad.

Finalmente, se realizó un análisis de Pareto utilizando la calificación ponderada (*CP*) para identificar las características críticas de calidad. Se identificaron los Mesófilos Aerobios, Sólidos Totales, Sólidos No Grasos y Acidez, por ser éstas cuatro las que acumulan el 66,67% de la variabilidad.

En la Fase 2, una vez seleccionadas las características críticas de calidad, se realizó un análisis de autocorrelación y correlación a cada una para validar la aplicación del análisis multivariado. Se encontró autocorrelación en las características de acidez y sólidos totales, por lo que se aplicó el modelo EMWA-ARIMA, con el fin de poder aplicar el control estadístico multivariado (Gráfico Hotelling). De esta forma, una vez hecho el estudio de autocorrelación se estimaron dos gráficos Hotelling  $T^2$ ; luego, se detectaron dos señales fuera de control en las observaciones 31 ( $T^2 = 13,5 > 12,97$ ) y 127 ( $T^2 = 15,53 > 12,97$ ); esto significa que el proceso estaba fuera de control y era necesario identificar sus causas asignables. Para esto, se aplicó el método de descomposición  $T^2$  propuesto para identificar la característica responsable de la causa asignable. Al aplicar éste método, se encontró que la característica responsable era Mesófilos Aerobios. La causa asignable se explica por una transferencia de calor no uniforme durante el proceso de pasteurización. Para encontrar dicha causa se realizó una trazabilidad a las hojas de seguimiento del proceso y se consultó con los encargados. Luego de encontrar la causa del problema, se verificó la eliminación de

las causas asignables y se construyó nuevamente el gráfico  $T^2$  para verificar la eliminación de los puntos fuera de control.

Sin embargo, aunque se identificó la causa asignable de variación, el problema de calidad sigue presentándose ya que no se ha encontrado la temperatura óptima para que en el proceso pasteurización se mantenga una poca variabilidad en la característica de Mesófilos aerobios. Para dar solución a esto, se aplicó la Fase 3, en la cual se propuso un modelo de control integral basado en el enfoque de control ingenieril de procesos EPC, el cual se utilizó para intervenir las causas de variabilidad encontradas en la Fase 2. Dado que la principal causa de variabilidad de los mesófilos aerobios es la temperatura en el proceso de pasteurización, se realizó una regresión para calcular el punto de ajuste de la temperatura para mantener el número de mesófilos aerobios dentro de los límites. Para esto, se llevaron a cabo 12 pruebas en las cuales se varió la temperatura y se mantuvo constante el tiempo de retención en 30 minutos. Luego, se calculó el punto de ajuste y se aplicó a 50 ciclos del proceso. Los resultados de las salidas se monitorearon con el gráfico de control EMWA. De acuerdo con esto, sólo fue necesario aplicar 4 puntos de ajustes en los periodos  $t = 7, 8, 9, 10$ , pues en ellos el pronóstico de EMWA estuvo por fuera del límite superior. A partir del periodo 11 el pronóstico EMWA comenzó a decrecer hasta quedar por debajo del límite superior (L) en el período  $t = 14$ , permaneciendo así hasta el final del periodo 50. Igualmente, los valores de las características de calidad se acercaron cada vez más al objetivo de desempeño.

En conclusión, al calcular la variabilidad final de las 50 mediciones aplicadas a la característica de Mesófilos Aerobios del proceso ajustado; éste valor fue de 63,96, con una reducción de la variabilidad funcional del 52.49%.

**Es de aclarar que un comportamiento similar se presentó en la empresa piloto dos, por esta razón el análisis de la presente implementación práctica aplica para ambos casos de estudio.**

El Modelo de Control en Línea implementado, evaluó la contribución de cada una de las variables del producto en cada etapa del proceso y su efecto final por la variabilidad, justificando el tratamiento estadístico y la sustentación de la solución del problema. Un hecho relevante del modelo propuesto y realizado es que las variables definidas e incluidas agregan poder explicativo en las tres etapas de Diagnóstico y Ajuste, Predicción y Corrección y Medición y Análisis, en las dos empresas piloto.

Con respecto al modelo para la reducción de la variabilidad, muestra que las variables incluidas tienen la habilidad de explicar el comportamiento del proceso, es así como si se analiza cada variable, es claro que la variabilidad en ambos casos es altamente significativa con un nivel de confianza de más del 95% ( $p=0.05$ ). Además, todas las variables presentan el carácter esperado de acuerdo con los conceptos discutidos por Montgomery (2007).

Adicionalmente, los resultados de la aplicación del modelo, demuestran que éste debe utilizarse para detectar los problemas de calidad, reducir el efecto de la variabilidad, predecir y controlar las actividades del proceso y como consecuencia la mejora, conocido el efecto sobre el resultado final ya que revela hechos bastantes importantes.

Es así, como se parte de la etapa de Diagnóstico y Ajuste con el reconocimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas según el Decreto 616 de 2006, registrando los sólidos (107 y 125 respectivamente) como las críticas en fisicoquímica, y los Mesófilos y coliformes con ponderaciones de 105 en la empresa uno y 114 y 103 en la empresa dos, como las microbiológicas. En cuanto a la caracterización del proceso las partes críticas en la cadena fue la pasterización con valores de 244 y 220, ratificando los requisitos establecidos en dicho decreto.

Los patrones observados en las empresas, según lo establecido por Smith (2000) y ratificados por los indicadores globales, el descriptivo de Funcionalidad con 3.2441 es el problema más frecuente en el sector de los lácteos, ratificado por las pruebas de normalidad según la prueba Shapiro-Wilk donde las muestras siguen una distribución normal con  $\alpha = 0.05$  y aprobando  $H_0$  dado  $p\text{-valor} \geq 0.05$ . Es así, como los coeficientes de correlación son positivamente altos entre los problemas de funcionalidad y otros asociados como los de gestión 0.714, los de diseño 0.587 y moderados en otros casos como los de eficiencia 0.571 y los de diseño 0.715.

El control estadístico del proceso con sus gráficos de control y el análisis de la varianza para estimar el aporte de todos los factores de variación, permitieron evaluar la capacidad del proceso a partir de los datos obtenidos del mismo. La suposición de normalidad de la distribución de los datos y el acercamiento mediante el modelo de relación lineal resulto ser el indicado y suficiente y el error de dicho modelo no supero el 10%, éste incluye el efecto de las variables de proceso que por consideraciones operacionales no fueron consideradas, así como las aproximaciones suficientes y adecuadamente bajas como para considerarlas válidas.

Por lo tanto, los resultados de la Matriz de Variabilidad con las ponderaciones en las empresas, de la acidez (168 y 168); Sólidos (120 y 125) y los mesófilos (448 y 522), determinaron la necesidad de realizar la Predicción y Corrección para lograr el cumplimiento de los requisitos del citado decreto y lograr el objetivo de reducir la variabilidad y aumentar la calidad del productos.

El análisis de correlación en ésta segunda fase, según el nivel de significancia ( $p\text{-value}$ ), en la empresa piloto uno admite que no existe dependencia significativa entre la acidez y los sólidos totales (0.012), a su vez en ambas empresas se tratan correlaciones significativas entre las otras variables justificando la utilización del control estadístico multivariado para la identificación de las causas asignables de variación del proceso.

El control estadístico multivariado aplicado en las empresas, muestra puntos por fuera de control, lo que se infiere que las covarianzas estadísticamente no son significativamente diferentes, por lo tanto fue necesario identificar las causas asignables de variación y determinar si es posible o no su eliminación para llevar el proceso bajo control arrojando como capacidad multivariante  $C_{pm}$  de 0.3076 y 0.2899 respectivamente y proseguir con la fase de Medición y Análisis.

De acuerdo a lo anterior, en la fase de Medición y Análisis se determinó en ambas empresas que la característica crítica a ajustar son los Mesófilos, se definió como la

variable manipulable la temperatura en la pasteurización, se realizaron los ajustes para las salidas del proceso haciendo cambios en la temperatura en una unidad hasta obtener resultados por debajo de la cota superior. No siendo necesarios más ajustes se calculó la variabilidad final en la salida ajustada alrededor del objetivo a la característica y la reducción de la variabilidad funcional arrojando valores del 52,49% en la empresa uno y en la dos del 49,18%, validando así la aplicación del Modelo de Control en Línea.

Se comprobó en la ejecución que, tomando las tolerancias mínimas del producto y del proceso, no son la garantía de la eficacia del proceso, ni con el resultado final exigido. La mejora y estandarización de éstos, requiere el estudio de arreglos y estimaciones para cada una de las causas de variación y un rediseño total o parcial del sistema de control en línea.

En general, los parámetros y estadísticos parecen coherentes con un buen modelo. Sin embargo, es necesario ajustarlo mediante regresión robusta. Como se observa, los coeficientes estimados mediante regresión no son muy diferentes de los obtenidos mediante mínimos cuadrados ordinarios; lo mismo sucede con los valores estadísticos  $t$  y  $p$ , esto se debe a un cuidadoso diseño y un adecuado análisis de los principales supuestos. Los resultados brindan confianza de un buen *“diseño de un modelo integral de control en línea que integre de manera adecuada el diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis que permitirá la disminución de la variabilidad en las empresas de alimentos”* quedando validada la hipótesis planteada y las preguntas de investigación.

### 3.4. Conclusiones parciales

El modelo ofreció beneficios significativos tales como la caracterización de la consistencia del producto y del proceso, la validación de la estandarización y robustez del proceso de producción, la aplicación del control automático de procesos, el diagnóstico, intervención y seguimiento de las causas de variación, el control de la sensibilidad de los procesos a variables extrínsecas y la transferencia de conocimiento al personal de la compañía.

Sin embargo, en los casos de estudio, se detectaron ciertas dificultades en la aplicación del modelo; entre éstas se pueden mencionar el hecho que la recolección y análisis de la información en tiempo real se complica en operaciones manuales; las empresas no siempre tienen identificados los requerimientos del cliente y asumen el valor objetivo con base en valores promedio, lo que genera confusión al momento de determinar la criticidad de las características de calidad. Así mismo, es difícil estimar los costos de calidad por unidad de producto cuando la empresa no tiene identificados los costos de control de calidad. A pesar de esto, los resultados demostraron la aplicabilidad de la metodología propuesta al obtener una reducción de la variabilidad funcional en un porcentaje significativo frente al proceso actual.

Con los resultados obtenidos de la aplicación del Modelo de Control en Línea propuesto en los casos de estudio desarrollados, donde se logró reducir la variabilidad de ambas empresas (casos de estudio 1 y 2) en un 52,49% y 49,18%, se concluye que un *“Modelo de Control en Línea contribuye a la disminución de la variabilidad en las empresas de alimentos”*, con lo cual **queda demostrada**, en principio, la **hipótesis general** planteada en la presente investigación:

*“El diseño de un modelo integral de control en línea que relacione de manera adecuada el diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis permitirá la disminución de la variabilidad en las empresas de alimentos”.*

El análisis de los resultados del Modelo de Control en Línea permite concluir en la empresa piloto uno lo siguiente:

La descomposición del producto Leche pasteurizada en sus respectivos componentes, subcomponentes y partes, contribuyó a la valoración de los requerimientos del cliente, y los requerimientos de diseño. El análisis lleva a considerar las variables que más impactan al producto y por supuesto al proceso. Y en la descomposición del proceso productivo se halló que la pasteurización es la de mayor importancia y por su puesto la etapa más crítica.

La identificación de los problemas de calidad llevó a reconocer, después del análisis univariado y bivariado, que los de funcionalidad es el más frecuente en la empresa. La lectura de los problemas de calidad está respaldada por el análisis de los coeficientes de correlación y dispersión, donde se evidencia que existe una correlación positiva alta entre los problemas funcionalidad y gestión y funcionalidad y diseño del proceso y una correlación positiva moderada entre funcionalidad y diseño.

Las dos consideraciones anteriores, llevaron que las características críticas por ser las de mayor importancia para las empresas en el cumplimiento de los requerimientos de los clientes; y que las empresas no tienen la capacidad suficiente para cumplir con las especificaciones exigidas por normativa y por los clientes y el incumplimiento de éstas generan pérdidas.

Según el nivel de significancia, se dedujo que no existe dependencia significativa entre algunas de las variables, resultados éstos que llevan ineludiblemente al control estadístico multivariado para la identificación de las causas asignables de variación en el proceso, que presentan autocorrelación y causan distorsión en el desempeño del proceso, por lo tanto es necesario el control ingenieril de procesos de la Fase 3.

La característica responsable de las señales fuera de control, presenta una alta variación de los datos respecto al valor objetivo deseado, causando una mayor dificultad para su control en la pasteurización, por lo que es necesario regular los tratamientos térmicos. Así, la eficiencia del proceso, dependió de la temperatura de pasteurización, del tiempo de retención de esta temperatura, del número total de bacterias y del porcentaje que representan los microorganismos termodúricos con relación a la carga microbiana total. Exactamente, las principales variables fueron tiempo y temperatura de calentamiento para la realización de los ajustes necesarios mediante el control de procesos, llevando el proceso a una variabilidad final bastante significativa en la salida ajustada alrededor el objetivo.

El análisis de los resultados del Modelo de control en línea permite concluir en la empresa piloto dos lo siguiente:

Existe una correspondencia con la empresa uno, en la que la descomposición del producto Leche pasteurizada, y el reconocimiento de las variables de mayor importancia. Y en la

descomposición del proceso productivo la pasteurización es la de mayor importancia y por su puesto la etapa más crítica.

La evaluación de la variabilidad de las características lleva a considerar igualmente como las críticas por los niveles de exigencia de los clientes y la normativa, aspecto que acarrea que la empresa no tenga capacidad y pérdidas. Del reconocimiento de la criticidad de estas variables se concluyó, además; que no existe dependencia significativa entre ellas, y que se hace necesaria la identificación de las causas asignables de variación en el proceso, y que por la presencia de la autocorrelación es importante un control mas robusto para la mejora de la Fase 3. Al final una variable, presento una significativa variación, causando problemas en los tratamientos térmicos, por el manejo de la temperatura, del tiempo y de bacterias.

Finalmente, a pesar de los resultados obtenidos en las empresas estudiadas, aún queda pendiente mejores desempeños toda vez que son más elevadas las exigencias del cliente y la normativa. Esto se puede explicar por el hecho de que el mejoramiento implica compromiso total de todas las áreas funcionales clave de la empresa y no sólo desde la función de calidad; en la necesidad que la organización alcance de acuerdo con sus restricciones estructurales y económicas, mejores procedimientos en torno a los factores de capacidad de proceso y la falta de alianzas y estrategias conjuntas en el sector, porque difícilmente alcanzará resultados altos sí están solas y no asociadas.

Los problemas de calidad identificados, en los dos casos estudiados, con certeza muestran una sucesión de debilidades de carácter funcional, no sólo en torno a la función de calidad, sino a toda la empresa en su conjunto. En este sentido, los rasgos más importantes en los dos casos estudiados, se subrayan, entre otras: problemas de organización, de planeación, de procedimientos, de gestión de la producción adecuados y desconocimiento de las herramientas de Ingeniería y Calidad aplicables a sus productos y procesos, lo que resalta la capacidad del Modelo de Control en Línea propuesto para revelar, tanto los problemas y sus causas como sus posibles soluciones, en términos de las buenas prácticas de operación.

Es de resaltar en los casos estudiados, la gestión de la dirección para los cambios propuestos, gracias a su gobierno, dinámica, flexibilidad y respuesta para mejorar su eficiencia en las operaciones. Hecho recurrente en todas empresas observadas durante la evaluación de la aplicación de técnicas de Ingeniería de la calidad, que demuestra la incapacidad de las empresas para competir, lo que refuerza la necesidad de implementar el Modelo de Control en Línea, como punto de partida en este sector y otros.

No obstante, para su aplicación exitosa, se exige que las organizaciones se preparen, de tal forma que pueda asimilar la calidad, como la clave para el funcionamiento adecuado del control en conjunta armonía con las demás áreas funcionales para el desempeño adecuado de la organización, ya que es evidente que es dificultoso lograr altos niveles de desempeño frente a las exigencias del cliente actuando de manera individual, debido a todas sus restricciones, por lo cual se insiste entonces, la imperiosa necesidad para este sector empresarial, de entrar a abordar el Modelo de Control en Línea, de tal forma que los problemas de calidad antes referidos, se puedan eliminar a partir de la implementación del mismo.

Aunque el modelo puede ser aplicado en diferentes ambientes de manufactura, en el caso de sistemas de producción acompañados por operarios, ésta puede ser mejorada y adaptada en la medida en que se detecten nuevos fenómenos de variación. Así mismo, nuevos frentes de investigación surgen frente a la posibilidad de mejorar la metodología con la introducción de técnicas avanzadas tales como redes neuronales y algoritmos genéticos, entre otras.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

Tomando como base la situación problemática identificada, el problema científico planteado y los principales resultados teórico-prácticos obtenidos en ésta investigación y dando cuenta del **cumplimiento de los objetivos especificados** se concluye que:

*“El diseño de un Modelo de Control en Línea que integre el diagnóstico y ajuste, predicción y corrección y medición y análisis contribuye a la disminución de la variabilidad en las empresas de alimentos”:*

- Uno de los sectores estratégicos y más vulnerables en la industria y la economía colombiana frente a los retos y oportunidades de la globalización es el de alimentos. Éste debe dar respuesta a los requisitos mínimos de calidad y al marco normativo de tipo nacional e internacional establecido por los mercados. En el caso particular del Departamento de Caldas, las empresas del sector de alimentos aunque son de gran importancia para potenciar la cadena productiva de la región, presentan diversos problemas asociados a debilidades en su calidad y control de calidad debido al bajo nivel de aplicación de los métodos de Ingeniería de la Calidad.
- Una de las dificultades presentadas por las empresas del sector de alimentos de Manizales, corresponde a la variabilidad generada por las desviaciones de los valores objetivos frente a los resultados finales de la calidad de los productos. Situación que se da por el desconocimiento de los requerimientos, la no identificación de las características críticas y el incumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas, entre otras; llevando a pérdidas por los fallos que afectan el proceso y el producto. La variabilidad no es el único problema en la producción de leche pasteurizada entera, los diferentes tipos de variables que constituyen el producto desde su inicio hasta el final, conllevan un gran número de necesidades que condicionan la capacidad del proceso para responder a las características de calidad entre ellas las de seguridad e inocuidad.
- Es evidente de la realidad empresarial **variables emergentes** que son necesarias considerar para el ajuste del modelo tal como la incapacidad del cumplimiento de los requerimientos que afectan al producto, al proceso, al cliente, a la organización y al mercado. En mayor o menor grado estas se deben reconocer como una limitante para los resultados óptimos del modelo propuesto ya que son condicionantes para determinar de entrada las desviaciones promedio del objetivo y el cálculo del porcentaje final de la reducción de la variabilidad.

- Desde el planteamiento metodológico, el Modelo de control en línea propuesto, como técnica de mejoramiento a la situación problemática de las empresas del sector de alimentos, constituye un aporte de la presente investigación ya que permite, identificar las características críticas de calidad, conocer las causas de variación, reducir la variabilidad de los productos y mantener los procesos en un estado de control. Así, la Fase 1, se propone la matriz de variabilidad soportada en el enfoque de costos, capacidad de procesos y función de la calidad; la Fase 2, plantea el uso del control estadístico multivariado para la detección e intervención de las causas asignables de variación y llevar el proceso a un estado de control para dar paso a la Fase 3, donde las variables del proceso son ajustadas para reducir la variabilidad, logrando el mejoramiento del proceso y del producto.
- Con las etapas de Diagnóstico y Ajuste, Predicción y Corrección y Medición y Análisis, se ha verificado industrialmente la eficacia del Modelo de Control en Línea, mediante la reducción y el ajuste del costo de la variabilidad, para plantear alternativas de mejora que lleven a los resultados requeridos. Se valoraron los costos de variabilidad y su impacto económico lo que permitió calcular la función de pérdida de la calidad, que ratifica lo expuesto en los diversos modelos teóricos propuestos por diversos autores en el estado del arte.
- Con los resultados obtenidos de la aplicación del Modelo de control en línea propuesto en los casos de estudio desarrollados, queda demostrada, en principio, la hipótesis general planteada en la presente investigación que *“el diseño de un modelo integral de control en línea permitirá la disminución de la variabilidad en las empresas de alimentos”*. Igualmente, éstos resultados validan el vacío general de la investigación planteada mediante *“la aplicación integral de las etapas de Diagnóstico y Ajuste, Predicción y Corrección y Medición y Análisis”*, ya que, se ha verificado industrialmente la eficacia del Modelo de Control en Línea, mediante la reducción de la variabilidad, para plantear alternativas de mejora que lleven a los resultados requeridos.
- Es así, como resultados en la Fase 1, se encontraron 10 características de calidad de la leche pasteurizada entera y como críticas la acidez, sólidos (no grasos, totales) y Mesófilos aerobios. En la Fase 2, con la caracterización de los datos se halló que éstas características críticas estudiadas, seguían una distribución normal, condición indispensable para la aplicación del estadístico  $T^2$ . Igualmente, se evidenció que había correlación y autocorrelación entre algunas de ellas; con el procedimiento EMWA-ARIMA fue posible transformarlas. En la Fase 3, la relación entre los parámetros manipulables del proceso y el pronóstico de las perturbaciones que afectan la operación de pasteurización, dieron como resultado el punto de ajuste que debía ser aplicado a la temperatura para acercar la característica de calidad al valor objetivo, lográndose una reducción de la variabilidad en un 52.49% en la empresa piloto uno y un 49,18% para la empresa piloto dos.
- El Modelo de control en línea para el caso concreto de la variabilidad en la leche pasteurizada entera, validó su utilidad práctica e identificó el tipo control y se confirmó

industrialmente como una opción que sin ser la óptima, pasó un proceso sin capacidad a uno con capacidad de cumplir los requisitos establecidos. Pese a las restricciones de la aplicación, el proceso se ha estabilizado y se han fijado los principios orientadores de buenas prácticas a muy corto plazo. Aunque éste puede ser aplicado en diferentes ambientes de manufactura, puede ser revisado y mejorado en la medida que se detecten nuevas situaciones de variación.

- El Modelo de control en línea propuesto, opera en un contexto estadístico, considera varias características de calidad su normalidad, linealidad e independencia, reconoce la complejidad de las relaciones entre dichas características y la respuesta, que no obstante siempre pueden ajustarse a partir del conocimiento previo del proceso y la experimentación en el mismo. Por lo tanto, es viable para disminuir la variabilidad en cualquier tipo proceso con particulares similares al descrito, siempre que la comprensión del mismo sea suficiente como para determinar las variables críticas y comprobar las relaciones entre las mismas para la estandarización a corto plazo y la optimización a mediano plazo de la capacidad del proceso.
- El control estadístico permitió estimar la desviación del proceso y la contribución de cada uno de los diferentes factores a la variabilidad final. No obstante, las restricciones atribuidas por el tratamiento de los modelos lineales entre variables y la eliminación de algunas con efectos no significativos, el resultado final del Modelo de Control en Línea es suficientemente demostrativo en las respuestas obtenidas en el proceso. Si bien éste no es exacto, es un acercamiento eficaz para establecer el impacto de los problemas de calidad y considerar las acciones de mejora.

A partir de los resultados obtenidos y de los frentes de investigación que se abren desde la perspectiva teórica y práctica en torno al objeto de estudio de la presente investigación, se recomienda:

- Adoptar y perfeccionar el Modelo de control en línea propuesto en este proyecto de investigación, soportándolo en un gran acuerdo de competitividad regional, con la participación de todos los sectores y sus empresas interesadas, los gobiernos regionales con su política pública de alimentación y nutrición, los centros de investigación y las instituciones educativas, de manera que se facilite el tránsito exitoso hacia mejores niveles de desempeño frente a las exigencias de los competidores y del mercado mundial, a través de las tres fases de integración propuestas.
- Desarrollar investigaciones que permitan continuar perfeccionando progresivamente el modelo propuesto como por ejemplo con la elaboración de software para la sistematización de las fases y herramientas avanzadas de diseño de experimentos, análisis multivariable, técnicas de fiabilidad, métodos avanzados de ensayos sensoriales y de investigación de operaciones que aumenten la efectividad del modelo con el fin de asegurar su aplicabilidad y viabilidad en las empresas del sector de alimentos.
- Iniciar procesos masivos de aplicación del Modelo de Control en Línea propuesto en los otros subsectores industriales, con el fin de comprobar sus beneficios y efectividad en el mejoramiento de la calidad y del desempeño competitivo regional. Y Monitorear

permanentemente el comportamiento del mercado (cliente objetivo) con el fin de realizar los ajustes pertinentes a los factores y componentes del modelo.

- Futuras líneas de investigación deberán extender el modelo a otros sectores de actividad; desarrollo de un software de apoyo a la gestión del modelo y explorar otros de reducción de la variabilidad más complejos a partir del conocimiento del proceso y la experimentación, con novedosas herramientas estadísticas que garanticen la mejora de la calidad como el desarrollado. Estudios futuros, merecerían desarrollar e incluir otras variables que puedan afectar las características críticas de calidad teniéndose en cuenta la correlación entre dichas variables. Así mismo, diferentes investigaciones surgen frente a la posibilidad de estandarizar el procedimiento con la introducción de técnicas avanzadas de inteligencia artificial como redes neuronales, algoritmos genéticos, agentes inteligentes y la heurística; entre otras.

## **ANEXOS**

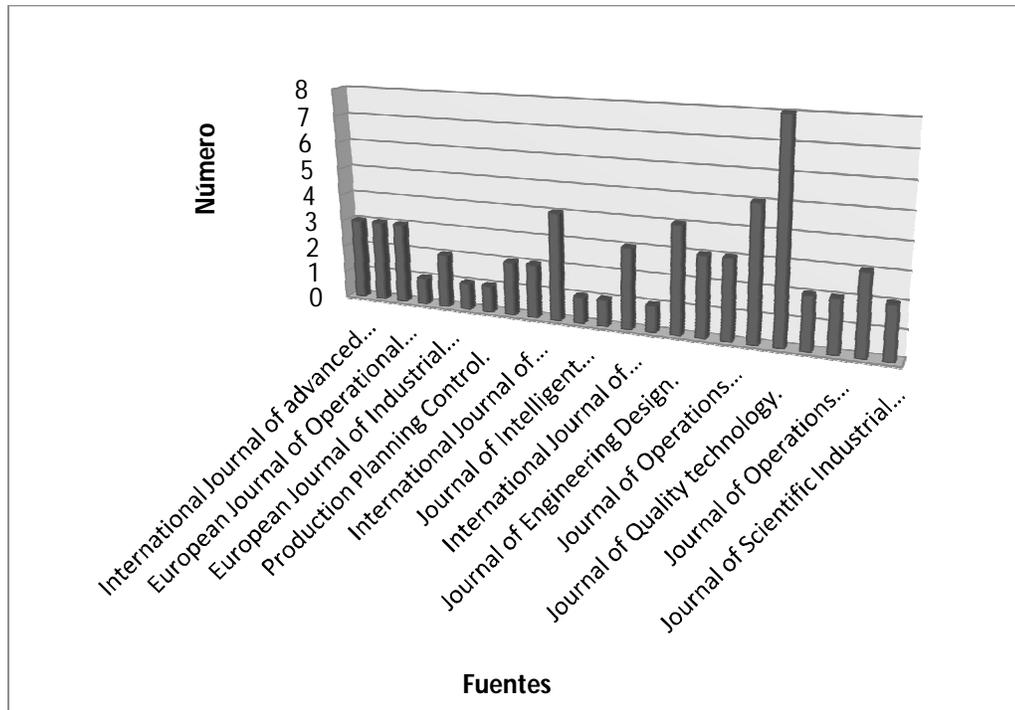
## Anexo A. Relación de fuentes especializadas consultadas

(60 artículos considerados)

Revistas indexadas			
Revistas	No.	Revistas	No.
International Journal of advanced Manufacturing Technology.	3	International Journal of Production Research.	3
Quality and Reliability Engineering International.	3	Materials and Manufacturing Processes.	1
European Journal of Operational Research.	3	Journal of Engineering Design.	4
International Journal of Industrial Engineering theory applications and practice.	1	Journal of Manufacturing Systems.	3
European Journal of Industrial Engineering	2	Journal of Operations Management.	3
Journal of the Operational research society.	1	Journal of Process control.	5
Production Planning Control.	1	Journal of Quality technology.	8
Control Engineering practice.	2	Journal of Food process engineering.	2
International Journal of Production Economics.	2	Journal of Operations Management.	2
International Journal of adaptive control and signal processing.	4	Journal of the Operational Research Society	3
Journal of Intelligent Manufacturing.	1	Journal of Scientific Industrial Research	2
Engineering and Research	1	<b>TOTAL</b>	<b>60</b>

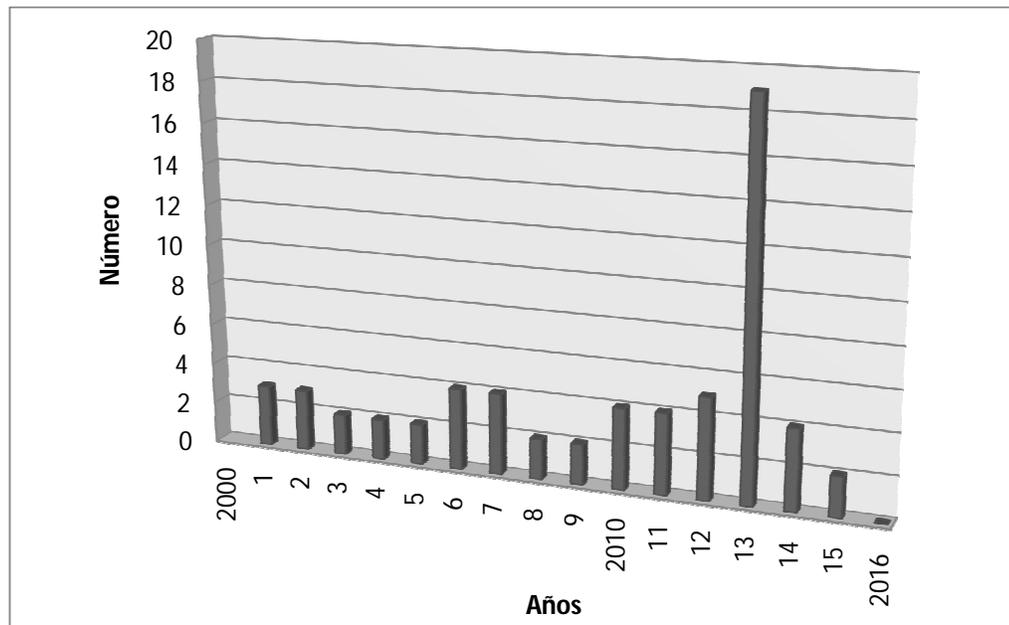
Fuente: elaboración propia

**Número de artículos por cada fuente.**



Fuente: elaboración propia

### Número de artículos por año



Fuente: elaboración propia

Según las figuras, el promedio de artículos hasta el año 2012 fue de 3; el año 2013 se caracteriza por un incremento en el número de publicaciones en el tema de variabilidad como problema de calidad, debido a perfeccionamientos de estudios anteriores, especialmente en técnicas para la mejora en otros campos de estudio como las ciencias de la salud, básicas y económicas.

## Anexo B. Antecedentes del estado del arte y proceso de análisis de métodos Taguchi para la disminución de la variabilidad.

2001									
PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.									
Los métodos Taguchi son ineficientes y complicados para ser utilizados en las empresas, especialmente los factores controlables y no controlables, el uso de éstos basados en el supuesto del factor de ajuste con efecto multiplicativo en la respuesta; no se puede garantizar. Los factores de control, "cuanto mayor es mejor" puede confundir los efectos de localización con los de dispersión; que bajo el supuesto de datos normales, independientes e idénticamente distribuidos es ineficiente si se le compara con la media y no es excepcionalmente robusto en presencia de datos atípicos. Además, un defecto conceptual, en los factores de control consiste en que se invierte el proceso normal de seleccionar primero el modelo, la razón se resume en que suele ser más complicado que la respuesta básica, es más fácil que se tenga conocimientos previos para modelar directamente la respuesta que para modelar las variables. La filosofía desde Taguchi es no actuar a no ser que el proceso se salga de control.									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
1	Multivariate cumulative sum control charts based on projection pursuit	Ngai, H; Zhang, J.	Gráfico de control para acelerar la detección de anomalías en un proceso multivariado.	PPCUSUM		X			
2	Cumulative sum control charts for the covariance matrix	Chan, L; Zhang, J.	Gráfico de control para análisis de la matriz de covarianza y acelerar la detección de anomalías en un proceso multivariado.	MCUSUM			X		
3	Testing dispersion effects from general unreplicated fractional factorial designs	Wang, P.	Método para identificar los factores que afectan la media y la dispersión del proceso utilizando diseños factoriales.	Experimentos factoriales fraccionados generales y Anova	X				
2002									
PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.									
En los procesos de fabricación se presenta cierta inercia frente a los parámetros ambientales muy poco considerados desde de Taguchi. Además, el método no permite la determinación de la distribución muestral y no se puede extender al caso de observaciones no independientes. Adicionalmente, la teoría del límite central no se cumple para todas las variables del proceso ocasionando sobrecostos en los procesos productivos. Por otra parte, el control no permite reducir la dispersión a largo plazo y contribuir a la mejora continua de los procesos mediante la detección e identificación de causas especiales, implantando un sistema de monitorización del proceso. En el control de procesos se estudia sólo una característica de calidad, pero es posible que un proceso de producción sea necesario vigilar varias características simultáneamente, en cuyo caso se está ante una gran debilidad. Taguchi no resolvió dos puntos fundamentales en la reducción de variabilidad en procesos: la falta de modelos analíticos para modelizar la transmisión de variabilidad y la falta de metodologías sistemáticas para el análisis y optimización de la propagación de la variabilidad.									

No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
4	A general multivariate exponentially weighted moving average control chart.	Choi, S; Hawkins, D.	Gráfico de control multivariado para acelerar la detección de anomalías en el vector de medias y varianza.	MEMWA		X			
5	Robustness to non-normality of the multivariate EWMA control chart	Stoumbos, Z; Sullivan, J.	Método de comparación del rendimiento promedio de corrida de robustez del gráfico MEMWA y la carta Chi cuadrada de Hotelling.	MEMWA			X		
6	Mean shifts detection and classification in multivariate process: A neural-fuzzy approach	Wang, T. Chen, L.	Modelo neuronal difuso para la detección de cambios de medias y clasificar su magnitud en un proceso multivariado.	BP-Neuronal Fuzzy y redes neuronales			X		

2003

**PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.**

En los procedimientos Taguchi, no se está seguro de los límites del control del proceso, ni de la estimación de la distribución normal, no se lleva a cabo el análisis ante la aplicación de las modificaciones en los límites y ante la presencia de autocorrelación negativa, no planteo un modelo autoregresivo como método para representar y modelizar la transmisión de variación en situaciones en las que la misma característica de calidad puede determinarse en diferentes etapas del proceso trazando la utilización de modelos de regresión simple y análisis de la varianza para determinar cuanta variabilidad se trasmite de una etapa a otra, obteniéndose estimaciones de los parámetros que sean resistentes ante la presencia de observaciones atípicas. Sin embargo, existen muchos casos donde la presencia de outliers en la muestra pueden desvirtuar el resultado obtenido, bien por el efecto que pueden suponer al establecer los límites de control en base a estimaciones poco robustas, o ante el comportamiento de los valores representados en el gráfico de control como consecuencia de la influencia de estos outliers.

No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
7	A multivariate exponentially weighted moving average control chart for monitoring process variability	Yeh A; Lin, D; Zhou, H; Venkataramani . C.	Gráfico para detectar pequeños cambios con características correlacionadas y comparación del ARL con otros gráficos	MEMWA		X			
8	Integrating experimental design and statistical control for quality improvement	Nembhard, H; Valverde-Ventura, R.	Metodología para control y supervisión de procesos industriales mediante el diseño de experimentos y gráficos Cuscore	DOE y gráficos Cuscore			X		

2004

**PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.**

Taguchi no consideró el comportamiento de las variables del proceso al tomar la varianza de las observaciones como si fueran independientes e intentar eliminar las causas de los factores de control es un problema. Hay procesos, que los valores observados contienen información que permite predecir la evolución futura del mismo; datos que, si se dispone de variables fáciles de manipular, puede aprovecharse para tomar acciones que mejoren dicho progreso pendiente, minimizando la variabilidad predecible respecto del valor óptimo y mejorando de forma continua la calidad del producto, aspecto en el que no se profundiza; además, no trato el problema de la variación y su transmisión en procesos de múltiples etapas, se carece de rigurosidad estadística para identificar el mejor nivel del factor que minimice las pérdidas de calidad, subestima la interacción entre los factores ubicados en los arreglos internos y externos, se basa en la intuición y la experiencia. La estrategia de un factor por vez, a pesar de ser la más utilizada en las empresas y seguir el método científico, es ineficiente para hallar las mejores condiciones del proceso. Además, no

detectan sistemáticamente las posibles relaciones (interacciones) que pueden existir entre varios factores.									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
9	Artificial neural networks to classify mean shifts from multivariate X2 chart signals.	Chen, L; Wang, T.	Modelo basado en redes neuronales para identificar la(s) característica(s) responsables de la señal fuera de control y clasificar la magnitud de los cambios.	Redes neuronales y gráficos de control		X			
10	Dynamic multiple responses by ideal solution analysis	Tong, L; Wang, C; Chen, C; Chen, C.	Procedimiento para la optimización de múltiples respuestas dinámicas basadas en el diseño de parámetros de Taguchi.	S/N y la sensibilidad del sistema, PCA			X		
<b>2005</b>									
<b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b>									
Bajo Taguchi es necesario aplicar un modelo que elimine los factores que no son significativos en la experimentación, evitando de esta manera un incremento en el número de experimentaciones, las limitaciones son la selección de las razones S/N, la elección de los arreglos ortogonales, optimización, etc. Las razones S/N confunden los efectos de localización y de dispersión, resultando inconveniente para hacer inferencias adecuadas, si bien no pueden ser descartadas siempre, si deben ser utilizadas con suma precaución en el análisis de datos experimentales. El método no rastrea los parámetros clave del proceso que actúan como señales de aviso de las salidas del mismo, no permiten enfoques alternativos, ni medidas que analicen y comparen S/N, tampoco posibilita diferentes perspectivas porque no proporcionan información detallada del control de las características individuales y no se reconocen distintos grados de defectos en las unidades de producto.									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
11	Optimal design of weld pattern in sheet metal assembly based on a genetic algorithm	Liao, G.	Método para puntos óptimos de soldadura en el ensamble de dos láminas y minimizar la deformación de la pieza.	Algoritmo genético y optimización				X	
12	A new multivariate control chart for monitoring both location and dispersion.	Chen, G; Cheng, S; Xie, H.	Gráfico de control multivariado para mejorar el rendimiento promedio de corrida y acelerar la detección de señales fuera de control.	MEMWA				X	
13	Multivariate monitoring of the process mean vector with sequential sampling	Reynolds, M; Kim, K.	Gráfico de Control multivariado para monitorear el vector de medias acelerar la detección de señales fuera de control.	MEMWA				X	
14	Using risk analysis and Taguchi's method to find optimal conditions of design parameters: a case study	Nataraj, M; Arunachalam, G; Ranganathan, G.	Metodología para identificación de las características que generan riesgos en la etapa de diseño.	Análisis de riesgos (VRA), Arreglos ortogonales, S/R, análisis de respuesta	X				
<b>2006</b>									

<p align="center"><b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b></p>									
<p>Los métodos Taguchi presentan ineficiencias en la selección de las condiciones óptimas, la identificación de los mejores niveles de los factores con el fin de minimizar las pérdidas de calidad pueden no ser eficientes. El diseño de experimentos presenta inconvenientes cuando existe interacción entre factores, éstos provienen de variar un factor cada vez en el diseño factorial y experimental. La dificultad estriba en diseñar una experimentación reducida, donde estos cambios simultáneos se complementen entre sí y permitan obtener la información buscada al combinar los resultados de todos los experimentos. Es difícil el manejo cuando se tienen muchos factores con muchos niveles, el modelo puede verse muy grande por la cantidad de combinaciones que pueden generar las interacciones, los inconvenientes provienen de variar un factor cada vez. La dificultad estriba en diseñar una experimentación reducida, donde estos cambios simultáneos se complementen entre sí y permitan obtener la información buscada al combinar los resultados de todos los experimentos.</p>									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
15	Process Optimization via Robust Parameter Design when Categorical Noise Factors are Present	Robinson, T; Breneman, W; Myers, W.	Método de reducción de la varianza por la manipulación de los niveles de los factores de control y ruido.	Partes por millón, capacidad de proceso		X			
16	Optimization of robust design for multiple quality characteristics	Jeang, A; Liang, F; Chung, C.	Método de optimización de parámetros y tolerancias en el diseño del producto simulando los diferentes componentes críticos identificados antes de la fase de fabricación.	(RSM) para la optimización vía programación matemática	X				
17	Variation mode and effect analysis: a practical tool for quality improvement	Per, P; Chakhunashvili, A; Barone, S, et al.	Método Variation Mode Effect Analysis para encontrar factores responsables de variación no deseada.	VMEA				X	
18	Optimization of multi-response processes using the VIKOR method	Tong, L; Chen, C; Wang, C.	Método Vikor y método de análisis multicriterio para la optimización de parámetros de un problema multirespuesta.	Método Vikor utilizando un método de decisiones multicriterio- MCDM				X	
<b>2007</b>									
<p align="center"><b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b></p>									
<p>El estudio del control de Taguchi, es complicado en la inclusión de restricciones, ya que la ley de control es variable con el tiempo y no se puede representar el sistema de la forma clásica, es necesario considerar las funciones multicriterio y el control predictivo No lineal. Taguchi desarrolló una base de diagnóstico de fallos, pero no basada en modelizaciones y de variación y análisis de defectos integrando la variación dimensional de los elementos y las propiedades de los materiales, en ocasiones con grandes pérdidas de información para el análisis. El desempeño del proceso deja duda sobre la efectividad de los métodos, no considera todas las posibilidades cuando el proceso está demasiado alejado de los valores nominales. En el control on line, no se conoce la función de impulso-respuesta, las experimentaciones son complejas, y en ocasiones inexactas y no tienen en cuenta la interacción entre los diferentes tipos de factores.</p>									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
19	Robust design modeling with correlated quality characteristics using a multicriteria decision framework	Govindaluri, Madhumohan, S; Cho, B.	Método de optimización multiobjetivo basado en las preferencias del cliente.	Métrica Tchebycheff y Pareto				X	

20	Multivariate statistical process control charts: an overview	Bersimis, S; Psarakis, S; Panaretos, J.	Gráficos de control univariados, multivariados, y métodos de identificación de causas asignables de variación.	Gráficos de Control		X			
<b>2008</b>									
<b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b>									
El diseño pretende localizar las condiciones óptimas de operación del proceso y para su control de calidad, resultan costosos por lo que solo se llevan a cabo cuando el diseño secundario es excesivo, da problemas en los cálculos matemáticos y estadísticos. En el sistema no se puede destacar la estabilidad, observabilidad, controlabilidad y la función de impulso-respuesta. Los efectos de la autocorrelación en el control de procesos, no es considerada bajo Taguchi, entonces habrá que aplicar alguna técnica que permita disminuir los efectos de esta autocorrelación e incluso si es posible llegar a eliminarla. El diseño planteado es una metodología muy compleja basada en estadística cuyo objetivo es seleccionar la estrategia experimental óptima que permita obtener la información buscada con el mínimo costo y evaluar los resultados experimentales obtenidos, garantizando la máxima fiabilidad en las conclusiones que se obtengan.									
<b>No</b>	<b>Nombre</b>	<b>Autor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Diagnóstico</b>	<b>Predicción</b>	<b>Medición</b>	<b>Relaciones (2Métodos)</b>	<b>Relaciones (3 Métodos)</b>
21	A model-based methodology for on-line quality control	Kazmer, D; Westerdale, S.	Modelo de análisis de componentes principales para parámetros de la variación mediante la perturbación de éstos.	PCA y Hotelling		X			
22	Multivariate Process Variability Monitoring Through Projection	Hao, S; Zhou; H.	Gráfico multivariante para detectar la variabilidad en el proceso.	Gráficos de Control (Sf) Robustos				X	
<b>2009</b>									
<b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b>									
Los métodos Taguchi no tienen una estadística básica fuerte y la relación señal-ruido plantea algunos problemas computacionales; desde el punto de vista paramétrico no atenúan el efecto negativo que puede suponer la existencia de un comportamiento no normal de la función de pérdida de la calidad. Además, los algoritmos de predicción difieren entre sí, en el modelo del proceso y en la función de costo a minimizar, provocando distintos comportamientos. El método de predicción es desarrollado en una estructura simplista que presenta deficiencias en el planteamiento de los grados de libertad y que no pueden aceptarse como válidos. Además, no queda definida una alternativa del gráfico de control de Hotelling, carece de rigurosidad estadística para identificar el mejor nivel del factor que minimice las pérdidas de calidad. Otra crítica se basa en la confusión de los efectos que se producen con los diseños ortogonales fraccionarios, debido al elevado número de factores en relación con el número de corridas, los tratamientos dados por las diferentes combinaciones de factores no se pueden estudiar en profundidad. Además, los diseños que se proponen no son siempre óptimos y no siempre proporcionan los resultados deseados.									
<b>No</b>	<b>Nombre</b>	<b>Autor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Diagnóstico</b>	<b>Predicción</b>	<b>Medición</b>	<b>Relaciones (2Métodos)</b>	<b>Relaciones (3 Métodos)</b>
23	Solving the multi-response problem in Taguchi method by benevolent formulation in DEA	Refaie, A; Al-Tahat, M.	Procedimiento de optimización para una sola variable utilizando análisis envolvente de datos.	Diseño experimental, Análisis envolvente de Datos				X	



<b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b>									
Las aplicaciones son insuficientes para obtener razonables diseños, los arreglos son innecesario, y podría reemplazarse con un único diseño que incluya tanto a los factores controlables como a los no controlables, no presentan suficientes aportaciones para la mejora de la calidad, por lo tanto hay necesidad de perfeccionar éstos en muchos aspectos. El control del proceso no caracteriza el proceso (parámetros y variables) dependiendo del tiempo, frente a diferentes entradas, relacionadas con las variables observadas y la evolución del proceso, no se centran en la determinación de los parámetros de los gráficos de control de la forma más ajustada posible, es difícil obtener estimaciones más ajustadas sin necesidad de llevar a cabo cálculos iterativos, no plantea opciones válidas para superar el control de procesos al no pensar en la presencia de correlaciones y las soluciones para mejorar sus propiedades estadísticas. Los medios estadísticos utilizados son inexactos, y en ocasiones no evalúan el efecto que tiene la media con la varianza, lo que las hace erróneas y producen que la media tienda a obtener valores más altos al mismo tiempo que se obtienen varianzas más pequeñas.									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
29	Solving the optimal process target problem using response surface designs in heteroscedastic conditions	Goethals, P; Rae, B;	Metodología de optimización con presencia de normalidad de la media, varianza constante y la independencia de los residuos.	Diseño de experimentos, métodos gráficos, optimización lineal				X	
30	Application of Taguchi design for quality characterization of abrasive water jet machining of TRIP sheet steels	Kechagias, J; Petropoulos, G; Vaxevanidis, N.	Metodología para evaluar la influencia de los parámetros del proceso de mecanizado abrasivo por agua sobre las características de respuesta.	Diagrama causa-efecto, diseño de experimentos.	X				
31	Variance shifts diagnosis and identification in bivariate process using LS-SVM based pattern recognition model	Zhi-Qiang, C; Yi-Zhon, M;Jing, B, et al.	Modelo de diagnóstico para identificar cambios en la varianza y variables de un proceso bivalente	LS-SVM Least Squares Support Vector Machines (SVM) y grafico Shewart	X				
32	Evaluation of process parameters in the industrial scale process of soybean oil extraction using experimental design methodology	Valduga, E; Tonel, E; Tatsch, P; Oliveira; et al.	Metodología para evaluación de los efectos de los parámetros del proceso de extracción de aceite de soja en un entorno industrial.	Diseño experimental		X			
<b>2012</b>									
<b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b>									
En el método Taguchi las tolerancias demasiado estrechas aumentan el costo de producción, por lo que la definición de dichas tolerancias debe responder a un ejercicio de ingeniería buscando siempre optimizar los recursos y procesos. Además, no se trata claramente la investigación de los efectos de la autocorrelación en el control de procesos. Las propiedades del control de procesos no garantizan la minimalidad de la representación, es decir, no se puede encontrar una modelización que resuma la relación input-output del proceso. En general, el control de procesos planteados por Taguchi no desarrolla algoritmos propios y modelización de series temporales múltiples para recoger la evolución conjunta de las variables del proceso.									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)

33	A combined analytical hierarchical process (AHP) and Taguchi experimental design (TED) for plastic injection molding process settings	AlKaabneh, F; Barghash, M; Mishael, I.	Modelo para optimizar el proceso mediante comparaciones de diferentes configuraciones y ajuste de los factores significativos.	AHP, Diseño de experimentos, FEM (software de elementos finitos Simpo)					X	
34	Ensemble of Surrogates for Dual Response Surface Modeling in Robust Parameter Design	XiaoJian, Z; Zhong, M; YiLiu, T, et ál.	Metodología de superficie de respuesta dual para optimizar simultáneamente la media y la varianza del proceso.	Análisis de superficie dual mediante un conjunto de sustitutos		X				
35	Application of Taguchi design for quality characterization of abrasive water jet machining of TRIP sheet steels	Kechagias, J; Petropoulos, G; Vaxevanidis, N.	Modelo de identificación de la relación entre variables del proceso de mecanizado abrasivo por agua y características de calidad.	Diseño de experimentos y Anova		X				
36	Simultaneous optimization of multiple performance characteristics of carbonitrided pellets: a case study	Boby, J.	Optimización de la respuesta múltiple en el proceso de carbonitruración, mediante la metodología de la función de pérdida de calidad.	Diseño de Experimentos y ANOVA		X				
37	Determination of process parameters in the laser micromilling application using Taguchi method: A case study for AISI H13 tool steel	Kasman, S; Saklakoglu, I.	Optimización de las características de calidad del proceso de micro fresado por láser utilizando el método Taguchi.	Método Taguchi: Arreglos ortogonales S/R					X	

2013

**PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.**

Bajo Taguchi determinar el control adecuado no es fácil saber si el proceso es estable, ni las señales en procesos con ruido, ni la estimación estadística del valor de la perturbación que necesita ser compensada por el algoritmo de control, se presentan problemas en casos de extrema no normalidad en el control de proceso, presenta las fallas para las características de calidad porque no se establecen a partir de los diferentes atributos de calidad mediante una matriz de datos, los diferentes atributos de calidad no pueden estar autocorrelacionados entre sí y varían a lo largo del tiempo y los resultados de la determinación de la característica no están a su vez condicionados por los errores del sistema de medición. Taguchi no considera la aplicación de medidas truncadas para el control de los procesos ni para sus observaciones individuales. La propiedad de la estabilidad, relacionada con el regreso del proceso a una posición de equilibrio tras una perturbación, es casi imposible, los procesos no son multivariantes autocorrelacionados. En efecto, para el diseño de parámetros utilizan diseños ortogonales, otros del tipo factorial fraccional de tres niveles y tienen estructuras muy complejas.

No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
----	--------	-------	-------------	----------	-------------	------------	----------	-----------------------	------------------------

38	Multivariate process parameter change identification by neural network	Ahmadzadeh, F; Lundberg, J; Strömberg, T.	Gráfico de control y redes neuronales para la identificación de la señal y su causa y predecir los puntos de cambio.	Gráficos de Control Robustos (EWMA), Redes neuronales		X				
39	Modelling robustness in serial multi-stage manufacturing processes	Mondal, S; Maiti, J; Ray, P.	Metodología para modelar la robustez del proceso en varias etapas y medir la variación absorbida y transmitida en cada etapa.	Regresión estadística, Series de expansión de Taylor, método de sumas de cuadrados				X		
40	Water Quality Function Deployment	Zaitsev, Natalia; Dror, Shuki	Metodología basada en la función de calidad que extrae las mejoras deseadas en la calidad del agua y las traduce en especificaciones técnicas.	QFD	X					
41	A Max-EWMA approach to monitor and diagnose faults of multivariate quality control processes	Nezhad, M; Saber, F; Niaki, S.	Gráfico para detectar cambios de los sistemas de control de calidad multivariado y determinar la característica de calidad.	Gráfico de Control Max-EMWA)		X				
42	Estimating the effect of process parameters on MRR, TWR and radial overcut of EDMed AISI D2 tool steel by RSM and GRA coupled with PCA	Pradhan, M.	Metodología para estimar el efecto de los parámetros de mecanizado por descarga eléctrica y optimización de las respuestas.	RSM, Análisis Relacional Gris y ACP				X		
43	Quality chain design and optimization by multiple response surface methodology	Taha, H; Mirmehdi, S; Masoud, M.	Optimización de múltiples parámetros y características de calidad en un sistema multietapa utilizando la metodología de análisis de superficie de respuesta.	RSM					X	
44	Optimization of sand-casting process variables- a process window approach	Kumaravadivel, A; Natarajan, U	Optimización de parámetros del proceso de fundición de arena verde aplicando diseño de experimentos y análisis de superficie de respuesta.	Diseño experimental, RSM					X	
45	Predictive model and process parameters optimization of Nd:YAG laser micro-turning of ceramics	Kibria, G; Doloi, B; Bhattacharyya, B	Optimización parámetros de operación láser micro-giro utilizando el diseño de experimentos y análisis de respuesta de superficie.	Diseño experimental, RSM					X	

46	A warpage optimization method for injection molding using artificial neural network with parametric sampling evaluation strategy	Shi, H; Xie, S; Wang, Xi.	Método optimización secuencial basado en redes neuronales artificiales para relacionar las variables de diseño y el índice de calidad.	Redes neuronales artificiales					X	
47	Optimization of multiple performance characteristics in turning using Taguchi's quality loss function: An experimental investigation	Ashok, K; Tanmaya, M.	Método Taguchi para el diseño de parámetros en el proceso de torneado para la optimización de las variables de respuesta.	Método Taguchi			X			
48	Prediction and optimization of friction welding parameters for super duplex stainless steel (UNS S32760) joints	Udayakumara, T; Rajaa, K; Afsal, T; Husainb, P.	Método de optimización para predecir la relación de los parámetros y respuestas en un proceso de soldadura por fricción.	RSM y algoritmo genético					X	
49	Simultaneous Optimization of Robust Parameter and Tolerance Design Based on Generalized Linear Models (GLM)	Shen, L; Yang, S; Zhao, Yu.	Modelo de minimización de costos totales para la configuración de los factores de control por medio de un algoritmo genético (GA).	Generalized Linear Model y algoritmo genético			X			
50	A quality control method for complex product selective assembly processes	Liu, L; Ping; Z; Fang; C; Jie, et al.	Modelo de integración del diseño, ajuste, control, capacidad y variación de los parámetros del proceso de mecanizado.	Capacidad del proceso, Gráficos de Control			X			
51	Weighted Multivariate Mean Square Error for processes optimization: A case study on flux-cored arc welding for stainless steel claddings	Gomes, J; Paiva, A; Costa, S, et ál.	Método para optimizar características correlacionadas en un proceso de revestimiento de acero inoxidable con soldadura de arco.	WMMSE, PCA Y RSM					X	
52	An investigation of optimum SiO2 nanolubrication parameters in end milling of aerospace Al6061-T6 alloy	Sayuti, M; Sarhan, A; Hamdi, M.	Método para la identificación de los niveles de los parámetros en un proceso de nanolubricación en un proceso de fresado para mejorar la respuesta.	Diseño experimental, análisis de varianza			X			

53	An Overview of Optimization Formulations for Multiresponse Surface Problems	Ardakani, M; Wulff, S.	Modelo de decisión multiobjetivo para clasificar e integrar los factores.	RSM y AHP	X				
54	Mean Shifts diagnosis and identification in bivariate process using LS-SVM based pattern recognition model	Zhi-Qiang, C; Yi-Zhong, M; Jing, B; et al.	Modelo de diagnóstico para identificar cambios en la media en proceso bivalente	LS-SVM Least Squares Support Vector Machines (SVM) y el gráfico  S	X				
55	Multiresponse optimisation of powder metals via probabilistic loss functions	Aksezer, C; Benneyan, J.	Modelo de optimización multirespuesta para minimizar las pérdidas equilibrando la media y la varianza	Optimo de Pareto				X	
56	A Framework for Diagnosing the Out-of-Control Signals in Multivariate Process Using Optimized Support Vector Machines	Li, T; Zhengyuan, S; Liao, Z.	Método de optimización con algoritmo genético para reconocer el conjunto de subclases de patrones anormales multivariados.	SVM, GA				X	
<b>2014</b>									
<b>PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS AUTORES CITADOS FRENTE A LOS MÉTODOS TAGUCHI.</b>									
La pérdida de información en la que se incurre en el análisis de datos y la imposibilidad de analizar de forma correcta el control en línea del proceso y sobre las características de calidad le resta credibilidad al método. La utilización del control estadístico de procesos para ajustar procesos se ha mostrado ineficiente, lo que se traduce en costos innecesarios. Los métodos presentan confusión en los diseños debido al elevado número de factores en relación, los tratamientos dados por las diferentes combinaciones de factores no se pueden estudiar en profundidad. Además, los diseños que propone no son siempre óptimos, no siempre proporcionan los resultados deseados. En el método Taguchi la función de pérdida de la calidad no decrece constantemente hasta llegar a los límites de especificación, se demuestra en las industrias las pérdidas debidas a la desviación de un producto por la variación de las especificaciones generando costos adicionales. La propuesta de la función de pérdida de la calidad no es ajustada a la realidad.									
No	Nombre	Autor	Descripción	Técnicas	Diagnóstico	Predicción	Medición	Relaciones (2Métodos)	Relaciones (3 Métodos)
57	Integrating the Taguchi Method and Response Surface Methodology for Process Parameter Optimization of the Injection Molding	Jou1,Y; Lin, W; Cheng, W; Yeh, T.	Modelo de optimización parámetros en un proceso de inyección utilizando el diseño experimental y análisis de superficie de respuesta.	Método Taguchi y RSM				X	
58	Data mining driven DMAIC framework for improving foundry quality - a case study	Sushovan, G.	Modelo de optimización en un proceso de fundición	DMAIC y seis sigma				X	

59	Evaluation-based closed-loop errors using principal component analysis and self-organisation map with an application to a pickling process	Bouhouche, S; Leksir, Y; Bast J.	Método para comparar el rendimiento del proceso de desoxidado en un circuito cerrado con la técnica PCA	PCA Y SOM		X				
60	A new multivariate EWMA scheme for monitoring covariance matrices	Xiaobei, S; Tsung, F; Zou, C.	Grafico para supervisar las matrices de covarianza y la detección de los cambios que se producen en un mayor número de elementos	Gráfico MEMWA, prueba de normalización L2 y la prueba basada en la máxima norma		X				
Gran Total						8	22	7	23	0

Fuente: elaboración propia

## Anexo C. Caracterización del sector de lácteos. Principales actividades del sector de alimentos de acuerdo a su clasificación CIU y las empresas más representativas

CLASIFICACIÓN CIU	RAZÓN SOCIAL
<b>C101</b> PROCESAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE CARNE, PESCADO, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS	CENTRAL DE SACRIFICIO DE MANIZALES S.A
<b>C102</b> PROCESAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE FRUTAS, LEGUMBRES, HORTALIZAS Y TUBÉRCULOS	FRUGY
<b>C104</b> ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS	<b>INDUSTRIAS NORMANDY S.A</b> <b>CENTRAL LECHERA DE MANIZALES S.A - CELEMA</b> <b>ALPINA S.A</b> <b>CENTROLAC</b>
<b>C105</b> ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE MOLINERÍA, ALMIDONES Y PRODUCTOS DERIVADOS DEL ALMIDÓN	INDUSTRIAS NORMANDY SA
<b>C106</b> ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE CAFÉ	DESCAFEINADORA COLOMBIANA S.A - DESCAFECOL CAFÉ LIOFILIZADO
<b>C1081</b> ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE PANADERÍA	PANADERIA LA VICTORIA S.A
<b>C1082</b> ELABORACIÓN DE CACAO, CHOCOLATE Y PRODUCTOS DE CONFITERÍA	C. I SUPER DE ALIMENTOS S A
<b>C1089</b> ELABORACIÓN DE OTROS PRODUCTOS ALIMENTICIOS N.C.P.	PRODUCTORA DE GELATINA S A
<b>C110</b> ELABORACIÓN DE BEBIDAS	INDUSTRIA LICORERA DE CALDAS

Fuente: DANE (2015)

### Características generales Alpina Productos Alimenticios S.A.

CARACTERISTICAS	CIFRAS
Clientes Internos	6.350
Proveedores	39.770
Participación en el mercado	20% lácteos y 13% en el sector de bebidas refrescantes
Puesto en Competitividad a nivel Nacional	Séptima
Países a los que exporta	15
Ventas netas (cifras en millones de pesos)	1.619.538
Utilidades antes de Impuestos (cifras en millones de pesos)	54.598
Deuda neta (cifras en millones de pesos)	332.873
EBITDA ajustado (cifras en millones de pesos)	138.321
Crecimiento ventas (%)	10.7
Margen bruto (%) (Libre de D&A)	41.67

Fuente: Alpina Productos Alimenticios S (2015)

**Líneas y productos Normandy.**

<b>LÍNEA</b>	<b>PRODUCTOS</b>
<b>Arepas</b>	Blancas, ssaditas, rápiditas, doblemasa, acompañantes, rellenas de quesillo y fibrarepa
<b>Lácteos</b>	Cien por ciento, entero, con probióticos, con cereal full, Kumis, Yomax, Kingur, Zoogur, Pomgur
<b>Refrescos</b>	Cix
<b>Dulcería</b>	Arequipe, arequipe para untar, Cocadas de arequipe, panelitas de arequipe, cocadas de café, panelitas de café.
<b>Postres</b>	Gelatina, Postrecito de Yogurt
<b>Quesos</b>	Queso crema Doypack

Fuente: Normandy (2015)

**Líneas de productos de Celema.**

<b>Líneas</b>	<b>Productos</b>
<b>Leches Pasteurizadas</b>	Leche entera y baja en grasa
<b>Leches larga vida</b>	Entera, deslactosada y baja en grasa
<b>Leches saborizadas</b>	Leches saborizadas
<b>Quesos</b>	Quesillo bloque y tajado, queso cuajada entero y cuajada light y deditos de queso
<b>Crema de leche</b>	Crema de leche
<b>Yogures</b>	Yogurt entero y con cereal y light
<b>Bebidas lácteas</b>	Yuyuba y bebidas lácteas Línea infantil
<b>Arequipes</b>	Arequipe para untar y pote
<b>Refrescos</b>	Refrescos Celema y línea infantil
<b>Gelatinas</b>	Gelatinas de sabores
<b>Agua</b>	Agua Celema

Fuente: Celema (2015)

**Línea de Productos de Centrolac**

<b>Líneas</b>	<b>Productos</b>
<b>Productos lácteos</b>	Leche entera pasteurizada y homogenizada
<b>Quesos</b>	Quesito campesino y cuajada
<b>Derivados y refrescos.</b>	Bebidas lácteas

Fuente: Centrolac (2015)

## **Anexo D. Instrumento para Diagnóstico.**



### **PROYECTO “METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN E INTERVENCIÓN DE LA VARIABILIDAD”. APLICACIONES EN EL SECTOR LÁCTEO (MANIZALES - CALDAS).**

El presente proyecto tiene como objetivo identificar diferentes aspectos de calidad. Por su carácter investigativo, se garantiza que toda la información será estrictamente para propósitos académicos y se procesará con total privacidad.

Por favor diligenciar la información con la mayor precisión y objetividad posible. Gracias.

#### **I. Información general.**

1. Nombre de la empresa:
2. Principal(es) líneas de productos y procesos:
3. De los anteriores productos y procesos, cuales considera necesitan mayor intervención y control por su complejidad? Razones.
4. ¿De los procesos mencionados, cuál de éstos tiene el mayor grado manual y cuál el de mayor grado de automatización?

Las siguientes preguntas corresponden a los productos y procesos identificados anteriormente.

## II. Aspectos de Funcionalidad.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Muy  
alto

Muy  
bajo

Descripción del ítem	5	4	3	2	1
Grado en el que se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos.					
Grado en el que se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos.					
Grado de conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente.					
Grado de cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan.					
Grado de organización y estandarización de la producción ( <i>Se tiene establecido una manera correcta de hacer las operaciones, se detecta fácilmente los rechazos, errores y las causas de la desviación que se están realizando en el procesamiento</i> ).					
Grado de facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan.					

## III. Aspectos de Gestión.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe en qué grado existe:

Descripción del Ítem	5	4	3	2	1
Documentación de los requerimientos, características de calidad del producto y los parámetros de los procesos, mediante procedimientos o requisitos.					
Definición y asignación de responsabilidades, funciones y relaciones entre todo el personal implicado en el control de la calidad.					
Identificación del producto durante las etapas de fabricación, almacenaje, entrega y postventa (trazabilidad).					
Existencia de espacios y prácticas para fomentar el análisis y mejoramiento de la calidad					
Involucramiento con los proveedores en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo.					
Involucramiento con los clientes en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo.					

## IV. Aspectos de Eficiencia.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	5	4	3	2	1
Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas.					
Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento.					
La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables.					
La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares.					
El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización.					
La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos.					
El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción.					

## V. Aspectos del Diseño del producto.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	5	4	3	2	1
Las actividades permiten tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del producto.					
El nivel de fabricación de prototipos, pruebas, costeo y aprobación del cliente					
La integración del área de diseño con las demás áreas funcionales, con énfasis en producción y calidad.					
La existencia de un departamento para investigación y desarrollo de nuevos productos. (5: Grupo de profesionales; 4: Técnicos o tecnólogos; 3: el mismo personal de producción, 2: un solo encargado con varias actividades; 1: no se hace investigación y desarrollo).					
La consideración en el diseño de aspectos como la manufacturabilidad fiabilidad, el mantenimiento, la reparación, el desecho del mismo y su impacto en el medio ambiente, entre otros.					
La reducción del tiempo de diseño por el aumento de la competencia y el rápido ritmo de innovación					

sin afectar la calidad.					
La facilidad de traducción y acoplamiento de las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas del producto.					

Enumere de mayor a menor 1,..., 3,..., 5, dependiendo de la ocurrencia. ¿Cuáles son las fuentes del diseño o rediseño de productos para la empresa?

No.	Fuente u origen del Diseño
	Por exigencia del cliente
	Iniciativa empresarial, nuevas ideas-opportunidades de mejora
	Requerimiento legal
	Por fallas en productos y procesos
	Otros.Cuál?

## VI. Aspectos del Diseño de procesos.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	Muy Alto			Muy Bajo	
	5	4	3	2	1
Grado de evaluación de los procesos de la empresa con el fin de comprobar el grado de eficacia y eficiencia.					
Grado de existencia de sistemas que permitan tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del proceso.					
Nivel de integración y concordancia del diseño del proceso con el flujo del mismo.					
Capacidad para prever nuevas alternativas de procesamiento, nuevas formas de realizar las operaciones, estimación del riesgo y nuevos procesos.					
Grado en que las actividades para el diseño del proceso contemplan la detección, control de anomalías, interrupciones y retrasos.					
Grado en el que el proceso responde a los requisitos previamente establecidos, éstos se ven reflejados en los procesos existentes y similares a otros, en otras organizaciones.					

Cuáles son las principales razones para implementar el mejoramiento y rediseño de los procesos (Seleccionar con una X).

No.	Principal razón.
	Mejorar la calidad de los productos o servicios
	Mejorar la satisfacción del cliente
	Disminuir costos en la operación
	Mejoramiento de procesos
	Aprovechar nueva tecnología
	Disminución de fallas, reducción de averías, mitigación de riesgos
	Otra. Cual?

A continuación plantean diferentes metodologías y herramientas para la identificación de las causas de las desviaciones o defectos, para monitorear, controlar y mejorar los procesos y producto. Marque con una equis (X) en la escala, de acuerdo al nivel de implementación que se tenga, donde 1 significa que no se utiliza y 5 un elevado nivel de implementación y funcionalidad.

Nivel de Implementación/funcionalidad de la práctica	No se utiliza	Muy Deficiente	Nivel Intermedio	Bueno	Elevado Nivel
	1	2	3	4	5
Six sigma.					
Cartas de control univariadas.					
Control estadístico multivariado					
Diseño experimental					
Capacidad de procesos					
Control automático de procesos					
Función de la calidad(QFD)					
FMEA/VEMA					
Gestión del riesgo de variación					
Repetibilidad y reproducibilidad de medición					
Función pérdida de calidad					
Muestreo de aceptación					
Diseño robusto					
Normas nacionales e internacionales					
Diseño para el seis sigma (DFSS)					
Gestión de procesos de negocios					
Análisis de flujo de proceso					
Diagrama de Pareto					
Diagramas de causa y efecto					
Ingeniería de métodos					
Análisis de valor agregado					
Control dinámico de Procesos					
Otros. Cuál?					

## **Anexo E. Descomposición del producto y del proceso según Decreto 616 de 2006 (Reglamento técnico).**

### **1. Descomposición del Producto**

Los constituyentes de la leche se encuentran en tres estados físicos:

- Solución o fase hídrica: contiene suspendida lactosa y sales minerales, proteínas solubles
  - Suspensión micelar: contiene caseína ligada a minerales
  - Emulsión grasa: contiene la materia grasa en forma globular
- 
- **Lactosa:** es el carbohidrato que se encuentra en mayor proporción en la leche, con una concentración generalmente constante que varía normalmente entre 4.5% y 5%, otros carbohidratos como fructuosa, glucosamina, y algunos oligosacáridos están presentes solo como trazas. El leve sabor dulce de la leche es debido principalmente a la lactosa.
  - **Lípidos:** aproximadamente el 98% de la grasa de la leche es una mezcla de triacilgliceroles (TAG), en los cuales están en una proporción relativamente importante de ácidos grasos de cadena corta específica.
  - **Proteínas:** contiene cientos de tipos de proteínas, en cantidades muy pequeñas, las cuales juegan un rol fundamental debido a las propiedades fisicoquímicas, especialmente las relacionadas con la estabilidad de la leche. Pueden ser clasificadas de acuerdo a sus propiedades físicas o químicas y sus funciones biológicas, en caseínas, proteínas de suero y proteínas menores. Además presentan glóbulos de grasa en la superficie y enzimas pertenecientes al grupo de proteínas menores. Las enzimas vienen desde el animal o de las bacterias presentes en la leche, son utilizadas para pruebas de calidad y control. Entre las más importantes están peroxidasas, fosfatasas y lipasas; algunas presentan actividad antimicrobiana o ejercen funciones beneficiosas.
  - **Sales:** contiene sales orgánicas e inorgánicas, uno de los elementos de traza que se encuentra en mayor proporción es el zinc.
  - **Otros componentes:** ácidos orgánicos, carbohidratos, compuestos nitrogenados, gases, hormonas.

Por su alto contenido de agua, es un alimento propenso a alteraciones y desarrollo microbiano, por eso durante todo el proceso debe conservarse refrigerada a la temperaturas entre  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 2. Descripción características de calidad

Las características de calidad a analizar son las del producto terminado, ya que el proceso es continuo y no hay forma de llevarlo a cabo en producto en proceso. Estas se clasifican en tres grupos: características fisicoquímicas, características microbiológicas y características organolépticas.

### ➤ Características fisicoquímicas

- **Índice Crioscópico (punto de congelación):** determina la cantidad de agua adicionada a la leche a una temperatura en la cual comienza a separarse. Dicha temperatura se conoce como punto de congelación o índice crioscópico. La leche se congela a menos de  $0^{\circ}\text{C}$  ya que las sustancias disueltas disminuyen el punto de congelación del solvente.
- **Densidad:** no es un valor constante, depende de su composición y temperatura. De acuerdo a la adición de sustancias, el descremado y la disminución de la temperatura, hacen que la densidad de la leche se incremente. De otra parte, la adición de agua y grasas y el aumento de la temperatura ocasionan una disminución de la densidad. La densidad está establecida por norma.
- **Acidez:** la acidez es una prueba de calidad sanitaria de la leche. La leche fresca contiene muy poco ácido láctico. La lactosa presente en la leche puede ser convertida en ácido láctico para que la acidez aumente, el grado de acidez demasiado alto es materia prima inadecuada para el consumo y productos lácteos.
- **% Grasa:** la materia grasa se separa determinándose su contenido en porcentaje, mediante la destrucción de los componentes orgánicos.
- **Sólidos No Grasos:** los sólidos no grasos están compuestos por lactosa, proteínas, y minerales principalmente, incluye todos los sólidos de la leche a excepción de la grasa.
- **Sólidos Totales:** representados por todos los elementos sólidos de la leche incluyendo la grasa, son los responsables de los buenos o malos rendimientos en productos lácteos.

- **Fosfatasa:** presente en la fase acuosa y en la superficie de los glóbulos grasos, esta enzima tiene una sensibilidad al calor que permite que la pasteurización sea suficiente.
- **Peroxidasa:** la enzima peroxidasa se mantiene activa tras el proceso de pasteurización baja, es usada para verificar que el proceso de pasteurización se haya realizado correctamente.

Algunos de los límites de especificación para las características de calidad fisicoquímicas, son establecidos de acuerdo al Reglamento Técnico con el Decreto 616 de 2006, que establece los requisitos de la leche para el consumo humano, presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de la leche entera

Parámetros/Unidades	Pasteurizada	
	Min	Max
Grasa % m/v mínimo	3.0	
Sólidos totales % m/m	11.30	
Sólidos No Grasos S.N.G (% m/m)	8.30	
Peroxidasa	Positiva	
Fosfatasa	Negativa	
	Min.	Max.
Densidad 15/15°C g/ml	1.0285	1.0330
Acidez expresado como ácido láctico % m/v	0.13	0.17
Índice °C	-0.530	-0.510
Crioscópico °H	-0.550	-0.530

Fuente: Decreto 616 de 2006

### ➤ Características microbiológicas

Los análisis microbiológicos son los más importantes, pues garantizan la inocuidad de la leche, tanto la cruda como el producto terminado. Las características de inocuidad son el recuento de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales y coliformes fecales.

- **Mesófilos aerobios:** son aquellos que se desarrollan en presencia de oxígeno, a una temperatura comprendida entre 20 - 45° C con una zona óptima entre 30 -40 °C. En el recuento es la determinación del número de microorganismos aerobios mesófilos viables por gramo o cm<sup>3</sup> de muestra de alimento.
- **Coliformes:** son bacterias anaerobias aerotolerantes, que crecen en ambientes sin oxígeno, pero la presencia de este no las inhibe. Los más comunes son: Aerobacter, Aerogenes y Escherichia Coli, siendo estos los principales causantes

de fermentaciones anormales durante los procesos de elaboración y maduración (fecal y no fecal).

- **Coliformes Fecales:** definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas, el más común es el *Escherichia coli* y se transmiten por medio de excrementos.

Al igual que las características fisicoquímicas, los límites de especificación para las características de calidad microbiológicas, son establecidos por el Decreto 616 de 2006. En la Tabla 2, se ilustran los límites de especificación correspondientes.

Tabla 2. Características microbiológicas leche entera

Parámetros	Empresa	Especificaciones		Unidades	Método
		Min	Max		
Mesófilos Aerobios	Si	0	100.000	Ufc/ml	Vertido en placa
Pseudomonas	No	<10		Ufc/ml	Vertido en placa
Coliformes Totales	Si	<10	3	Ufc/ml	Vertido en placa
Coliformes Fecales	Si	<10	3	Ufc/ml	Vertido en placa
Esporas aerobias	No	<10		Ufc/ml	Vertido en placa
Esporas anaerobias	No	<10		Ufc/ml	Vertido en placa

Fuente: Decreto 616 de 2006

### ➤ Características organolépticas: (color, olor, sabor, textura)

Para los análisis sensoriales, los atributos evaluados son aroma y sabor, color y textura, tanto para la leche cruda como pasteurizada (porciones de 30 ml a una temperatura entre los 60- 66 °C)., como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Características organolépticas de leche entera

Clasificación	Descripción del sabor y olor	Descripción del color y textura
Excelente	Sin crítica, aroma y sabor característico, dulce	Color blanco marfil opaco. Cuerpo líquido, sin sedimentos y de textura uniforme
Buena	Simple y ligero a hierba	
Regular	Ligero a hierba y ligeramente oxidado	
Mala (se aconseja rechazar)	Fuerte a hierba, ligero a rancio y oxidado	
Muy Mala (inaceptable)	Muy ácido y pútrido	Color blanco amarillento con sedimento. Color azulado cuando se agrega agua. Cuerpo muy espeso o muy líquido, con gránulos

Fuente: Decreto 616 de 2006

## 2. Descomposición del proceso producción de la Leche pasteurizada entera

- **Transporte y recepción de la leche:** La leche cruda llega a la planta en un carro cisterna de acero inoxidable, el cual tiene una forma cilíndrica y está dividido en cámaras o secciones, que permiten diferenciar la leche por centro de acopio y reducir el movimiento y la formación de espuma. Entre las condiciones de la recepción de la leche está la temperatura, que se debe mantener durante todo el

proceso en el rango  $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  (recepción: 6 am, cantidad: 100.000 a 120.000 litros).

Las principales operaciones que se realizan a la llegada de la leche cruda a la planta son:

- **Pesado o medición:** se bombea la leche de las cisternas a tanques de almacenamiento a través de tuberías de acero inoxidable.
- **Muestreo:** se mide la temperatura de la leche para asegurarse que esté en el rango requerido; e igualmente, se toman las muestras para las pruebas de plataforma y de laboratorio.

La leche fresca deber presentar un aspecto normal, limpia y libre de calostro, preservativos, antibióticos, pesticidas, colorantes, material extraño, sabores y olores. La empresa realiza los análisis de plataforma con el fin de aceptarla o rechazarla, verifica las cantidades recibidas y obtiene muestras para efectuar los análisis de laboratorio que identifican y trazan la calidad de la materia prima.

Para la materia prima (leche cruda), los requerimientos exigidos por la empresa a sus proveedores son: buena capacidad de acidificación, bajo contenido celular y de gérmenes, composición bioquímica normal; según las normas nacionales (Decreto 2437 de 1983, Decreto 476 de 1998 y Decreto 616 de 2006).

Las pruebas de plataforma evalúan los aspectos físicos químicos de la leche, se verifica la temperatura, se hace análisis organoléptico, se realiza una lacto filtración para establecer la presencia de materias extrañas y se mide la densidad. En las pruebas de laboratorio se incluyen la de acidez, de alcohol, determinación del contenido graso y las pruebas microbiológicas (recuento total en placa, coliformes totales y coliformes fecales).

- **Almacenamiento temporal:** en tanques se almacena la leche cruda para su posterior tratamiento, normalización y mezcla y regulación entre las operaciones del proceso. Los tanques para el almacenamiento temporal de la leche cruda, son tanques verticales con capacidad de 30.000 litros, en acero inoxidable, resistentes a la corrosión. Cada tanque posee un agitador de movimiento suave (80 rpm), un instrumento de medición de temperatura, válvulas de control de entrada y salida del agua de enfriamiento.
- **Desgasificación o desaireación:** operación necesaria debido al alto porcentaje de aire que contiene la leche cruda por la baja temperatura y al aumento de éste durante el manejo de la leche (puede llegar al 10% del volumen total); si no se elimina se puede producir falta de precisión en la homogenización y eficacia de la pasteurización.

La leche, previamente calentada se introduce en la cámara de expansión, donde se ha creado un vacío equivalente a un punto de ebullición de unos 7 – 8 °C menos, de tal forma que la caída de presión provoque la salida del aire. Los vapores pasan a un condensador, donde la leche condensada vuelve con el resto y los gases son separados.

- **Filtración:** es realizada para limpiar las impurezas en suspensión, se lleva a cabo haciendo pasar la leche por un sistema de filtros (tamiz metálico perforado), colocado en el tanque de recibo. En esta limpieza se retiran el materia vegetal, excrementos, entre otros.
- **Pasteurización baja o lenta (tratamiento térmico):** es uno de los métodos de conservación, bajo varias condiciones de tiempo - temperatura con el objetivo de destruir microorganismos y enzimas, aunque en la pasteurización la leche pasa por diversos cambios físicos, químicos y organolépticos. Los factores que influyen en la pasteurización son la temperatura y el tiempo de residencia, el tipo y el número de microorganismos que contaminan la leche, el pH y la velocidad de transferencia de calor de los equipos.

Paralelamente a la destrucción de organismos patógenos, también se eliminan los microorganismos más termosensibles, como los coliformes y se inactiva la fosfatasa alcalina, pero no así las esporas o la peroxidasa, ni las bacterias un poco más termorresistentes, como las lácticas. Es decir, la leche pasteurizada todavía tiene una determinada cuenta microbiana, principalmente de bacterias lácticas (no patógenas pero sí fermentativas) y requiere de refrigeración, ya que su vida de anaquel es tan sólo de algunos días.

Con temperaturas superiores a 25 °C mueren los microorganismos psicrófilos (coliformes); arriba de los 42 °C mueren los mesófilos aerobios y superiores a 60 °C mueren los termorresistentes (salmonella). La eficiencia de la pasteurización se mide mediante la prueba de la fosfatasa alcalina, con la cual hay que tomar ciertas precauciones, ya que se presenta el fenómeno de la reactivación enzimática. La pasteurización baja o lenta, tiene una eficiencia del 95% y no modifica las propiedades sensoriales y físico-químicas de la leche.

- **Homogenización:** ésta operación tiene el propósito de dividir y dispersar los glóbulos grasos de la leche entera cruda para desarrollar una emulsión que mejora la estabilidad entre la grasa y la leche, prolongando de esta manera el tiempo en que puede formar la línea de grasa en la leche envasada; haciéndola más digestiva, mejorando el sabor y la apariencia; aumentando la viscosidad, dándole más cuerpo y consistencia; mayor opacidad y mayor uniformidad a la leche.

Durante la homogenización los glóbulos de grasa se pueden reducir en tamaño desde 8 micras a 1 - 2 micras dependiendo de las condiciones de operación, a una

presión entre 150 - 350 kgf/cm<sup>2</sup>, hasta una zona de baja presión (1kgf/cm<sup>2</sup>) lo que produce el estallido de los glóbulos. En la homogenización suele tenerse presente un examen microscópico para determinar la uniformidad de los gránulos grasos y una prueba de correcta homogenización al tomar 100 ml de la parte superior de un envase (1 Litro) con leche en reposo de 48 horas, el contenido graso de esta porción no difiere en más de 10 % del contenido graso del resto (900 ml).

- **Envasado:** es la última etapa del proceso, consiste en el llenado de los empaques (bolsas) con el producto. El factor más importante es el mantenimiento de las condiciones asépticas del proceso. Consiste en sistemas de llenado en condiciones estériles y en equipos herméticos, dotados de mecanismos de desinfección antes del llenado, mediante el uso de peróxido de hidrógeno, el cual es removido posteriormente mediante una corriente de aire caliente, logrando así crear un ambiente libre de bacterias.
- **Almacenamiento:** comprende al período que transcurre desde que el producto sale ya terminado de la línea de elaboración hasta antes de la distribución, se realiza en cuartos fríos a una temperatura a  $4 \pm 2$  °C para evitar la formación de microorganismos.

## Anexo F. Resultados estadísticos problemas de calidad

	Sector	Tamaño	1.1. Se tienen identificadas y controladas las características de los productos contra estándares establecidos	1.2. Se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos	1.3. Conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente	1.4. Cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan	1.5. Organización y estandarización de la producción	1.6. Facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan
N	<b>Válido</b>	19	19	19	19	19	19	19
	<b>Perdidos</b>	0	0	0	0	0	0	0

	2.1. Documentación de los requerimientos, características de calidad del producto y los parámetros de los procesos	2.2. Definición y asignación de responsabilidades, funciones y relaciones entre todo el personal implicado en el control de la calidad	2.3. Identificación del producto durante las etapas de fabricación, almacenaje, entrega y postventa (trazabilidad)	2.4. Existen espacios y prácticas para fomentar el análisis y mejoramiento de la calidad	2.5. Involucramiento con los proveedores en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo	2.6. Involucramiento con los clientes en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo
N	<b>Válido</b>	19	19	19	19	19
	<b>Perdidos</b>	0	0	0	0	0

	3.1. Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas	3.2. Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento	3.3. La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables	3.4. La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares	3.5. El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización	3.6. La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos	3.7. El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción
N	<b>Válido</b>	19	19	19	19	19	19
	<b>Perdidos</b>	0	0	0	0	0	0

		4.1. Las actividades permiten tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del producto	4.2. El nivel de fabricación de prototipos, pruebas, costeo y aprobación del cliente	4.3. La integración del área de diseño con las demás áreas funcionales, con énfasis en producción y calidad	4.4. La existencia de un departamento para investigación y desarrollo de nuevos productos	4.5. La consideración en el diseño y su impacto en el medio ambiente	4.6. La reducción del tiempo de diseño por el aumento de la competencia y el rápido ritmo de innovación sin afectar la calidad	4.7. La facilidad de traducción y acoplamiento de las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas del producto
N	<b>Válido</b>	19	19	19	19	19	19	19
	<b>Perdidos</b>	0	0	0	0	0	0	0

- Frecuencias por variables y subvariables**

**1.1. Se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	1	5,3	5,3	5,3
	3	5	26,3	26,3	31,6
	4	9	47,4	47,4	78,9
	Muy Alto	4	21,1	21,1	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

**1.2. Se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	1	5,3	5,3	5,3
	3	6	31,6	31,6	36,8
	4	9	47,4	47,4	84,2
	Muy Alto	3	15,8	15,8	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

**1.3. Conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	15,8	15,8	15,8
	3	11	57,9	57,9	73,7
	4	4	21,1	21,1	94,7
	Muy Alto	1	5,3	5,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

**1.4. Cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Muy Bajo	1	5,3	5,3	5,3
	2	3	15,8	15,8	21,1
	3	9	47,4	47,4	68,4
	4	4	21,1	21,1	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

**1.5. Organización y estandarización de la producción**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	5	26,3	26,3	26,3
	3	7	36,8	36,8	63,2
	4	5	26,3	26,3	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 1.6. Facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	7	36,8	36,8	36,8
	3	7	36,8	36,8	73,7
	4	5	26,3	26,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 2.1. Documentación de los requerimientos, características de calidad del producto y los parámetros de los procesos

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	5	26,3	26,3	36,8
	4	10	52,6	52,6	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 2.2. Definición y asignación de responsabilidades, funciones y relaciones entre todo el personal implicado en el control de la calidad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	8	42,1	42,1	52,6
	4	7	36,8	36,8	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 2.3. Identificación del producto durante las etapas de fabricación, almacenaje, entrega y postventa (trazabilidad)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	7	36,8	36,8	47,4
	4	6	31,6	31,6	78,9
	Muy Alto	4	21,1	21,1	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 2.4. Existen espacios y prácticas para fomentar el análisis y mejoramiento de la calidad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	10	52,6	52,6	63,2
	4	5	26,3	26,3	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 2.5. Involucramiento con los proveedores en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	11	57,9	57,9	68,4
	4	6	31,6	31,6	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 2.6. Involucramiento con los clientes en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Muy Bajo	1	5,3	5,3	5,3
	2	2	10,5	10,5	15,8
	3	13	68,4	68,4	84,2
	4	3	15,8	15,8	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 3.1. Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	15,8	15,8	15,8
	3	9	47,4	47,4	63,2
	4	5	26,3	26,3	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 3.2. Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	15,8	15,8	15,8
	3	6	31,6	31,6	47,4
	4	6	31,6	31,6	78,9
	Muy Alto	4	21,1	21,1	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 3.3. La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	15,8	15,8	15,8
	3	7	36,8	36,8	52,6
	4	5	26,3	26,3	78,9
	Muy Alto	4	21,1	21,1	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 3.4. La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	7	36,8	36,8	47,4
	4	4	21,1	21,1	68,4
	Muy Alto	6	31,6	31,6	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 3.5. El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	4	21,1	21,1	21,1
	3	5	26,3	26,3	47,4
	4	6	31,6	31,6	78,9
	Muy Alto	4	21,1	21,1	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 3.6. La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	4	21,1	21,1	21,1
	3	5	26,3	26,3	47,4
	4	5	26,3	26,3	73,7
	Muy Alto	5	26,3	26,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 3.7. El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	4	21,1	21,1	21,1
	3	8	42,1	42,1	63,2
	4	3	15,8	15,8	78,9
	Muy Alto	4	21,1	21,1	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

### 4.1. Las actividades permiten tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del producto

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	1	5,3	5,3	5,3
	3	10	52,6	52,6	57,9
	4	6	31,6	31,6	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 4.2. El nivel de fabricación de prototipos, pruebas, costeo y aprobación del cliente

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	1	5,3	5,3	5,3
	3	9	47,4	47,4	52,6
	4	6	31,6	31,6	84,2
	Muy Alto	3	15,8	15,8	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 4.3. La integración del área de diseño con las demás áreas funcionales, con énfasis en producción y calidad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	8	42,1	42,1	52,6
	4	7	36,8	36,8	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 4.4. La existencia de un departamento para investigación y desarrollo de nuevos productos

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	4	21,1	21,1	21,1
	3	6	31,6	31,6	52,6
	4	5	26,3	26,3	78,9
	Muy Alto	4	21,1	21,1	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 4.5. La consideración en el diseño y su impacto en el medio ambiente

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	7	36,8	36,8	47,4
	4	8	42,1	42,1	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 4.6. La reducción del tiempo de diseño por el aumento de la competencia y el rápido ritmo de innovación sin afectar la calidad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	4	21,1	21,1	21,1
	3	7	36,8	36,8	57,9
	4	5	26,3	26,3	84,2
	Muy Alto	3	15,8	15,8	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 4.7. La facilidad de traducción y acoplamiento de las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas del producto

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	1	5,3	5,3	5,3
	3	8	42,1	42,1	47,4
	4	8	42,1	42,1	89,5
	Muy Alto	2	10,5	10,5	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 5.1. Evaluación de los procesos de la empresa con el fin de comprobar el grado de eficacia y eficiencia

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	15,8	15,8	15,8
	3	9	47,4	47,4	63,2
	4	7	36,8	36,8	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 5.2. Existencia de sistemas que permitan tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	11	57,9	57,9	68,4
	4	5	26,3	26,3	94,7
	Muy Alto	1	5,3	5,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 5.3. Nivel de integración y concordancia del diseño del proceso con el flujo del mismo

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	9	47,4	47,4	57,9
	4	7	36,8	36,8	94,7
	Muy Alto	1	5,3	5,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

#### 5.4. La capacidad para prever nuevas alternativas de procesamiento, estimación del riesgo y nuevos procesos

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	15,8	15,8	15,8
	3	11	57,9	57,9	73,7
	4	4	21,1	21,1	94,7
	Muy Alto	1	5,3	5,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

**5.5. Las actividades para el diseño del proceso contemplan la detección, control de anomalías, interrupciones y retrasos**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	3	15,8	15,8	15,8
	3	11	57,9	57,9	73,7
	4	5	26,3	26,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

**5.6. El proceso responde a los requisitos previamente establecidos, éstos se ven reflejados en los procesos existentes y similares a otros**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	2	10,5	10,5	10,5
	3	11	57,9	57,9	68,4
	4	5	26,3	26,3	94,7
	Muy Alto	1	5,3	5,3	100,0
	Total	19	100,0	100,0	

## Anexo G. Análisis bivariado

	TAMAÑO			SECTORES								
	Total	Grande	Mediana	Bebidas	Café	Cárnicos	Confitería Chocolate	Frutas Hortalizas	Lácteos	Molinería	Otros Alimentos	Panadería
	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
<b>1. FUNCIONALIDAD</b>	3,2	3,3	3,2	3,2	4,1	3,4	3,3	3,7	2,3	3,0	3,3	3,0
1.1. Se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos	3,8	4,0	3,8	2,7	4,0	3,0	3,5	2,8	2,3	2,5	4,0	3,0
1.2. Se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos	3,7	3,8	3,7	4,2	4,2	3,3	3,5	3,6	2,4	2,5	4,0	3,0
1.3. Conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente	3,2	3,0	3,2	2,8	4,2	3,0	3,0	3,1	2,3	3,7	3,0	3,0
1.4. Cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan	3,2	3,0	3,2	4,7	4,0	4,2	3,0	4,4	2,2	2,8	3,0	3,0
1.5. Organización y estandarización de la producción	3,2	3,0	3,3	2,8	4,1	3,0	3,5	4,4	2,4	3,5	3,0	3,0
1.6. Facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan	2,9	2,8	2,9	2,2	4,1	4,0	3,0	4,1	2,2	3,0	3,0	4,0
1.7.												
<b>2. GESTIÓN</b>	3,4	3,2	3,5	3,4	3,1	3,7	3,8	3,8	3,8	2,6	3,3	3,0
2.1. Documentación de los requerimientos, características de calidad del producto y los parámetros de los procesos	3,6	3,5	3,7	3,6	3,3	4,0	4,0	4,0	4,3	2,5	4,0	3,0

2.2. Definición y asignación de responsabilidades, funciones y relaciones entre todo el personal implicado en el control de la calidad	3,5	3,2	3,6	3,4	3,0	4,0	3,5	4,0	4,3	2,5	4,0	3,0
2.3. Identificación del producto durante las etapas de fabricación, almacenaje, entrega y postventa (trazabilidad)	3,6	3,3	3,8	3,6	3,3	5,0	4,0	5,0	4,0	2,5	3,0	3,0
2.4. Existen espacios y prácticas para fomentar el análisis y mejoramiento de la calidad	3,4	3,0	3,5	3,6	2,7	3,0	3,5	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0
2.5. Involucramiento con los proveedores en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo	3,2	3,2	3,2	3,2	3,0	3,0	4,0	3,0	3,7	2,5	3,0	3,0
2.6. Involucramiento con los clientes en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo	2,9	2,8	3,0	3,2	3,0	3,0	3,5	3,0	2,3	2,5	3,0	3,0
<b>3. EFICIENCIA</b>	3,5	2,8	3,9	3,7	3,3	3,6	3,1	4,3	4,3	2,9	2,6	3,0
3.1. Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas	3,3	2,7	3,6	3,4	3,3	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	2,0	3,0
3.2. Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento	3,6	2,8	3,9	3,8	3,3	4,0	3,0	4,0	4,3	3,0	3,0	3,0
3.3. La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables	3,5	2,8	3,8	3,8	3,3	3,0	3,0	4,0	4,3	3,0	3,0	3,0
3.4. La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares	3,7	3,2	4,0	3,8	3,3	4,0	3,0	5,0	4,7	3,0	4,0	3,0
3.5. El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización	3,5	2,7	3,9	3,8	3,3	4,0	3,0	4,0	4,3	3,0	2,0	3,0
3.6. La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos	3,6	2,7	4,0	3,8	3,3	4,0	3,0	5,0	4,3	3,0	2,0	3,0
3.7. El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción	3,4	2,5	3,8	3,6	3,3	3,0	3,5	4,0	4,0	2,5	2,0	3,0
<b>4. DISEÑO DEL PRODUCTO</b>	3,5	3,6	3,5	3,2	3,4	2,9	4,2	4,0	4,0	2,5	2,4	4,0
4.1. Las actividades permiten tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del producto	3,5	3,7	3,4	3,8	3,0	3,0	4,0	4,0	3,7	2,5	3,0	4,0

4.2. El nivel de fabricación de prototipos, pruebas, costeo y aprobación del cliente	3,6	3,8	3,5	3,4	3,3	3,0	4,5	4,0	4,3	2,5	3,0	4,0
4.3. La integración del área de diseño con las demás áreas funcionales, con énfasis en producción y calidad	3,5	3,5	3,5	3,6	3,3	3,0	4,0	4,0	4,0	2,5	2,0	4,0
4.4. La existencia de un departamento para investigación y desarrollo de nuevos productos	3,5	3,5	3,5	3,8	2,7	2,0	4,0	4,0	4,7	2,5	2,0	4,0
4.5. La consideración en el diseño y su impacto en el medio ambiente	3,5	3,5	3,5	3,8	3,3	3,0	4,5	4,0	3,7	2,5	2,0	4,0
4.6. La reducción del tiempo de diseño por el aumento de la competencia y el rápido ritmo de innovación sin afectar la calidad	3,4	3,5	3,3	3,6	2,7	3,0	4,0	4,0	4,0	2,5	2,0	4,0
4.7. La facilidad de traducción y acoplamiento de las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas del producto	3,6	3,7	3,5	3,6	3,3	3,0	4,5	4,0	4,0	2,5	3,0	4,0
<b>5. DISEÑO DE PROCESOS</b>	3,3	3,3	3,3	3,2	3,4	3,2	3,4	4,0	3,5	2,5	3,7	3,7
5.1. Evaluación de los procesos de la empresa con el fin de comprobar el grado de eficacia y eficiencia	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,0	3,5	4,0	3,7	2,5	3,7	4,2
5.2. Existencia de sistemas que permitan tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño	3,3	3,3	3,2	3,0	3,3	3,4	3,5	4,0	4,0	2,5	3,5	3,7
5.3. Nivel de integración y concordancia del diseño del proceso con el flujo del mismo	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	4,0	3,5	4,0	3,7	2,5	3,8	3,3
5.4. La capacidad para prever nuevas alternativas de procesamiento, estimación del riesgo y nuevos procesos	3,2	2,8	3,3	3,4	3,8	3,0	3,0	4,0	3,3	2,5	3,6	3,6
5.5. Las actividades para el diseño del proceso contemplan la detección, control de anomalías, interrupciones y retrasos	3,1	2,8	3,2	3,0	3,3	3,0	3,5	4,0	3,0	2,5	3,4	3,4
5.6. El proceso responde a los requisitos previamente establecidos, éstos se ven reflejados en los procesos existentes y similares a otros	3,3	3,2	3,3	3,3	3,4	3,0	3,5	4,0	3,3	2,5	4,2	4,0

## Comparaciones de medias de columna

	TAMAÑO	SECTORES
--	--------	----------

	Grande (A)	Mediana (B)	Bebidas (A)	Café (B)	Cárnicos (C)	Confitería y Chocolate (D)	Frutas y Hortalizas (E)	Lácteos (F)	Molinería (G)	Otros Alimentos (H)	Panadería (I)
<b>1. FUNCIONALIDAD</b>				<b>F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
1.1. Se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos				<b>F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
1.2. Se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos				<b>F G</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
1.3. Conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente				<b>F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
1.4. Cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan				<b>F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
1.5. Organización y estandarización de la producción				<b>F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
1.6. Facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan				<b>A F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
<b>2. GESTIÓN</b>					. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
2.1. Documentación de los requerimientos, características de calidad del producto y los parámetros de los procesos				<b>F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
2.2. Definición y asignación de responsabilidades, funciones y relaciones entre todo el personal implicado en el control de la calidad				<b>F</b>	. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
2.3. Identificación del producto durante las etapas de fabricación, almacenaje, entrega y postventa (trazabilidad)					. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
2.4. Existen espacios y prácticas para fomentar el análisis y mejoramiento de la calidad					. <sup>a</sup>		. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
2.5. Involucramiento con los proveedores en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo					. <sup>a</sup>	<b>F</b>	. <sup>a</sup>			. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>

2.6. Involucramiento con los clientes en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo				. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
<b>3. EFICIENCIA</b>		A		. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
3.1. Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas		A		. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
3.2. Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento		A		. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
3.3. La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables		A		. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
3.4. La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares				. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
3.5. El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización		A		. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
3.6. La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos		A		. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
3.7. El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción		A		. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
<b>4. DISEÑO DEL PRODUCTO</b>			G	. <td>G</td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>	G	. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
4.1. Las actividades permiten tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del producto				. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
4.2. El nivel de fabricación de prototipos, pruebas, costeo y aprobación del cliente			G	. <td>G</td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>	G	. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
4.3. La integración del área de diseño con las demás áreas funcionales, con énfasis en producción y calidad				. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
4.4. La existencia de un departamento para investigación y desarrollo de nuevos productos			B G	. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
4.5. La consideración en el diseño y su impacto en el medio ambiente				. <td>G</td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>	G	. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.
4.6. La reducción del tiempo de diseño por el aumento de la competencia y el rápido ritmo de innovación sin afectar la calidad				. <td></td> <td>. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td></td>		. <td></td> <td></td> <td>. <td>. </td></td>			. <td>. </td>	.

4.7. La facilidad de traducción y acoplamiento de las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas del producto				G	. <sub>a</sub>	G	. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>
<b>5. DISEÑO DE PROCESOS</b>					. <sub>a</sub>		. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>
5.1. Evaluación de los procesos de la empresa con el fin de comprobar el grado de eficacia y eficiencia					. <sub>a</sub>		. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>
5.2. Existencia de sistemas que permitan tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño					. <sub>a</sub>		. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>
5.3. Nivel de integración y concordancia del diseño del proceso con el flujo del mismo					. <sub>a</sub>		. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>
5.4. La capacidad para prever nuevas alternativas de procesamiento, estimación del riesgo y nuevos procesos					. <sub>a</sub>		. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>
5.5. Las actividades para el diseño del proceso contemplan la detección, control de anomalías, interrupciones y retrasos					. <sub>a</sub>		. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>
5.6. El proceso responde a los requisitos previamente establecidos, éstos se ven reflejados en los procesos existentes y similares a otros					. <sub>a</sub>		. <sub>a</sub>			. <sub>a</sub>	. <sub>a</sub>

Los resultados se basan en pruebas de dos caras que asumen varianzas iguales con el nivel de significación ,05. Para cada par de significación, la clave de la categoría menor aparece debajo de la categoría con una media mayor.

a. Esta categoría no se utiliza en las comparaciones porque la suma de las ponderaciones de casos es menor que dos.

## **Anexo H. Diagnóstico de problemas de calidad en empresa piloto uno.**



### **PROYECTO “METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD. APLICACIONES EN EL SECTOR LÁCTEO (MANIZALES-CALDAS)”.**

El presente proyecto tiene como objetivo identificar diferentes aspectos de calidad. Por su carácter investigativo, se garantiza que toda la información será estrictamente para propósitos académicos y se procesará con total privacidad. Por favor diligenciar la información con la mayor precisión y objetividad posible. Gracias.

#### **I. Información general.**

1. Nombre de la empresa: Anónima

#### **2. Principal(es) líneas de productos y procesos:**

*Jugos de fruta congelados y asépticos*

*Leche entera, deslactosada y saborizada UHT*

*Compotas y papillas-preservados mix y acondicionados*

*Mermeladas industriales*

#### **3. De los anteriores productos y procesos, cuales considera necesitan mayor intervención y control por su complejidad? Razones.**

*Todas las líneas requieren intervención y control porque van para clientes de muy alto nivel de exigencia, pero en estos momentos las que más tienen problemas son: línea leches y línea compotas.*

#### **4. ¿De los procesos mencionados, cuál de éstos tiene el mayor grado manual y cuál el de mayor grado de automatización?**

*El proceso más manual es el de compotas y el más automatizado es de Leches*

Las siguientes preguntas corresponden a los productos y procesos identificados anteriormente.

## II. Aspectos de Funcionalidad.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del ítem	Muy alto				Muy bajo
	5	4	3	2	1
Grado en el que se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos.			x		
Grado en el que se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos.			x		
Grado de conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente.				x	
Grado de cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan.		x			
Grado de organización y estandarización de la producción ( <i>Se tiene establecido una manera correcta de hacer las operaciones, se detecta fácilmente los rechazos, errores y las causas de la desviación que se están realizando en el procesamiento</i> ).			x		
Grado de facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan.				x	

## III. Aspectos de Gestión.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe en qué grado existe:

Descripción del Ítem	Muy alto				Muy bajo
	5	4	3	2	1
Documentación de los requerimientos, características de calidad del producto y los parámetros de los procesos, mediante procedimientos o requisitos.	x				
Definición y asignación de responsabilidades, funciones y relaciones entre todo el personal implicado en el control de la calidad.	x				
Identificación del producto durante las etapas de fabricación, almacenaje, entrega y postventa (trazabilidad).	x				
Existen espacios y prácticas para fomentar el análisis y mejoramiento de la calidad	x				
Involucramiento con los proveedores en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo.		x			
Involucramiento con los clientes en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo.		x			

## IV. Aspectos de Eficiencia.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	Muy Alto				Muy Bajo
	5	4	3	2	1
Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas.		x			
Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento.	x				
La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables.	x				
La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares.		x			
El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización.	x				
La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos.			x		
El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción.			x		

## V. Aspectos del Diseño del producto.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	Muy Alto				Muy Bajo
	5	4	3	2	1
Las actividades permiten tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del producto.			x		
El nivel de fabricación de prototipos, pruebas, costeo y aprobación del cliente		x			
La integración del área de diseño con las demás áreas funcionales, con énfasis en producción y calidad.			x		
La existencia de un departamento para investigación y desarrollo de nuevos productos. (5: Grupo de profesionales; 4: Técnicos o tecnólogos; 3: el mismo personal de producción, 2: un solo encargado		x			

<i>con varias actividades; 1: no se hace investigación y desarrollo).</i>					
La consideración en el diseño de aspectos como la manufacturabilidad fiabilidad, el mantenimiento, la reparación, el desecho del mismo y su impacto en el medio ambiente, entre otros.		x			
La reducción del tiempo de diseño por el aumento de la competencia y el rápido ritmo de innovación sin afectar la calidad.					
La facilidad de traducción y acoplamiento de las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas del producto.			x		

Enumere de mayor a menor 1,..., 3,..., 5, dependiendo de la ocurrencia. ¿Cuáles son las fuentes del diseño o rediseño de productos para la empresa?

No.	Fuente u origen del Diseño
4	Por exigencia del cliente
5	Iniciativa empresarial, nuevas ideas-oportunidades de mejora
3	Requerimiento legal
2	Por fallas en productos y procesos
	Otros. Cuál?

**VI. Aspectos del Diseño de procesos.**

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Muy Alto

Muy Bajo

Descripción del Ítem	5	4	3	2	1
Grado de evaluación de los procesos de la empresa con el fin de comprobar el grado de eficacia y eficiencia.		x			
Grado de existencia de sistemas que permitan tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del proceso.		x			
Nivel de integración y concordancia del diseño del proceso con el flujo del mismo.	x				
La capacidad para prever nuevas alternativas de procesamiento, nuevas formas de realizar las operaciones, estimación del riesgo y nuevos procesos.	x				
Grado en que las actividades para el diseño del proceso contemplan la detección, control de anomalías, interrupciones y retrasos.		x			
Grado en el que el proceso responde a los requisitos previamente establecidos, éstos se ven reflejados en los procesos existentes y similares a otros, en otras organizaciones.	x				

Cuáles son las principales razones para implementar el mejoramiento y rediseño de los procesos (Seleccionar con una X).

No.	Principal razón.
x	Mejorar la calidad de los productos o servicios
x	Mejorar la satisfacción del cliente
x	Disminuir costos en la operación
x	Mejoramiento de procesos
x	Aprovechar nueva tecnología
x	Disminución de fallas, reducción de averías, mitigación de riesgos
	Otra. Cuál?

A continuación plantean diferentes metodologías y herramientas para la identificación de las causas de las desviaciones o defectos, para monitorear, controlar y mejorar los procesos y producto. Marque con una equis (X) en la escala, de acuerdo al nivel de implementación que se tenga, donde 1 significa que no se utiliza, hasta 5 con un elevado nivel de implementación y funcionalidad.

Nivel de Implementación/funcionalidad de la práctica	No se utiliza	Muy Deficiente	Nivel Intermedio	Bueno	Elevado Nivel

	1	2	3	4	5
Six Sigma.				x	
Cartas de control univariadas.				x	
Control estadístico multivariado	x				
Diseño experimental	x				
Capacidad de procesos		x			
Control automático de procesos			x		
Función de la calidad(QFD)	x				
FMEA/VEMA	x				
Gestión del riesgo de variación		x			
Repetibilidad y reproducibilidad de medición		x			
Función pérdida de calidad	x				
Muestreo de aceptación	x				
Diseño robusto	x				
Normas nacionales e internacionales					x
Diseño para el seis sigma (DFSS)			x		
Gestión de procesos de negocios			x		
Análisis de flujo de proceso					x
Diagrama de Pareto					x
Diagramas de causa y efecto					x
Ingeniería de métodos					x
Análisis de valor agregado	x				
Control dinámico de procesos					x
Otros. Cuál?					

## RESULTADOS Y ANALISIS

### Diagnóstico de los problemas de calidad en la empresa piloto

La empresa piloto de tamaño mediano del sector de lácteos, presenta los siguientes resultados de los problemas de calidad.

Análisis de promedio de problemas de calidad empresa piloto.

ANÁLISIS DE PROMEDIOS PROBLEMAS DE CALIDAD	
1. FUNCIONALIDAD	2,8
2. GESTIÓN	4,7
3. EFICIENCIA	4,1
4. DISEÑO DEL PRODUCTO	3,6
5. DISEÑO DE PROCESOS	3,2

Como se presenta en la tabla al igual que el comportamiento del sector, el problema de calidad con menor promedio es “*Funcionalidad*”, seguido del Diseño de procesos. De manera desagregada la calificación dada a cada indicador se muestra en la tabla siguiente.

### Análisis desagregado problemas de funcionalidad en la empresa piloto

Item	Descripción del ítem	Calificación
1	Grado en el que se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos.	3
2	Grado en el que se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos.	3
3	Grado de conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente.	2
4	Grado de cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan.	4
5	Grado de organización y estandarización de la producción ( <i>Se tiene establecido una manera correcta de hacer las operaciones, se detecta fácilmente los rechazos, errores y las causas de la desviación que se están realizando en el procesamiento</i> ).	3
6	Grado de facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan.	2

Dado que la encuesta fue dirigida y los problemas de funcionalidad se respondieron teniendo en cuenta el producto con mayor número de quejas y reclamos por parte de los clientes, los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores reflejan los problemas asociados al producto escogido y su proceso asociado; de esta forma el producto seleccionado por la empresa es la leche entera pasteurizada.

Como se puede observar en la tabla anterior, todos los ítems evaluados para la variable funcionalidad fueron bajos, es notable que la empresa tenga un grado de conocimiento medio tanto de las características de calidad del producto como de los estándares que debe controlar.

De forma consecuente con la calificación del primer ítem, hay un grado de conocimiento medio de los parámetros del proceso, a través de los cuales se pueden controlar las características de calidad y paralelamente no hay una alta estandarización y organización de la producción, indicador que conlleva a la dificultad para identificar cuáles son las causas de los problemas de funcionalidad y más aún al costo que éstos generan. A diferencia de los resultados obtenidos para los ítems 1,2,4,5 y 6, es evidente que la variabilidad funcional presente en los productos no es debido al incumplimiento de los proveedores en cuanto los requerimientos solicitados para las materias primas e insumos puesto que la calificación dada a este ítem fue la más alta.

Lo anterior ratifica la necesidad de aplicar una metodología para intervención de los problemas de calidad debido a la variabilidad, puesto que el producto presenta el mayor número de rechazos por el incumplimiento de los requerimientos solicitados por el cliente y adicionalmente, no se tiene un conocimiento integral del producto y del proceso, lo que hace difícil el control de éstos.

Por otro lado, también se evaluó el nivel de implementación y funcionalidad de diferentes métodos y herramientas para el mejoramiento de la calidad, con el objetivo de tantear la factibilidad y novedad del modelo propuesto, debido a que está basado en diferentes métodos para el control de la calidad. Como se puede observar en la tabla presentada, entre las metodologías y herramientas que emplea la empresa para el mejoramiento de la calidad, no son conocidos ni utilizados el control estadístico multivariado, diseño experimental, el despliegue de la función de la calidad y función de pérdida de la calidad. Igualmente existe un nivel de implementación deficiente de capacidad de proceso y un nivel intermedio en el control automático de proceso. De esta forma, dado que estos enfoques hacen parte de la metodología propuesta, los resultados obtenidos confirman que es posible su desarrollo y aplicación.

## Anexo H1. Diagnóstico de problemas de calidad en empresa piloto dos.



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES

### PROYECTO “METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN E INTERVENCIÓN DE LA VARIABILIDAD. APLICACIONES EN EL SECTOR LÁCTEOS (MANIZALES – CALDAS)”.

El presente proyecto tiene como objetivo identificar diferentes aspectos de calidad. Por su carácter investigativo, se garantiza que toda la información será estrictamente para propósitos académicos y se procesará con total privacidad. Por favor diligenciar la información con la mayor precisión y objetividad posible. Gracias.

#### I. Información general.

1. Nombre de la empresa: Anónima

#### 2. Principal(es) líneas de productos y procesos:

*Leche Entera, deslactosada y saborizada  
Quesos y Yogurts.*

#### 3. De los anteriores productos y procesos, cuales considera necesitan mayor intervención y control por su complejidad? Razones.

*La línea leches para dar cumplimiento a la normativa, por ser un producto perecedero, por ser producto controlado y vital para el desarrollo de la niñez.*

#### 4. ¿De los procesos mencionados, cuál de éstos tiene el mayor grado manual y cuál el de mayor grado de automatización?

*El proceso más manual es el de quesos y el más automatizado es de Leches*

Las siguientes preguntas corresponden a los productos y procesos identificados anteriormente.

#### II. Aspectos de Funcionalidad.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del ítem	Muy alto				Muy bajo
	5	4	3	2	1
Grado en el que se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos.			x		
Grado en el que se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos.			x		

Grado de conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente.				x	
Grado de cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan.			x		
Grado de organización y estandarización de la producción ( <i>Se tiene establecido una manera correcta de hacer las operaciones, se detecta fácilmente los rechazos, errores y las causas de la desviación que se están realizando en el procesamiento</i> ).				x	
Grado de facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan.				x	

### III. Aspectos de Gestión.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe en qué grado existe:

Descripción del Ítem	Muy alto				Muy bajo
	5	4	3	2	1
Documentación de los requerimientos, características de calidad del producto y los parámetros de los procesos, mediante procedimientos o requisitos.			x		
Definición y asignación de responsabilidades, funciones y relaciones entre todo el personal implicado en el control de la calidad.			x		
Identificación del producto durante las etapas de fabricación, almacenaje, entrega y postventa (trazabilidad).			x		
Existen espacios y prácticas para fomentar el análisis y mejoramiento de la calidad			x		
Involucramiento con los proveedores en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo.			x		
Involucramiento con los clientes en la estandarización de las operaciones y servicios de apoyo.			x		

### IV. Aspectos de Eficiencia.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	Muy Alto				Muy Bajo
	5	4	3	2	1
Las inversiones realizadas en calidad respecto a las realizadas en otras áreas.		x			
Las actividades de producción y operaciones están dirigidas a reducir costos y aumentar el rendimiento.			x		
La orientación a las metas de desempeño basadas en elaboración de alternativas de solución rentables.			x		
La orientación de los esfuerzos de la calidad hacia el producto con altos estándares.			x		
El rendimiento del sistema de producción con respecto a los objetivos de la organización.			x		
La satisfacción de los clientes respecto a la calidad de los productos.			x		
El sistema de gestión de calidad actual genera detrimento en el desempeño del sistema de producción.			x		

### V. Aspectos del Diseño del producto.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	Muy Alto				
	5	4	3	2	1
Las actividades permiten tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del producto.			x		
El nivel de fabricación de prototipos, pruebas, costeo y aprobación del cliente				x	
La integración del área de diseño con las demás áreas funcionales, con énfasis en producción y calidad.			x		
La existencia de un departamento para investigación y desarrollo de nuevos productos. (5: Grupo de profesionales; 4: Técnicos o tecnólogos; 3: el mismo personal de producción, 2: un solo encargado con varias actividades; 1: no se hace investigación y desarrollo).				x	
La consideración en el diseño de aspectos como la manufacturabilidad fiabilidad, el mantenimiento, la reparación, el desecho del mismo y su impacto en el medio ambiente, entre otros.				x	
La reducción del tiempo de diseño por el aumento de la competencia y el rápido ritmo de innovación sin afectar la calidad.					
La facilidad de traducción y acoplamiento de las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas del producto.			x		

Enumere de mayor a menor 1,..., 3,..., 5, dependiendo de la ocurrencia. ¿Cuáles son las fuentes del diseño o rediseño de productos para la empresa?

No.	Fuente u origen del Diseño
2	Por exigencia del cliente
3	Iniciativa empresarial, nuevas ideas-oportunidades de mejora
1	Requerimiento legal
	Por fallas en productos y procesos
	Otros. Cuál?

## VI. Aspectos del Diseño de procesos.

Con respecto a los siguientes puntos, evalúe:

Descripción del Ítem	Muy Alto		Muy Bajo		
	5	4	3	2	1
Grado de evaluación de los procesos de la empresa con el fin de comprobar el grado de eficacia y eficiencia.		x			
Grado de existencia de sistemas que permitan tener la certeza de que los requerimientos de calidad son tomados en cuenta en la fase de diseño del proceso.		x			
Nivel de integración y concordancia del diseño del proceso con el flujo del mismo.			x		
La capacidad para prever nuevas alternativas de procesamiento, nuevas formas de realizar las operaciones, estimación del riesgo y nuevos procesos.			x		
Grado en que las actividades para el diseño del proceso contemplan la detección, control de anomalías, interrupciones y retrasos.		x			
Grado en el que el proceso responde a los requisitos previamente establecidos, éstos se ven reflejados en los procesos existentes y similares a otros, en otras organizaciones.			x		

Cuáles son las principales razones para implementar el mejoramiento y rediseño de los procesos (Seleccionar con una X).

No.	Principal razón.
x	Mejorar la calidad de los productos o servicios
x	Mejorar la satisfacción del cliente
x	Disminuir costos en la operación
x	Mejoramiento de procesos
x	Aprovechar nueva tecnología
x	Disminución de fallas, reducción de averías, mitigación de riesgos
	Otra. Cuál?

A continuación plantean diferentes metodologías y herramientas para la identificación de las causas de las desviaciones o defectos, para monitorear, controlar y mejorar los procesos y producto. Marque con una equis (X) en la escala, de acuerdo al nivel de implementación que se tenga, donde 1 significa que no se utiliza, hasta 5 con un elevado nivel de implementación y funcionalidad.

Nivel de Implementación/funcionalidad de la práctica	No se utiliza	Muy Deficiente	Nivel Intermedio	Bueno	Elevado Nivel
	1	2	3	4	5
Six Sigma.			x		
Cartas de control univariadas.			x		
Control estadístico multivariado	x				
Diseño experimental	x				
Capacidad de procesos		x			
Control automático de procesos					

Función de la calidad(QFD)	x				
FMEA/VEMA	x				
Gestión del riesgo de variación		x			
Repetibilidad y reproducibilidad de medición		x			
Función pérdida de calidad	x				
Muestreo de aceptación	x				
Diseño robusto	x				
Normas nacionales e internacionales			x		
Diseño para el seis sigma (DFSS)		x			
Gestión de procesos de negocios		x			
Análisis de flujo de proceso				x	
Diagrama de Pareto				x	
Diagramas de causa y efecto				x	
Ingeniería de métodos				x	
Análisis de valor agregado	x				
Control sinámico de procesos				x	
Otros. Cual?					

## RESULTADOS Y ANALISIS

### Diagnóstico de los problemas de calidad en la empresa piloto dos

La empresa piloto dos presenta los siguientes resultados de los problemas de calidad.

Análisis de promedio de problemas de calidad empresa piloto.

ANÁLISIS DE PROMEDIOS PROBLEMAS DE CALIDAD	
<b>1. FUNCIONALIDAD</b>	2,3
<b>2. GESTIÓN</b>	3,9
<b>3. EFICIENCIA</b>	3,1
<b>4. DISEÑO DEL PRODUCTO</b>	3,6
<b>5. DISEÑO DE PROCESOS</b>	3,2

Como se presenta en la tabla al igual que el comportamiento del sector, el problema de calidad con menor promedio es “*Funcionalidad*”, seguido del Diseño de procesos. De manera desagregada la calificación dada cada indicador se muestra a en la tabla siguiente.

### Análisis desagregado problemas de funcionalidad en la empresa piloto

Item	Descripción del ítem	Calificación
1	Grado en el que se tienen identificadas y controladas las características de calidad de los productos contra estándares establecidos.	3
2	Grado en el que se tienen identificados y controlados los parámetros de los procesos.	3
3	Grado de conocimiento del costo del no cumplimiento de los requerimientos de calidad solicitados por el cliente.	2
4	Grado de cumplimiento de los proveedores en los requerimientos de las materias primas e insumos que se les solicitan.	3
5	Grado de organización y estandarización de la producción ( <i>Se tiene establecido una manera correcta de hacer las operaciones, se detecta fácilmente los rechazos, errores y las causas de la desviación que se están realizando en el procesamiento</i> ).	3
6	Grado de facilidad para identificar las causas de los problemas de calidad cuando éstos se presentan.	2

Igual que en la empresa piloto uno, los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores reflejan los problemas asociados al proceso y su resultado, es decir leche pasteurizada. Todos los ítems evaluados para la variable funcionalidad fueron muy bajos, reflejándose la dificultad para identificar cuáles son las causas de los problemas de

funcionalidad y más aún al costo que éstos generan, aunque; es evidente que hay un grado de conocimiento de los parámetros del proceso, para controlar las características de calidad y organización de la producción.

Lo anterior ratifica la necesidad de aplicar una metodología para intervención de los problemas de calidad debido a la variabilidad, puesto que tanto el proceso como el producto, aunque se tiene un conocimiento no integral de los mismos, exigen esfuerzos mayores para su control.

La evaluación de los diferentes métodos y herramientas para el mejoramiento de la calidad presentados en la tabla, su calificación es deficiente e intermedio, sin embargo se constató que la empresa tiene algunas actividades de técnicas de calidad que no son reconocidas como tales, los resultados obtenidos confirman que es posible su desarrollo y aplicación de las mismas.

## Anexo I. Tabla de datos características de calidad leche pasteurizada entera. Empresa piloto uno.

REPORTE DATOS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD-LECHE ENTERA PASTEURIZADA															
Periodo de Medición		Octubre													
Tamaño de producción/día		80.000													
Z		1,645													
P		0,1													
1-P		0,9													
K		0,05													
n		97,30													
n aprox		90													
Características de Calidad		12													
Muestras/turno		3,00													
Muestras/día		6,00													
FRECUENCIA TOMA DE DATOS				CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS								CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS			
DÍA	TURNO	No Muestra	HORA	I. CRIOSCÓPICO	DENSIDAD	ACIDEZ	GRASA	PROTEÍNA	S.N.C.	S.T.	PEROXIDASA	FOSFATASA	Recuento Mesofilos aerobios	Recuento Coliformes Fecales	Recuento Coliformes Totales
				(°M)	(15/15°C g/ml)	(% m/v)	(% m/v)	(% m/v)	(% m/m)	(% m/m)			UFC/ML	UFC/ML	UFC/ML
1	1	1	06:00	-0,541	1,029	0,14	3,15	2,89	8,26	11,75	(+)	(-)	100	3	<1
	1	2	08:30	-0,541	1,030	0,12	3,27	3,08	8,38	11,22	(+)	(-)	170	2	<1
	1	3	11:30	-0,537	1,030	0,12	3,25	2,81	8,37	11,45	(+)	(-)	98	2	<1
	1	4	02:00	-0,543	1,028	0,13	3,14	2,85	8,51	11,77	(+)	(-)	150	3	<1
	1	5	04:30	-0,540	1,030	0,10	3,27	3,16	8,48	12,02	(+)	(-)	109	2	<1
	1	6	06:00	-0,535	1,031	0,14	3,20	3,38	8,50	11,54	(+)	(-)	43	3	<1
2	1	1	06:00	-0,542	1,032	0,15	3,15	2,91	8,41	11,20	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0,546	1,031	0,12	3,33	2,68	8,46	11,69	(+)	(-)	125	2	<1
	1	3	11:30	-0,545	1,028	0,14	3,22	2,88	8,56	11,55	(+)	(-)	173	<1	<1
	2	4	02:00	-0,534	1,029	0,14	3,13	2,60	8,43	11,75	(+)	(-)	82	3	<1
	2	5	04:30	-0,542	1,031	0,11	3,14	3,22	8,45	11,71	(+)	(-)	76	<1	<1
	2	6	06:00	-0,541	1,030	0,15	3,09	3,16	8,43	11,55	(+)	(-)	173	3	<1
3	1	1	06:00	-0,544	1,032	0,15	3,31	2,94	8,63	12,02	(+)	(-)	90	3	<1
	1	2	08:30	-0,533	1,030	0,14	3,18	3,25	8,34	11,43	(+)	(-)	135	2	<1
	1	3	11:30	-0,539	1,027	0,16	3,13	2,81	8,47	11,64	(+)	(-)	151	<1	<1
	2	4	02:00	-0,541	1,028	0,15	3,26	3,03	8,42	11,52	(+)	(-)	82	<1	<1
	2	5	04:30	-0,541	1,030	0,13	3,20	3,16	8,42	11,65	(+)	(-)	125	<1	<1
	2	6	06:00	-0,541	1,031	0,14	3,12	3,00	8,44	11,59	(+)	(-)	117	3	<1
4	1	1	06:00	-0,549	1,033	0,16	3,01	3,13	8,41	11,47	(+)	(-)	100	<1	<1
	1	2	08:30	-0,534	1,032	0,14	3,34	3,44	8,39	11,37	(+)	(-)	150	2	<1
	1	3	11:30	-0,534	1,030	0,15	3,28	3,03	8,62	11,63	(+)	(-)	172	<1	<1
	2	4	02:00	-0,532	1,029	0,15	3,17	3,04	8,45	11,74	(+)	(-)	209	<1	<1
	2	5	04:30	-0,542	1,031	0,14	3,16	2,92	8,42	11,58	(+)	(-)	158	<1	<1
	2	6	06:00	-0,541	1,029	0,14	3,24	3,02	8,42	11,23	(+)	(-)	134	<1	<1
5	1	1	06:00	-0,535	1,029	0,11	3,11	3,03	8,28	11,62	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0,535	1,033	0,13	3,22	2,80	8,35	11,59	(+)	(-)	90	2	<1
	1	3	11:30	-0,554	1,032	0,13	3,34	3,03	8,36	11,35	(+)	(-)	96	<1	<1
	2	4	02:00	-0,548	1,030	0,12	3,14	2,81	8,28	11,31	(+)	(-)	150	<1	<1
	2	5	04:30	-0,543	1,029	0,12	3,16	2,85	8,35	11,28	(+)	(-)	130	<1	<1
	2	6	06:00	-0,547	1,031	0,14	3,03	3,07	8,37	11,56	(+)	(-)	127	3	<1

6	1	1	06:00	-0.544	1.033	0.17	3.28	3.00	8.33	11.24	(+)	(-)	240	8	<1
	1	2	08:30	-0.550	1.032	0.16	3.40	2.87	8.54	11.58	(+)	(-)	130	3	<1
	1	3	11:30	-0.540	1.027	0.14	3.28	2.86	8.37	11.41	(+)	(-)	140	3	<1
	2	4	02:00	-0.547	1.026	0.14	3.42	2.91	8.46	11.70	(+)	(-)	116	2	<1
	2	5	04:30	-0.533	1.030	0.13	3.35	2.72	8.41	11.64	(+)	(-)	137	2	<1
	2	6	06:00	-0.541	1.029	0.16	3.24	3.27	8.47	11.49	(+)	(-)	188	4	<1
7	1	1	06:00	-0.548	1.032	0.16	3.18	3.27	8.45	11.83	(+)	(-)	100	<1	<1
	1	2	08:30	-0.538	1.032	0.13	3.26	3.11	8.50	11.91	(+)	(-)	79	<1	<1
	1	3	11:30	-0.548	1.032	0.15	3.14	3.02	8.44	11.43	(+)	(-)	165	3	<1
	2	4	02:00	-0.536	1.030	0.16	3.17	2.86	8.49	11.50	(+)	(-)	141	5	<1
	2	5	04:30	-0.545	1.028	0.13	3.18	2.97	8.32	11.31	(+)	(-)	98	3	<1
	2	6	06:00	-0.543	1.030	0.13	3.28	3.07	8.50	11.55	(+)	(-)	151	2	<1
8	1	1	06:00	-0.538	1.030	0.12	3.04	2.92	8.34	11.34	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0.537	1.028	0.16	3.02	3.06	8.32	11.35	(+)	(-)	148	2	<1
	1	3	11:30	-0.530	1.031	0.15	3.13	3.01	8.37	11.62	(+)	(-)	154	2	<1
	2	4	02:00	-0.539	1.030	0.14	3.14	2.95	8.35	11.65	(+)	(-)	105	<1	<1
	2	5	04:30	-0.546	1.027	0.14	3.25	2.75	8.47	11.51	(+)	(-)	91	3	<1
	2	6	06:00	-0.544	1.029	0.17	3.16	2.77	8.63	11.40	(+)	(-)	81	<1	<1
9	1	1	06:00	-0.541	1.031	0.18	3.27	2.76	8.28	11.45	(+)	(-)	120	<1	<1
	1	2	08:30	-0.544	1.030	0.17	3.09	3.24	8.57	11.52	(+)	(-)	119	2	<1
	1	3	11:30	-0.539	1.032	0.16	3.34	2.89	8.44	11.86	(+)	(-)	213	4	<1
	2	4	02:00	-0.544	1.030	0.15	2.99	3.10	8.45	11.15	(+)	(-)	43	2	<1
	2	5	04:30	-0.536	1.031	0.13	3.12	2.89	8.40	11.61	(+)	(-)	108	2	<1
	2	6	06:00	-0.537	1.030	0.17	3.17	3.32	8.34	11.41	(+)	(-)	130	3	<1
10	1	1	06:00	-0.539	1.027	0.16	3.24	3.22	8.42	11.78	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0.541	1.030	0.14	3.30	2.82	8.28	11.76	(+)	(-)	162	<1	<1
	1	3	11:30	-0.542	1.030	0.13	3.18	3.14	8.53	11.60	(+)	(-)	106	3	<1
	2	4	02:00	-0.534	1.031	0.11	3.14	3.38	8.38	11.68	(+)	(-)	89	2	<1
	2	5	04:30	-0.545	1.029	0.13	3.10	2.76	8.57	11.46	(+)	(-)	103	<1	<1
	2	6	06:00	-0.535	1.028	0.16	3.40	3.04	8.52	11.51	(+)	(-)	126	<1	<1
11	1	1	06:00	-0.532	1.030	0.08	3.25	3.00	8.44	11.68	(+)	(-)	100	<1	<1
	1	2	08:30	-0.547	1.029	0.14	3.30	2.46	8.34	11.42	(+)	(-)	104	<1	<1
	1	3	11:30	-0.538	1.032	0.14	3.26	2.91	8.36	11.75	(+)	(-)	163	3	<1
	2	4	02:00	-0.541	1.033	0.17	3.33	3.00	8.40	11.39	(+)	(-)	90	<1	<1
	2	5	04:30	-0.542	1.029	0.16	3.23	2.85	8.42	11.54	(+)	(-)	80	2	<1
	2	6	06:00	-0.542	1.031	0.16	3.29	2.90	8.36	11.25	(+)	(-)	95	2	<1
12	1	1	06:00	-0.540	1.028	0.18	3.13	2.58	8.60	11.87	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0.555	1.030	0.12	3.15	3.29	8.36	11.42	(+)	(-)	111	<1	<1
	1	3	11:30	-0.535	1.027	0.13	2.94	3.15	8.37	11.62	(+)	(-)	92	2	<1
	2	4	02:00	-0.543	1.028	0.14	3.38	3.09	8.48	11.69	(+)	(-)	188	2	<1
	2	5	04:30	-0.541	1.032	0.14	3.32	3.04	8.41	11.62	(+)	(-)	105	3	<1
	2	6	06:00	-0.534	1.029	0.17	3.22	3.20	8.51	11.57	(+)	(-)	170	3	<1
13	1	1	06:00	-0.540	1.032	0.16	3.45	2.76	8.26	11.64	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0.535	1.031	0.17	3.16	2.75	8.46	11.95	(+)	(-)	117	<1	<1
	1	3	11:30	-0.553	1.030	0.13	2.93	3.35	8.38	11.90	(+)	(-)	91	<1	<1
	2	4	02:00	-0.536	1.029	0.16	3.31	3.44	8.42	11.60	(+)	(-)	145	<1	<1
	2	5	04:30	-0.541	1.031	0.12	3.16	2.76	8.30	11.60	(+)	(-)	67	2	<1
	2	6	06:00	-0.549	1.030	0.14	3.09	3.51	8.29	11.50	(+)	(-)	148	3	<1
14	1	1	06:00	-0.543	1.030	0.13	3.06	2.65	8.32	11.61	(+)	(-)	100	<1	<1
	1	2	08:30	-0.546	1.031	0.14	3.28	3.18	8.29	11.61	(+)	(-)	148	3	<1
	1	3	11:30	-0.537	1.026	0.16	3.17	3.06	8.45	11.46	(+)	(-)	106	<1	<1
	2	4	02:00	-0.538	1.033	0.12	3.32	3.05	8.33	11.47	(+)	(-)	131	3	<1
	2	5	04:30	-0.543	1.033	0.14	3.34	3.08	8.45	11.66	(+)	(-)	85	2	<1
	2	6	06:00	-0.542	1.029	0.14	3.17	2.62	8.46	11.56	(+)	(-)	153	<1	<1

15	1	1	06:00	-0,538	1,029	0,17	3,13	2,91	8,53	11,21	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0,536	1,029	0,16	3,19	2,95	8,45	11,23	(+)	(-)	80	3	<1
	1	3	11:30	-0,551	1,031	0,13	3,09	2,92	8,37	11,63	(+)	(-)	54	2	<1
	2	4	02:00	-0,549	1,027	0,18	3,20	2,83	8,43	11,41	(+)	(-)	90	2	<1
	2	5	04:30	-0,537	1,030	0,12	3,29	3,00	8,51	11,75	(+)	(-)	102	3	<1
	2	6	06:00	-0,540	1,029	0,12	3,28	3,26	8,43	11,79	(+)	(-)	102	<1	<1
16	1	1	06:00	-0,542	1,029	0,19	3,27	3,12	8,35	11,33	(+)	(-)	130	<1	<1
	1	2	08:30	-0,549	1,032	0,14	3,13	2,77	8,55	11,14	(+)	(-)	114	2	<1
	1	3	11:30	-0,546	1,030	0,12	3,20	3,01	8,38	11,65	(+)	(-)	129	<1	<1
	2	4	02:00	-0,540	1,034	0,13	3,24	2,73	8,16	11,50	(+)	(-)	73	4	<1
	2	5	04:30	-0,542	1,029	0,11	3,15	3,23	8,42	11,49	(+)	(-)	135	3	<1
	2	6	06:00	-0,536	1,030	0,14	3,30	2,96	8,25	11,60	(+)	(-)	148	2	<1
17	1	1	06:00	-0,542	1,033	0,15	3,31	2,68	8,50	11,48	(+)	(-)	120	<1	<1
	1	2	08:30	-0,533	1,029	0,15	3,21	2,97	8,51	11,76	(+)	(-)	109	4	<1
	1	3	11:30	-0,547	1,030	0,15	2,99	3,01	8,30	11,63	(+)	(-)	224	2	<1
	2	4	02:00	-0,537	1,029	0,14	3,10	3,06	8,33	11,35	(+)	(-)	138	<1	<1
	2	5	04:30	-0,535	1,031	0,10	3,00	3,05	8,30	11,42	(+)	(-)	97	3	<1
	2	6	06:00	-0,538	1,029	0,15	3,31	3,04	8,35	11,64	(+)	(-)	106	<1	<1
18	1	1	06:00	-0,536	1,032	0,15	3,22	2,98	8,42	11,82	(+)	(-)	110	<1	<1
	1	2	08:30	-0,544	1,030	0,17	3,20	3,35	8,52	11,24	(+)	(-)	125	2	<1
	1	3	11:30	-0,546	1,028	0,14	3,20	2,75	8,49	11,68	(+)	(-)	138	3	<1
	2	4	02:00	-0,543	1,030	0,14	3,24	2,56	8,45	11,75	(+)	(-)	132	<1	<1
	2	5	04:30	-0,528	1,031	0,11	3,05	3,21	8,20	11,76	(+)	(-)	156	4	<1
	2	6	06:00	-0,544	1,028	0,14	3,07	2,84	8,36	11,38	(+)	(-)	122	3	<1
19	1	1	06:00	-0,544	1,031	0,14	3,06	2,63	8,46	11,81	(+)	(-)	100	<1	<1
	1	2	08:30	-0,550	1,031	0,16	3,28	2,78	8,53	11,55	(+)	(-)	114	3	<1
	1	3	11:30	-0,535	1,031	0,16	3,20	2,84	8,23	11,42	(+)	(-)	157	3	<1
	2	4	02:00	-0,541	1,031	0,14	3,13	2,66	8,43	11,76	(+)	(-)	174	<1	<1
	2	5	04:30	-0,534	1,028	0,15	3,34	3,01	8,49	11,47	(+)	(-)	64	<1	<1
	2	6	06:00	-0,550	1,028	0,14	3,37	2,97	8,27	11,65	(+)	(-)	122	4	<1
20	1	1	06:00	-0,540	1,028	0,13	3,24	2,67	8,25	11,62	(+)	(-)	110	2	<1
	1	2	08:30	-0,536	1,029	0,13	3,15	3,07	8,38	11,06	(+)	(-)	112	3	<1
	1	3	11:30	-0,549	1,028	0,20	3,13	3,00	8,21	11,34	(+)	(-)	103	2	<1
	2	4	02:00	-0,552	1,031	0,16	3,28	3,27	8,48	11,77	(+)	(-)	159	4	<1
	2	5	04:30	-0,550	1,032	0,14	3,22	3,09	8,41	11,50	(+)	(-)	157	<1	<1
	2	6	06:00	-0,537	1,031	0,15	3,13	2,96	8,41	11,09	(+)	(-)	122	3	<1
21	1	1	06:00	-0,534	1,033	0,13	3,25	3,03	8,25	11,42	(+)	(-)	100	<1	<1
	1	2	08:30	-0,537	1,030	0,14	3,25	2,58	8,55	11,58	(+)	(-)	90	4	<1
	1	3	11:30	-0,547	1,029	0,13	3,15	3,10	8,48	11,36	(+)	(-)	129	4	<1
	2	4	02:00	-0,542	1,029	0,13	3,19	2,79	8,41	11,53	(+)	(-)	170	2	<1
	2	5	04:30	-0,540	1,029	0,16	3,35	2,88	8,27	11,60	(+)	(-)	168	3	<1
	2	6	06:00	-0,539	1,029	0,13	3,14	2,84	8,38	11,45	(+)	(-)	141	2	<1
22	1	1	06:00	-0,535	1,031	0,09	3,19	3,06	8,41	11,82	(+)	(-)	230	<1	<1
	1	2	08:30	-0,539	1,031	0,14	3,08	3,02	8,19	11,47	(+)	(-)	135	2	<1
	1	3	11:30	-0,540	1,030	0,17	3,22	2,85	8,26	11,44	(+)	(-)	163	6	<1
	2	4	02:00	-0,540	1,030	0,14	3,34	2,87	8,53	11,25	(+)	(-)	152	3	<1
	2	5	04:30	-0,545	1,029	0,10	3,10	2,95	8,41	11,39	(+)	(-)	192	4	<1
	2	6	06:00	-0,545	1,031	0,11	3,31	2,90	8,39	11,26	(+)	(-)	127	3	<1
23	1	1	06:00	-0,545	1,031	0,16	3,25	3,22	8,35	11,31	(+)	(-)	110	4	<1
	1	2	08:30	-0,538	1,028	0,16	3,05	2,90	8,41	11,28	(+)	(-)	117	5	<1
	1	3	11:30	-0,531	1,030	0,15	3,24	3,15	8,43	11,43	(+)	(-)	49	2	<1
	2	4	02:00	-0,540	1,029	0,09	3,20	2,73	8,43	11,63	(+)	(-)	117	4	<1
	2	5	04:30	-0,539	1,028	0,15	3,13	2,70	8,37	11,59	(+)	(-)	72	3	<1
	2	6	06:00	-0,539	1,029	0,14	3,04	3,04	8,24	11,43	(+)	(-)	115	2	<1

24	1	1	06:00	-0,537	1,032	0,12	3,21	2,94	8,50	11,46	(+)	(-)	120	<1	<1
	1	2	08:30	-0,547	1,030	0,10	3,45	3,15	8,36	11,62	(+)	(-)	176	3	<1
	1	3	11:30	-0,547	1,031	0,14	3,32	2,92	8,42	11,70	(+)	(-)	142	4	<1
	2	4	02:00	-0,545	1,032	0,11	3,40	3,14	8,34	11,60	(+)	(-)	90	4	<1
	2	5	04:30	-0,545	1,030	0,14	3,29	3,01	8,42	11,69	(+)	(-)	69	3	<1
	2	6	06:00	-0,541	1,028	0,14	3,12	2,99	8,48	11,82	(+)	(-)	71	4	<1
25	1	1	06:00	-0,541	1,030	0,12	3,08	3,17	8,47	11,63	(+)	(-)	140	5	<1
	1	2	08:30	-0,538	1,029	0,14	3,18	3,12	8,29	11,89	(+)	(-)	39	2	<1
	1	3	11:30	-0,547	1,033	0,12	3,11	3,00	8,32	11,60	(+)	(-)	77	3	<1
	2	4	02:00	-0,535	1,029	0,13	3,31	2,92	8,54	11,31	(+)	(-)	98	<1	<1
	2	5	04:30	-0,540	1,031	0,14	3,13	3,35	8,49	11,45	(+)	(-)	151	4	<1
	2	6	06:00	-0,533	1,032	0,12	3,19	2,90	8,17	11,71	(+)	(-)	105	3	<1
26	1	1	06:00	-0,537	1,030	0,13	3,27	2,80	8,30	11,94	(+)	(-)	110	3	<1
	1	2	08:30	-0,539	1,028	0,12	3,05	2,80	8,57	11,67	(+)	(-)	167	2	<1
	1	3	11:30	-0,542	1,031	0,12	3,16	2,98	8,34	11,49	(+)	(-)	102	<1	<1
	2	4	02:00	-0,538	1,028	0,18	3,44	3,25	8,36	11,47	(+)	(-)	176	2	<1
	2	5	04:30	-0,533	1,029	0,14	3,31	2,91	8,42	11,81	(+)	(-)	195	3	<1
	2	6	06:00	-0,543	1,029	0,11	3,26	2,63	8,32	11,59	(+)	(-)	162	4	<1
27	1	1	06:00	-0,542	1,030	0,13	3,30	2,71	8,34	11,40	(+)	(-)	180	<1	<1
	1	2	08:30	-0,541	1,030	0,12	3,19	3,14	8,55	11,74	(+)	(-)	29	<1	<1
	1	3	11:30	-0,544	1,029	0,13	3,06	3,15	8,33	11,18	(+)	(-)	97	<1	<1
	2	4	02:00	-0,537	1,030	0,11	3,18	3,23	8,43	11,75	(+)	(-)	98	2	<1
	2	5	04:30	-0,533	1,029	0,17	3,09	2,82	8,50	11,49	(+)	(-)	154	3	<1
	2	6	06:00	-0,541	1,034	0,18	3,15	2,44	8,25	11,65	(+)	(-)	172	4	<1
28	1	1	06:00	-0,540	1,028	0,17	3,33	2,88	8,38	11,87	(+)	(-)	140	<1	<1
	1	2	08:30	-0,546	1,034	0,16	3,33	2,80	8,33	11,43	(+)	(-)	139	4	<1
	1	3	11:30	-0,544	1,030	0,15	3,31	2,84	8,39	11,63	(+)	(-)	110	3	<1
	2	4	02:00	-0,533	1,030	0,17	3,13	3,36	8,31	11,78	(+)	(-)	210	3	<1
	2	5	04:30	-0,543	1,031	0,11	3,16	3,03	8,49	11,46	(+)	(-)	74	3	<1
	2	6	06:00	-0,535	1,031	0,14	3,10	2,83	8,44	11,70	(+)	(-)	131	2	<1
29	1	1	06:00	-0,538	1,031	0,16	3,25	2,94	8,35	11,11	(+)	(-)	96	<1	<1
	1	2	08:30	-0,541	1,026	0,14	3,17	2,68	8,65	11,18	(+)	(-)	128	4	<1
	1	3	11:30	-0,540	1,031	0,11	3,13	3,29	8,42	11,76	(+)	(-)	189	3	<1
	2	4	02:00	-0,548	1,033	0,11	3,22	3,33	8,50	11,78	(+)	(-)	203	3	<1
	2	5	04:30	-0,543	1,030	0,11	3,34	3,05	8,39	11,60	(+)	(-)	166	2	<1
	2	6	06:00	-0,549	1,030	0,14	3,21	3,17	8,37	11,74	(+)	(-)	146	3	<1
30	1	1	06:00	-0,544	1,028	0,12	3,31	2,90	8,40	11,87	(+)	(-)	200	2	<1
	1	2	08:30	-0,543	1,031	0,13	3,20	2,94	8,47	11,58	(+)	(-)	157	<1	<1
	1	3	11:30	-0,547	1,033	0,18	3,30	2,81	8,36	11,34	(+)	(-)	91	<1	<1
	2	4	02:00	-0,539	1,030	0,14	3,31	2,98	8,21	11,61	(+)	(-)	127	3	<1
	2	5	04:30	-0,537	1,029	0,15	2,86	2,93	8,37	11,48	(+)	(-)	104	3	<1
	2	6	06:00	-0,548	1,034	0,13	3,32	3,16	8,41	11,68	(+)	(-)	103	<1	<1

## Anexo I1. Tabla de datos características de calidad leche pasteurizada entera. Empresa piloto dos

Período de Medición		Diciembre						
Características de calidad		5						
Tamaño de Producción / día		80.000						
Tamaño de la muestra		120						
Z		1,645						
P		0,1						
1-P		0,9						
K		0,05						
n		98						
n aprox		90						
Número de turnos		2						
Muestras / turno		6,00						
Muestras / día		12,00						
FRECUENCIA TOMA DE DATOS				CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS				CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS
DIA	TURNOS	No Muestra	HORA MUESTRA	CRIOSCOPICO	ACIDEZ	VALOR NUTRIC.	SOLIDOS	MESOFILOS
1	1	1	06:00	-0,544	1,033	2,89	11,24	240
	1	2	08:00	-0,550	1,032	3,08	11,58	130
	1	3	10:00	-0,540	1,027	2,81	11,41	140
	1	4	12:00	-0,547	1,026	2,85	11,70	116
	1	5	01:00	-0,533	1,030	3,16	11,64	137
	1	6	02:00	-0,541	1,029	3,38	11,49	188
2	2	1	03:00	-0,548	1,032	2,91	11,83	100
	2	2	05:00	-0,538	1,032	3,26	11,91	79
	2	3	07:00	-0,538	1,032	3,14	11,43	165
	2	4	09:00	-0,536	1,030	3,17	11,50	141
	2	5	11:00	-0,545	1,028	3,18	11,31	98
	2	6	12:00	-0,543	1,030	3,28	11,55	151
3	1	1	06:00	-0,538	1,030	3,04	11,34	110
	1	2	08:00	-0,537	1,028	3,02	11,35	148
	1	3	10:00	-0,530	1,030	3,13	11,62	154
	1	4	12:00	-0,539	1,027	3,14	11,65	105
	1	5	01:00	-0,546	1,029	2,81	11,51	91
	1	6	02:00	-0,544	1,032	2,85	11,40	81
4	2	1	03:00	-0,541	1,032	3,16	11,45	120
	2	2	05:00	-0,544	1,030	3,38	11,52	119
	2	3	07:00	-0,539	1,031	2,91	11,86	213
	2	4	09:00	-0,544	1,030	2,99	11,15	43
	2	5	11:00	-0,536	1,027	3,12	11,61	108
	2	6	12:00	-0,537	1,030	3,17	11,41	130
5	1	1	06:00	-0,539	1,031	3,24	11,78	110
	1	2	08:00	-0,541	1,030	3,30	11,76	162
	1	3	10:00	-0,542	1,028	3,18	11,60	106
	1	4	12:00	-0,538	1,030	3,14	11,68	89
	1	5	01:00	-0,538	1,030	3,26	11,31	110
	1	6	02:00	-0,536	1,028	3,14	11,55	148
6	2	1	03:00	-0,545	1,030	3,17	11,34	154
	2	2	05:00	-0,543	1,027	3,18	11,35	105
	2	3	07:00	-0,538	1,028	3,28	11,62	91
	2	4	09:00	-0,544	1,030	3,04	11,65	81
	2	5	11:00	-0,541	1,030	3,02	11,51	120
	2	6	12:00	-0,544	1,028	3,13	11,40	119
7	1	1	06:00	-0,539	1,030	3,14	11,45	213
	1	2	08:00	-0,544	1,027	3,25	11,52	43
	1	3	10:00	-0,536	1,029	3,16	11,34	108
	1	4	12:00	-0,537	1,032	3,27	11,35	141
	1	5	01:00	-0,533	1,032	3,28	11,62	98

8	1	6	02:00	-0,541	1,030	3,04	11,65	151
	2	1	03:00	-0,548	1,031	3,02	11,51	110
	2	2	05:00	-0,538	1,030	3,13	11,40	148
	2	3	07:00	-0,538	1,027	3,14	11,45	154
	2	4	09:00	-0,536	1,030	3,25	11,52	105
	2	5	11:00	-0,545	1,027	3,16	11,86	91
9	2	6	12:00	-0,543	1,026	3,27	11,15	81
	1	1	06:00	-0,538	1,030	3,09	11,61	120
	1	2	08:00	-0,537	1,029	3,34	11,41	119
	1	3	10:00	-0,530	1,032	2,99	11,78	213
	1	4	12:00	-0,539	1,032	3,12	11,76	43
	1	5	01:00	-0,546	1,032	3,17	11,60	108
10	1	6	02:00	-0,544	1,030	3,24	11,76	130
	2	1	03:00	-0,541	1,028	3,30	11,60	110
	2	2	05:00	-0,544	1,030	3,18	11,68	162
	2	3	07:00	-0,539	1,030	3,14	11,31	106
	2	4	09:00	-0,544	1,028	3,26	11,55	89
	2	5	11:00	-0,536	1,030	3,14	11,34	110
11	2	6	12:00	-0,539	1,027	3,17	11,35	148
	1	1	06:00	-0,546	1,032	3,18	11,62	154
	1	2	08:00	-0,544	1,030	3,28	11,65	105
	1	3	10:00	-0,541	1,028	3,35	11,51	91
	1	4	12:00	-0,544	1,030	3,24	11,40	81
	1	5	01:00	-0,539	1,030	3,18	11,45	120
12	1	6	02:00	-0,544	1,028	3,26	11,52	119
	2	1	03:00	-0,536	1,030	3,14	11,34	213
	2	2	05:00	-0,537	1,027	3,17	11,35	43
	2	3	07:00	-0,539	1,029	3,18	11,62	98
	2	4	09:00	-0,541	1,032	3,28	11,65	151
	2	5	11:00	-0,542	1,032	3,04	11,51	110
13	2	6	12:00	-0,538	1,030	3,02	11,40	148
	1	1	06:00	-0,538	1,031	3,13	11,45	154
	1	2	08:00	-0,536	1,030	3,14	11,52	105
	1	3	10:00	-0,545	1,027	3,25	11,86	91
	1	4	12:00	-0,543	1,030	3,16	11,15	81
	1	5	01:00	-0,538	1,031	3,27	11,61	120
14	1	6	02:00	-0,544	1,030	3,09	11,41	119
	2	1	03:00	-0,541	1,028	3,34	11,91	213
	2	2	05:00	-0,544	1,030	2,99	11,43	43
	2	3	07:00	-0,539	1,030	3,12	11,50	108
	2	4	09:00	-0,544	1,028	3,17	11,31	130
	2	5	11:00	-0,536	1,030	3,24	11,55	110
15	2	6	12:00	-0,537	1,027	3,30	11,34	162
	1	1	06:00	-0,533	1,028	3,18	11,35	106
	1	2	08:00	-0,541	1,030	3,14	11,62	89
	1	3	10:00	-0,548	1,030	3,26	11,65	110
	1	4	12:00	-0,538	1,028	3,14	11,51	148
	1	5	01:00	-0,538	1,030	3,17	11,40	154
16	1	6	02:00	-0,536	1,027	3,18	11,45	105
	2	1	03:00	-0,545	1,029	3,28	11,52	91
	2	2	05:00	-0,543	1,032	3,28	11,86	81
	2	3	07:00	-0,538	1,032	3,04	11,15	120
	2	4	09:00	-0,537	1,030	3,02	11,61	119
	2	5	11:00	-0,530	1,031	3,13	11,41	213
17	2	6	12:00	-0,539	1,030	3,14	11,78	43
	1	1	06:00	-0,546	1,027	3,25	11,76	108
	1	2	08:00	-0,544	1,030	3,16	11,60	141
	1	3	10:00	-0,541	1,027	3,27	11,68	98
	1	4	12:00	-0,544	1,026	3,09	11,31	151
	1	5	01:00	-0,539	1,030	3,34	11,55	110
18	1	6	02:00	-0,544	1,029	2,99	11,34	148
	2	1	03:00	-0,536	1,032	3,12	11,35	154
	2	2	05:00	-0,542	1,032	3,17	11,62	105
	2	3	07:00	-0,538	1,032	3,24	11,65	91

	2	4	09:00	-0,538	1,030	3,30	11,51	81
	2	5	11:00	-0,536	1,028	3,18	11,40	120
	2	6	12:00	-0,545	1,030	3,14	11,45	119
19	1	1	06:00	-0,543	1,030	3,26	11,52	213
	1	2	08:00	-0,538	1,028	3,14	11,34	43
	1	3	10:00	-0,544	1,030	3,17	11,35	108
	1	4	12:00	-0,541	1,030	3,18	11,62	120
	1	5	01:00	-0,544	1,027	3,28	11,65	119
	1	6	02:00	-0,539	1,029	3,35	11,51	213
	2	1	03:00	-0,544	1,032	3,24	11,40	43
20	2	2	05:00	-0,536	1,032	3,18	11,45	108
	2	3	07:00	-0,537	1,030	3,26	11,52	130
	2	4	09:00	-0,533	1,031	3,14	11,86	110
	2	5	11:00	-0,541	1,030	3,17	11,15	162
	2	6	12:00	-0,548	1,027	3,18	11,51	106

## Anexo J. Constantes para construcción gráficos de control univariados

Constantes para Gráficos de Control																
n	A	A2	A3	c4	1/c4	B3	B4	B5	B6	d2	d3	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.798	1.253	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.853	0.886	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.886	1.128	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.888	0.591	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.921	1.085	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.880	0.486	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.940	1.064	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.864	0.430	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.952	1.051	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0.395	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.959	1.042	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.370	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.036	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.351	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.969	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.337	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.973	1.028	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.325	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.975	1.025	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.315	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.978	1.023	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.307	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.979	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	0.300	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.019	0.406	1.594	0.398	1.563	3.407	0.763	0.294	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.982	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	0.288	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.983	1.017	0.448	1.552	0.440	1.527	3.532	0.750	0.283	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.985	1.016	0.466	1.534	0.459	1.510	3.588	0.744	0.279	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.985	1.015	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	0.275	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.986	1.014	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.733	0.271	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.987	1.013	0.510	1.490	0.503	1.470	3.735	0.729	0.268	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.988	1.013	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	0.265	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.988	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	0.262	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.989	1.011	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	0.259	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.989	1.011	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	0.257	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.990	1.010	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	0.254	1.805	6.056	0.459	1.541

## **Anexo K. Análisis de costos. Empresa piloto uno.**

A continuación se explican cada uno de estos ítems y que se relacionan los costos productivos y el costo por unidad.

- **Materia Prima**

Para este estudio la materia prima directa la conforma la leche cruda proveniente de los distintos hatos ubicados en diferentes regiones cerca de la ciudad. Cabe recordar que el número de litros diarios que ingresan a la planta, destinados a la producción de leche entera pasteurizada son en promedio 80.000 lt/día, con un precio actual de \$839.

- **Material Indirecto (Material de empaque)**

El empaque tiene un costo \$200 por unidad.

- **Mano de Obra:**

Corresponde al requerimiento de mano de obra que se invierte para cubrir las necesidades laborales del proceso productivo. La mano de obra se clasifica en:

- ✓ **Mano de obra directa:** operarios directamente relacionados con el proceso de producción. En total son 14 operarios, quienes operan en dos turnos (06:00 am – 2:00 pm y 2:00 pm a 10:00 pm). Para el cálculo de los costos se tuvo en cuenta el salario mínimo y el auxilio de transporte.

- ✓ **Mano de obra indirecta:** personal directamente implicado con la evaluación de la calidad del producto: Jefe de Producción, Jefe de Calidad, Inspector de Calidad, Analista de laboratorio, Ingeniero Químico y demás personal relacionado con el proceso productivo y evaluación de calidad.

- **Gastos de Suministros:**

- ✓ **Gastos de transporte**

Este rubro contempla el transporte de la leche en tanques cisterna desde el centro de acopio hasta la planta, que es de \$ 700 por litro.

- ✓ **Gastos en Servicios Básicos**

En estos se incluyeron únicamente los rubros de energía eléctrica y agua potable. El monto del consumo de agua potable y energía eléctrica están determinados por el funcionamiento de las maquinarias y equipos durante el proceso productivo. Los costos de cada uno de estos rubros fueron estimaciones aproximadas en función del consumo y el precio del servicio. Se estima que es \$182.000.000 mensuales.

## Costos de producción/unidad

COSTOS DE PRODUCCIÓN			
<b>COSTO MATERIA PRIMA</b>			
<b>Materia Prima</b>	<b>Precio Litro Leche Cruda</b>	<b>Litros/mes</b>	<b>Total Mensual</b>
	\$ 839,00	2.400.000	\$ 2.013.600.000
<b>Material Indirecto (Empaque)</b>	<b>Precio/Unidad</b>	<b>Litros/mes</b>	<b>Total Mensual</b>
	\$ 100	2.400.000	\$ 240.000.000
<b>COSTO DE MANO DE OBRA</b>			
<b>Mano de Obra Directa</b>	<b>#Trabajadores</b>	<b>Sueldo Mensual</b>	<b>Total Mensual</b>
Operarios	12	\$ 688.000	\$ 8.256.000
Operarios del sistema	2	\$ 688.000	\$ 1.376.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 9.632.000</b>
<b>Mano de Obra Indirecta</b>	<b>#Trabajadores</b>	<b>Sueldo Mensual</b>	<b>Total Mensual</b>
Jefe de Producción	1	\$ 2.200.000	\$ 2.200.000
Asistente Producción	2	\$ 1.200.000	\$ 2.400.000
Supervisor Producción	2	\$ 2.000.000	\$ 4.000.000
Jefe Mantenimiento y Seguridad	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Analista Laboratorio	4	\$ 1.700.000	\$ 6.800.000
Ingeniero Químico	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Jefe Calidad	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Inspector Calidad	2	\$ 1.700.000	\$ 3.400.000
Asist Calidad Producto en Proceso	1	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
Asistente Control Calidad	2	\$ 1.200.000	\$ 2.400.000
Total			<b>\$ 28.400.000</b>
<b>GASTOS DE SUMINSITROS</b>			
<b>Gastos de Transporte</b>	<b>Numero de Tanques cisternas</b>	<b>Costo/dia</b>	<b>Total mensual</b>
	4	310.000	\$ 9.300.000
<b>Gastos Servicios Básicos</b>			<b>Total Mensual</b>
			\$ 182.000.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 2.482.932.000</b>
<b>UNIDADES PRODUCIDAS/MES</b>			2.400.000
<b>COSTO/UNIDAD</b>			\$ 1.034,56

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la empresa piloto

De acuerdo con la Tabla, el costo de producción por unidad es \$1034,56. Como se mencionó anteriormente, éste costo fue el mismo para cada característica de calidad. Sin embargo, en los costos de control de calidad, cada prueba es diferente debido a la complejidad e importancia. De esta manera, para su determinación se tomaron los costos de cada análisis establecido por un laboratorio acreditado, el número de muestras mensuales y el total de unidades producidas por mes para determinar el costo de control de calidad asociado a una unidad de producto terminado en caso de no cumplir con las especificaciones requeridas.

## Costos control de calidad/unidad

<b>COSTOS CONTROL DE CALIDAD</b>				
<b>Característica de Calidad</b>	<b>Costo/muestra</b>	<b>Muestras/mes</b>	<b>Costo Mensual</b>	<b>Costo/unidad</b>
<b>Índice Crioscópico</b>	\$ 9.500	180	\$ 1.710.000	\$ 0,7125
<b>Densidad</b>	\$ 7.000	180	\$ 1.260.000	\$ 0,5250
<b>Acidez</b>	\$ 9.500	180	\$ 1.710.000	\$ 0,7125
<b>Grasa</b>	\$ 9.500	180	\$ 1.710.000	\$ 0,7125
<b>Proteínas</b>	\$ 11.200	180	\$ 2.016.000	\$ 0,8400
<b>Sólidos No Grasos</b>	\$ 9.500	180	\$ 1.710.000	\$ 0,7125
<b>Sólidos Totales</b>	\$ 9.500	180	\$ 1.710.000	\$ 0,7125
<b>Peroxidasa</b>	\$ 9.500	180	\$ 1.710.000	\$ 0,7125
<b>Fosfatasa</b>	\$ 9.500	180	\$ 1.710.000	\$ 0,7125
<b>Mésofilos Aerobios</b>	\$ 20.700	180	\$ 3.726.000	\$ 1,5525
<b>Coliformes Totales</b>	\$ 19.800	180	\$ 3.564.000	\$ 1,4850
<b>Coliformes Fecales</b>	\$ 19.800	180	\$ 3.564.000	\$ 1,4850

Como se observa en la Tabla, las características con mayores costos de control de calidad son las microbiológicas.

## Anexo L. Funciones de pérdida

La pérdida promedio  $P$ , se calcula con la ecuación 3:

$$P = K_{UCL} \int_{LCL}^M (Y - LCL)^2 d(Y) + K_{UCL} \int_M^{UCL} (Y - UCL)^2 d(Y) \text{ donde } K = \frac{P''(Y)}{n!} \quad (3)$$

Calculado el valor objetivo, los límites de especificación, los coeficientes de proporcionalidad y los límites de tolerancia natural, se aplicó la ecuación 3 para hallar el valor de la pérdida promedio para cada característica de calidad.

Donde:

$P$  = pérdida generada por la diferencia entre  $Y$  y  $M$  (expresada en pesos).

$K$  = coeficiente de proporcionalidad de pérdida.

$n!$  = serie de Taylor, 1,2,3, ...,  $n$ .

$UCL$  = límite superior de especificación.

$LCL$  = límite inferior de especificación.

$M$  = valor nominal de la característica de calidad.

$Y$  = valor observado de la característica de calidad.

La pérdida de calidad, se calcula teniendo en cuenta los límites naturales del proceso y los límites aceptados por el cliente. Finalmente, los respectivos valores de la función de pérdida de cada característica se adicionan a la matriz de variabilidad como factor para la determinación de las características críticas de calidad.

## Anexo L. Funciones de pérdida empresa piloto uno.

Función Pérdida de la Calidad- Índice Crioscópico

$$P = 3422,372 \int_{-0,55}^{-0,541} (x - (-0,548))^2 dx + 3685,538 \int_{-0,541}^{-0,53} (x - (-0,534))^2 dx = \mathbf{0,0008}$$

- Función Pérdida de la Calidad -Densidad

$$P = 978,510 \int_{1,0285}^{1,031} (x - 1,028)^2 dx + 970 \int_{1,031}^{1,033} (x - 1,032)^2 dx = \mathbf{0,000011}$$

- Función Pérdida de la Calidad-Acidez

$$P = 61258,432 \int_{0,13}^{0,15} (x - 0,115)^2 dx + 35822,40 \int_{0,15}^{0,17} (x - 0,165)^2 dx = \mathbf{0,825}$$

- Función Pérdida de la Calidad-Grasa

$$P = 115,030 \int_3^{3,2} (x - 3,077)^2 dx + 89,56 \int_{3,2}^{3,4} (x - 3,333)^2 dx = \mathbf{0,168}$$

- Función Pérdida de la Calidad-Proteínas

$$P = 117,380 \int_{2,97}^{3,1} (x - 2,726)^2 dx + 84,52 \int_{3,1}^{3,5} (x - 3,239)^2 dx = \mathbf{2,060}$$

- Función Pérdida de la Calidad-Sólidos No Grasos

$$P = 15,028 \int_{8,3}^{8,38} (x - 8,287)^2 dx + 14,33 \int_{8,38}^{8,5} (x - 8,521)^2 dx = \mathbf{0,0173}$$

- Función Pérdida de la Calidad-Sólidos Totales

$$P = 8,108 \int_{11,3}^{11,65} (x - 11,317)^2 dx + 7,56 \int_{11,65}^{11,7} (x - 11,792)^2 dx = \mathbf{0,1052}$$

- Función Pérdida de la Calidad-Mesófilos Aerobios

$$P = 0,026 \int_0^{200} (x - 171,360)^2 dx = \mathbf{43649,04}$$

### Anexo L1. Funciones de pérdida empresa piloto dos.

Variable	Función Pérdida de la Calidad
Crioscopico	0,0009
Acidez	0,606
Grasa	0,199
Valor Nutritivo	2,018
Sólidos	0,199
Mesófilos	45879,01

## Anexo M. Datos para los análisis mínimos cuadrados.

### Cálculo de de predicción de Emwa para datos correlacionados

Para aplicar el modelo Emwa-Arima se utilizó un  $\lambda$  inicial de 0.05, en el método de mínimos cuadrados, y se aplicó el modelo de predicción.

### Anexo M. Datos para los análisis mínimos cuadrados. Empresa piloto uno.

ACIDEZ		SOLIDOS NO GRASOS		SOLIDOS TOTALES	
$\lambda$	SUMA DE CUADRADOS DE PREDICCIÓN	$\lambda$	SUMA DE CUADRADOS DE PREDICCIÓN	$\lambda$	SUMA DE CUADRADOS DE PREDICCIÓN
0,02	0,000463	0,02	1,60531	0,02	6,98314
0,04	0,000443	0,04	1,62059	0,04	6,97845
0,06	0,000438	0,06	1,64130	0,06	7,01119
0,08	0,000438	0,08	1,66303	0,08	7,05560
0,1	0,000440	0,1	1,68474	0,1	7,10688
0,12	0,000443	0,12	1,70621	0,12	7,16330
0,14	0,000446	0,14	1,72746	0,14	7,22401
0,16	0,000450	0,16	1,74861	0,16	7,28853
0,18	0,000453	0,18	1,76975	0,18	7,35655
0,2	0,000457	0,2	1,79101	0,2	7,42783
0,22	0,000461	0,22	1,81248	0,22	7,50217
0,24	0,000464	0,24	1,83425	0,24	7,57945
0,26	0,000468	0,26	1,85641	0,26	7,65954
0,28	0,000472	0,28	1,87902	0,28	7,74238
0,3	0,000476	0,3	1,90214	0,3	7,82791
0,32	0,000480	0,32	1,92583	0,32	7,91609
0,34	0,000485	0,34	1,95014	0,34	8,00690
0,36	0,000489	0,36	1,97510	0,36	8,10033
0,38	0,000494	0,38	2,00075	0,38	8,19638
0,4	0,000498	0,4	2,02713	0,4	8,19638
0,42	0,000503	0,42	2,05427	0,42	8,29504
0,44	0,000508	0,44	2,08219	0,44	8,50028
0,46	0,000513	0,46	2,11092	0,46	8,60691
0,48	0,000518	0,48	2,14049	0,48	8,71623
0,5	0,000523	0,5	2,17092	0,5	8,82830
0,52	0,000528	0,52	2,20224	0,52	8,94315
0,54	0,000533	0,54	2,23447	0,54	9,06084
0,56	0,000539	0,56	2,26765	0,56	9,18142
0,58	0,000544	0,58	2,30179	0,58	9,30496
0,6	0,000550	0,6	2,33693	0,6	9,43154
0,62	0,000556	0,62	2,37309	0,62	9,56123
0,64	0,000562	0,64	2,41031	0,64	9,69413
0,66	0,000568	0,66	2,44863	0,66	9,83035
0,68	0,000574	0,68	2,48808	0,68	9,96999
0,7	0,000580	0,7	2,52869	0,7	10,11320
0,72	0,000587	0,72	2,57052	0,72	10,26010
0,74	0,000594	0,74	2,61361	0,74	10,41086
0,76	0,000600	0,76	2,65800	0,76	10,56565
0,78	0,000607	0,78	2,70376	0,78	10,72465
0,8	0,000615	0,8	2,75093	0,8	10,88808
0,82	0,000622	0,82	2,79958	0,82	11,05615
0,84	0,000630	0,84	2,84979	0,84	11,22911
0,86	0,000637	0,86	2,90161	0,86	11,40724
0,88	0,000646	0,88	2,95513	0,88	11,59081
0,9	0,000654	0,9	3,01044	0,9	11,78016
0,92	0,000662	0,92	3,06763	0,92	11,97562
0,94	0,000671	0,94	3,12680	0,94	12,17756
0,96	0,000680	0,96	3,18806	0,96	12,38640
0,98	0,000690	0,98	3,25153	0,98	12,60257
1	0,000699	1	3,31734	1	12,82655

## Anexo M1. Datos para análisis mínimos cuadrados. Empresa piloto dos.

ACIDEZ		SOLIDOS	
$\lambda$	SUMA DE CUADRADOS DE PREDICCIÓN	$\lambda$	SUMA DE CUADRADOS DE PREDICCIÓN
0,02	0,000453	0,02	6,89613
0,04	0,000443	0,04	6,89999
0,06	0,000438	0,06	6,90001
0,08	0,000440	0,08	7,00191
0,10	0,000442	0,10	7,00523
0,12	0,000444	0,12	7,10326
0,14	0,000450	0,14	7,15420
0,16	0,000453	0,16	7,21352
0,18	0,000456	0,18	7,25120
0,20	0,000461	0,20	7,32654
0,22	0,000462	0,22	7,40255
0,24	0,000464	0,24	7,48002
0,26	0,000466	0,26	7,52336
0,28	0,000468	0,28	7,62589
0,30	0,000472	0,30	7,72558
0,32	0,000474	0,32	7,82558
0,34	0,000480	0,34	7,90254
0,36	0,000482	0,36	8,00021
0,38	0,000489	0,38	8,10225
0,40	0,000492	0,40	8,15447
0,42	0,000496	0,42	8,18447
0,44	0,000498	0,44	8,28322
0,46	0,000503	0,46	8,52360
0,48	0,000505	0,48	8,60365
0,50	0,000508	0,50	8,70365
0,52	0,000513	0,52	8,80362
0,54	0,000518	0,54	8,92588
0,56	0,000533	0,56	9,00211
0,58	0,000535	0,58	9,10225
0,60	0,000539	0,60	9,20877
0,62	0,000545	0,62	9,40257
0,64	0,000550	0,64	9,50447
0,66	0,000562	0,66	9,61225
0,68	0,000564	0,68	9,70254
0,70	0,000568	0,70	9,99900
0,72	0,000580	0,72	10,1012
0,74	0,000582	0,74	10,2402
0,76	0,000594	0,76	10,2405
0,78	0,000600	0,78	10,5022
0,80	0,000605	0,80	10,7235
0,82	0,000612	0,82	10,8098
0,84	0,000622	0,84	10,9022
0,86	0,000628	0,86	11,0102
0,88	0,000630	0,88	11,3002
0,90	0,000635	0,90	11,4011
0,92	0,000642	0,92	11,5954
0,94	0,000646	0,94	11,6899
0,96	0,000662	0,96	11,9022
0,98	0,000680	0,98	12,2055
1	0,000688	1	12,3822

**Anexo N. Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para la acidez  $X_1$  ( $\lambda=0,06$ ).**

Para aplicar el modelo Emwa-Arima se utilizó un  $\lambda$  inicial de 0.05, el método de mínimos cuadrados y se aplicó el modelo de predicción.

**Anexo N. Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para la acidez  $X_1$  ( $\lambda=0,06$ ). Empresa piloto uno**

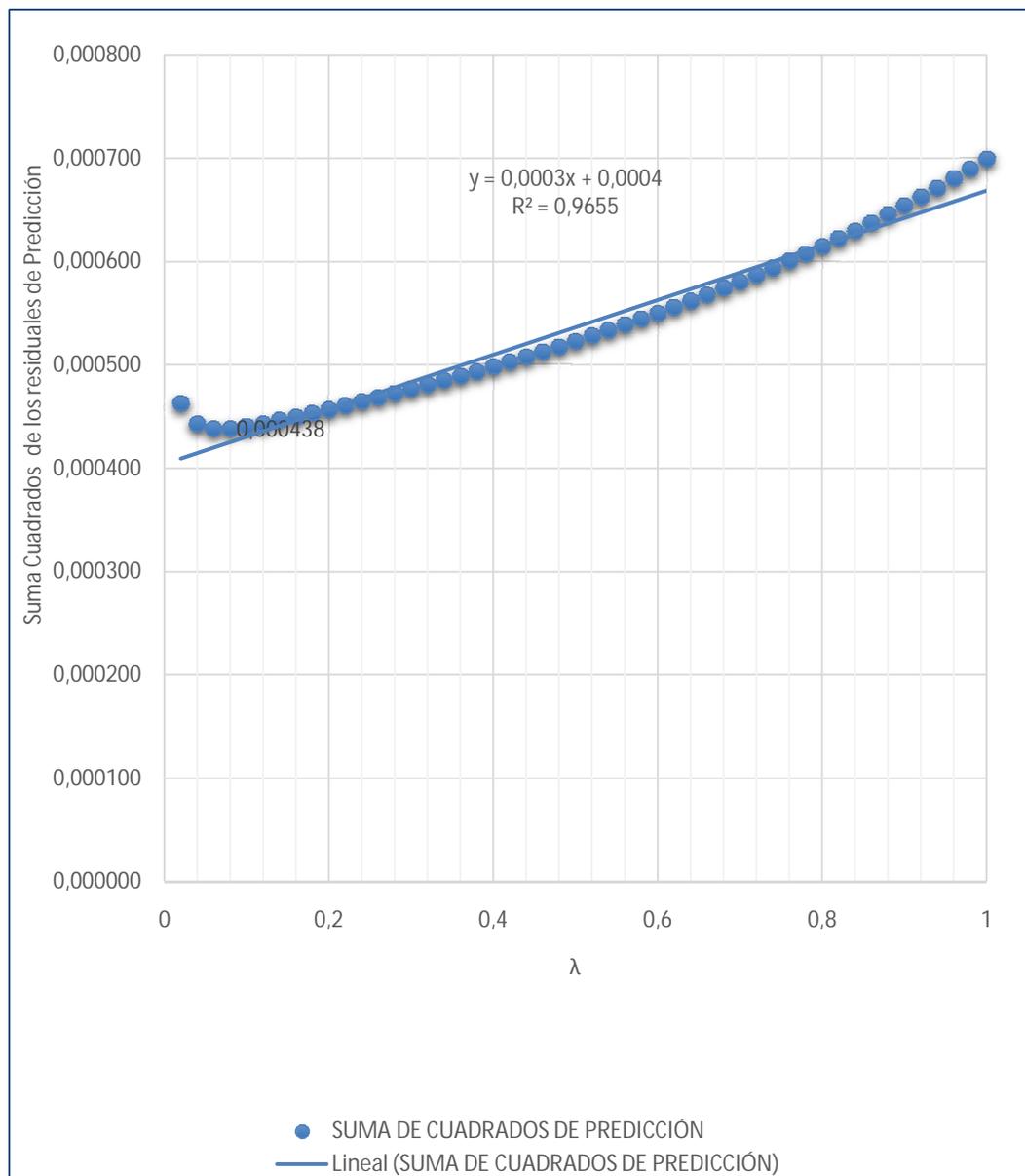
Muestra (t)	$x_t$	EMWA ( $z_t$ )	PRONÓSTICO ARIMA ( $\hat{x}_t(t-1)$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN ( $e_t$ )
1	0,14	0,13	0,12	0,01
2	0,12	0,12	0,13	-0,01
3	0,12	0,12	0,12	0,00
4	0,13	0,12	0,12	0,01
5	0,10	0,12	0,12	-0,02
6	0,14	0,12	0,12	0,02
7	0,15	0,13	0,12	0,03
8	0,12	0,13	0,13	0,00
9	0,14	0,13	0,13	0,02
10	0,14	0,13	0,13	0,01
11	0,11	0,13	0,13	-0,02
12	0,15	0,13	0,13	0,02
13	0,15	0,13	0,13	0,02
14	0,14	0,13	0,13	0,01
15	0,16	0,13	0,13	0,03
16	0,15	0,13	0,13	0,01
17	0,13	0,13	0,13	-0,01
18	0,14	0,13	0,13	0,01
19	0,16	0,13	0,13	0,03
20	0,14	0,14	0,13	0,01
21	0,15	0,14	0,14	0,01
22	0,15	0,14	0,14	0,01
23	0,14	0,14	0,14	0,01
24	0,14	0,14	0,14	0,01
25	0,11	0,14	0,14	-0,03
26	0,13	0,14	0,14	-0,01
27	0,13	0,14	0,14	0,00
28	0,12	0,13	0,14	-0,02
29	0,12	0,13	0,13	-0,01
30	0,14	0,13	0,13	0,00
31	0,17	0,14	0,13	0,03
32	0,16	0,14	0,14	0,02
33	0,14	0,14	0,14	0,00
34	0,14	0,14	0,14	0,00
35	0,13	0,14	0,14	0,00
36	0,16	0,14	0,14	0,02
37	0,16	0,14	0,14	0,02
38	0,13	0,14	0,14	-0,01
39	0,15	0,14	0,14	0,01
40	0,16	0,14	0,14	0,03
41	0,13	0,14	0,14	-0,01

42	0,13	0,14	0,14	-0,01
43	0,12	0,14	0,14	-0,02
44	0,16	0,14	0,14	0,02
45	0,15	0,14	0,14	0,01
46	0,14	0,14	0,14	0,00
47	0,14	0,14	0,14	0,00
48	0,17	0,14	0,14	0,03
49	0,18	0,14	0,14	0,04
50	0,17	0,15	0,14	0,03
51	0,16	0,15	0,15	0,02
52	0,15	0,15	0,15	0,00
53	0,13	0,15	0,15	-0,01
54	0,17	0,15	0,15	0,02
55	0,16	0,15	0,15	0,02
56	0,14	0,15	0,15	-0,01
57	0,13	0,15	0,15	-0,01
58	0,11	0,14	0,15	-0,03
59	0,13	0,14	0,14	-0,01
60	0,16	0,15	0,14	0,02
61	0,08	0,14	0,15	-0,06
62	0,14	0,14	0,14	-0,01
63	0,14	0,14	0,14	0,00
64	0,17	0,14	0,14	0,02
65	0,16	0,14	0,14	0,02
66	0,16	0,15	0,14	0,02
67	0,18	0,15	0,15	0,04
68	0,12	0,15	0,15	-0,03
69	0,13	0,14	0,15	-0,02
70	0,14	0,14	0,14	-0,01
71	0,14	0,14	0,14	0,00
72	0,17	0,15	0,14	0,02
73	0,16	0,15	0,15	0,01
74	0,17	0,15	0,15	0,02
75	0,13	0,15	0,15	-0,02
76	0,16	0,15	0,15	0,01
77	0,12	0,15	0,15	-0,03
78	0,14	0,15	0,15	0,00
79	0,13	0,14	0,15	-0,02
80	0,14	0,14	0,14	0,00
81	0,16	0,15	0,14	0,01
82	0,12	0,14	0,15	-0,03
83	0,14	0,14	0,14	-0,01
84	0,14	0,14	0,14	-0,01
85	0,17	0,14	0,14	0,03
86	0,16	0,15	0,14	0,02
87	0,13	0,14	0,15	-0,01
88	0,18	0,15	0,14	0,03
89	0,12	0,15	0,15	-0,02
90	0,12	0,14	0,15	-0,02
91	0,19	0,15	0,14	0,04
92	0,14	0,15	0,15	0,00
93	0,12	0,14	0,15	-0,03
94	0,13	0,14	0,14	-0,01
95	0,11	0,14	0,14	-0,03
96	0,14	0,14	0,14	0,00
97	0,15	0,14	0,14	0,01
98	0,15	0,14	0,14	0,00
99	0,15	0,14	0,14	0,00
100	0,14	0,14	0,14	0,00
101	0,10	0,14	0,14	-0,05
102	0,15	0,14	0,14	0,01
103	0,15	0,14	0,14	0,01
104	0,17	0,14	0,14	0,03
105	0,14	0,14	0,14	0,00
106	0,14	0,14	0,14	-0,01
107	0,11	0,14	0,14	-0,03

108	0,14	0,14	0,14	-0,01
109	0,14	0,14	0,14	0,00
110	0,16	0,14	0,14	0,01
111	0,16	0,14	0,14	0,02
112	0,14	0,14	0,14	0,00
113	0,15	0,14	0,14	0,01
114	0,14	0,14	0,14	0,00
115	0,13	0,14	0,14	-0,02
116	0,13	0,14	0,14	-0,01
117	0,20	0,14	0,14	0,05
118	0,16	0,15	0,14	0,01
119	0,14	0,15	0,15	-0,01
120	0,15	0,15	0,15	0,01
121	0,13	0,14	0,15	-0,02
122	0,14	0,14	0,14	0,00
123	0,13	0,14	0,14	-0,01
124	0,13	0,14	0,14	-0,01
125	0,16	0,14	0,14	0,01
126	0,13	0,14	0,14	-0,02
127	0,09	0,14	0,14	-0,05
128	0,14	0,14	0,14	0,00
129	0,17	0,14	0,14	0,03
130	0,14	0,14	0,14	0,00
131	0,10	0,14	0,14	-0,04
132	0,11	0,14	0,14	-0,03
133	0,16	0,14	0,14	0,02
134	0,16	0,14	0,14	0,02
135	0,15	0,14	0,14	0,02
136	0,09	0,14	0,14	-0,05
137	0,15	0,14	0,14	0,01
138	0,16	0,14	0,14	0,02
139	0,12	0,14	0,14	-0,02
140	0,10	0,14	0,14	-0,04
141	0,14	0,14	0,14	0,00
142	0,11	0,13	0,14	-0,03
143	0,14	0,13	0,13	0,01
144	0,14	0,14	0,13	0,00
145	0,12	0,13	0,14	-0,01
146	0,14	0,13	0,13	0,00
147	0,12	0,13	0,13	-0,02
148	0,13	0,13	0,13	-0,01
149	0,14	0,13	0,13	0,01
150	0,12	0,13	0,13	-0,01
151	0,13	0,13	0,13	-0,01
152	0,12	0,13	0,13	-0,01
153	0,12	0,13	0,13	-0,01
154	0,18	0,13	0,13	0,05
155	0,14	0,13	0,13	0,01
156	0,11	0,13	0,13	-0,02
157	0,13	0,13	0,13	-0,01
158	0,12	0,13	0,13	-0,01
159	0,13	0,13	0,13	0,00
160	0,11	0,13	0,13	-0,02
161	0,17	0,13	0,13	0,04
162	0,18	0,14	0,13	0,05
163	0,17	0,14	0,14	0,03
164	0,16	0,14	0,14	0,02
165	0,15	0,14	0,14	0,02
166	0,17	0,14	0,14	0,03
167	0,11	0,14	0,14	-0,04
168	0,14	0,14	0,14	0,00
169	0,16	0,14	0,14	0,02
170	0,14	0,14	0,14	0,00
171	0,11	0,14	0,14	-0,03

172	0,11	0,14	0,14	-0,03
173	0,11	0,14	0,14	-0,03
174	0,14	0,14	0,14	0,01
175	0,12	0,14	0,14	-0,02
176	0,13	0,13	0,14	-0,01
177	0,18	0,14	0,13	0,04
178	0,14	0,14	0,14	0,01
179	0,15	0,14	0,14	0,01
180	0,13	0,14	0,14	-0,01

### Mínimos cuadrados errores de predicción de la acidez



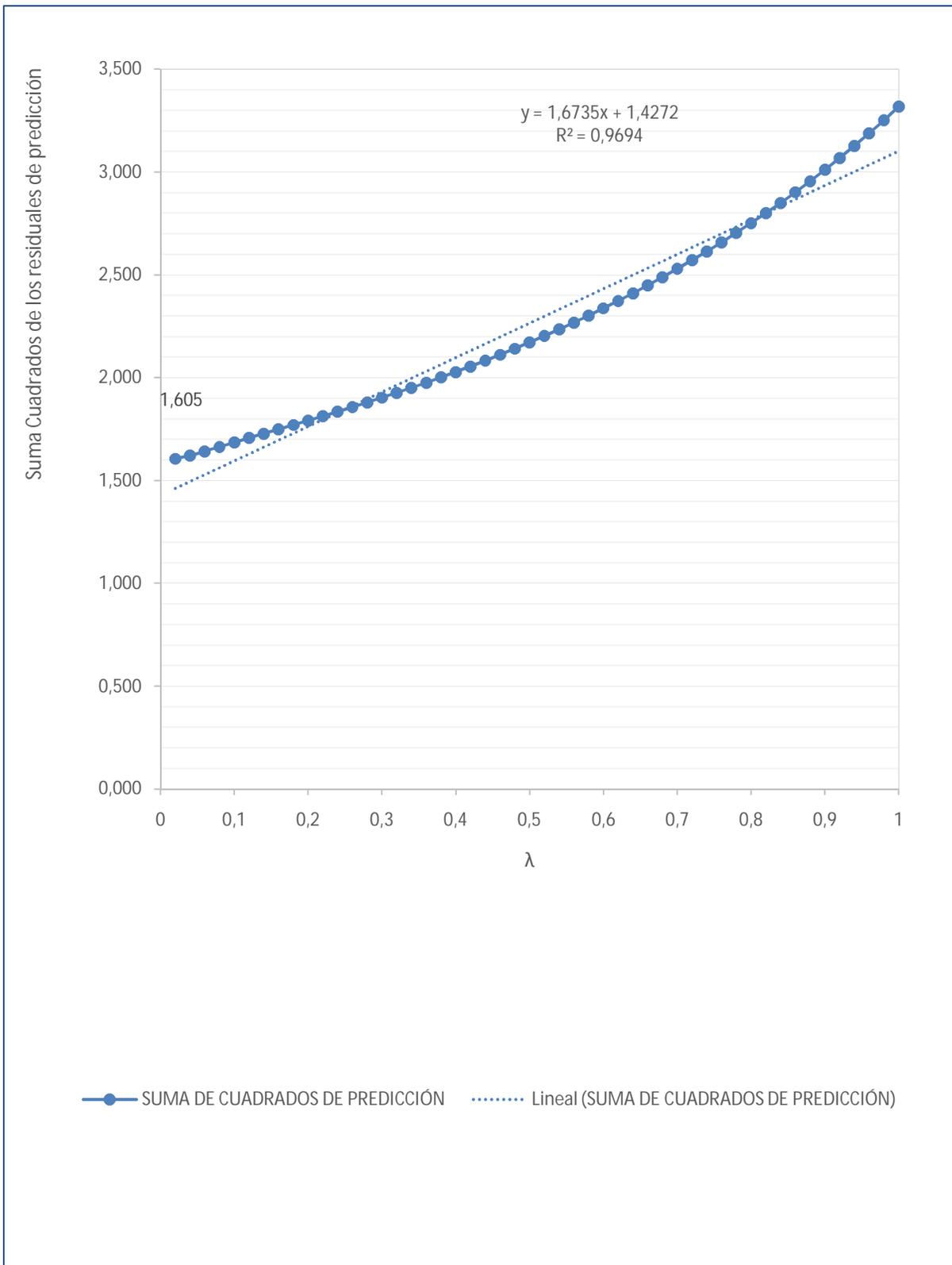
**Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para sólidos no grasos  $X_2$  ( $\lambda=0,02$ ). Empresa piloto uno.**

Muestra (t)	$x_t$	EMWA ( $z_t$ )	PRONÓSTICO ARIMA ( $\hat{x}_t(t-1)$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN ( $e_t$ )
1	8,26	8,41	8,42	-0,16
2	8,38	8,41	8,41	-0,03
3	8,37	8,41	8,41	-0,04
4	8,51	8,41	8,41	0,10
5	8,48	8,42	8,41	0,07
6	8,50	8,42	8,42	0,08
7	8,41	8,42	8,42	-0,01
8	8,46	8,42	8,42	0,04
9	8,56	8,42	8,42	0,14
10	8,43	8,42	8,42	0,01
11	8,45	8,42	8,42	0,02
12	8,43	8,42	8,42	0,00
13	8,63	8,43	8,42	0,21
14	8,34	8,42	8,43	-0,08
15	8,47	8,43	8,42	0,05
16	8,42	8,43	8,43	0,00
17	8,42	8,43	8,43	0,00
18	8,44	8,43	8,43	0,01
19	8,41	8,43	8,43	-0,02
20	8,39	8,42	8,43	-0,03
21	8,62	8,43	8,42	0,20
22	8,45	8,43	8,43	0,02
23	8,42	8,43	8,43	-0,01
24	8,42	8,43	8,43	0,00
25	8,28	8,43	8,43	-0,15
26	8,35	8,42	8,43	-0,07
27	8,36	8,42	8,42	-0,06
28	8,28	8,42	8,42	-0,15
29	8,35	8,42	8,42	-0,07
30	8,37	8,42	8,42	-0,05
31	8,33	8,42	8,42	-0,08
32	8,54	8,42	8,42	0,12
33	8,37	8,42	8,42	-0,05
34	8,46	8,42	8,42	0,04
35	8,41	8,42	8,42	0,00
36	8,47	8,42	8,42	0,06
37	8,45	8,42	8,42	0,03
38	8,50	8,42	8,42	0,08
39	8,44	8,42	8,42	0,02
40	8,49	8,42	8,42	0,07
41	8,32	8,42	8,42	-0,11
42	8,50	8,42	8,42	0,08
43	8,34	8,42	8,42	-0,08
44	8,32	8,42	8,42	-0,10
45	8,37	8,42	8,42	-0,05
46	8,35	8,42	8,42	-0,07
47	8,47	8,42	8,42	0,05
48	8,63	8,42	8,42	0,21
49	8,28	8,42	8,42	-0,14
50	8,57	8,42	8,42	0,15
51	8,44	8,42	8,42	0,02
52	8,45	8,42	8,42	0,02
53	8,40	8,42	8,42	-0,03
54	8,34	8,42	8,42	-0,08
55	8,42	8,42	8,42	0,00
56	8,28	8,42	8,42	-0,14
57	8,53	8,42	8,42	0,11
58	8,38	8,42	8,42	-0,04
59	8,57	8,42	8,42	0,15

60	8,52	8,42	8,42	0,10
61	8,44	8,42	8,42	0,01
62	8,34	8,42	8,42	-0,08
63	8,36	8,42	8,42	-0,06
64	8,40	8,42	8,42	-0,02
65	8,42	8,42	8,42	-0,01
66	8,36	8,42	8,42	-0,06
67	8,60	8,42	8,42	0,18
68	8,36	8,42	8,42	-0,07
69	8,37	8,42	8,42	-0,05
70	8,48	8,42	8,42	0,06
71	8,41	8,42	8,42	-0,01
72	8,51	8,42	8,42	0,09
73	8,26	8,42	8,42	-0,17
74	8,46	8,42	8,42	0,04
75	8,38	8,42	8,42	-0,04
76	8,42	8,42	8,42	0,00
77	8,30	8,42	8,42	-0,13
78	8,29	8,42	8,42	-0,12
79	8,32	8,41	8,42	-0,10
80	8,29	8,41	8,41	-0,12
81	8,45	8,41	8,41	0,04
82	8,33	8,41	8,41	-0,08
83	8,45	8,41	8,41	0,04
84	8,46	8,41	8,41	0,05
85	8,53	8,41	8,41	0,12
86	8,45	8,42	8,41	0,03
87	8,37	8,41	8,42	-0,05
88	8,43	8,41	8,41	0,02
89	8,51	8,42	8,41	0,09
90	8,43	8,42	8,42	0,01
91	8,35	8,42	8,42	-0,06
92	8,55	8,42	8,42	0,14
93	8,38	8,42	8,42	-0,04
94	8,16	8,41	8,42	-0,26
95	8,42	8,41	8,41	0,01
96	8,25	8,41	8,41	-0,16
97	8,50	8,41	8,41	0,09
98	8,51	8,41	8,41	0,10
99	8,30	8,41	8,41	-0,11
100	8,33	8,41	8,41	-0,08
101	8,30	8,41	8,41	-0,11
102	8,35	8,41	8,41	-0,05
103	8,42	8,41	8,41	0,02
104	8,52	8,41	8,41	0,11
105	8,49	8,41	8,41	0,08
106	8,45	8,41	8,41	0,04
107	8,20	8,41	8,41	-0,21
108	8,36	8,41	8,41	-0,05
109	8,46	8,41	8,41	0,05
110	8,53	8,41	8,41	0,13
111	8,23	8,41	8,41	-0,18
112	8,43	8,41	8,41	0,03
113	8,49	8,41	8,41	0,09
114	8,27	8,41	8,41	-0,14
115	8,25	8,40	8,41	-0,15
116	8,38	8,40	8,40	-0,02
117	8,21	8,40	8,40	-0,19
118	8,48	8,40	8,40	0,08
119	8,41	8,40	8,40	0,01
120	8,41	8,40	8,40	0,01
121	8,25	8,40	8,40	-0,15
122	8,55	8,40	8,40	0,16
123	8,48	8,40	8,40	0,08
124	8,41	8,40	8,40	0,01
125	8,27	8,40	8,40	-0,13
126	8,38	8,40	8,40	-0,02

127	8,41	8,40	8,40	0,01
128	8,19	8,39	8,40	-0,21
129	8,26	8,39	8,39	-0,13
130	8,53	8,39	8,39	0,14
131	8,41	8,40	8,39	0,01
132	8,39	8,40	8,40	0,00
133	8,35	8,39	8,40	-0,04
134	8,41	8,39	8,39	0,02
135	8,43	8,40	8,39	0,03
136	8,43	8,40	8,40	0,04
137	8,37	8,40	8,40	-0,03
138	8,34	8,39	8,40	-0,05
139	8,50	8,40	8,39	0,11
140	8,36	8,40	8,40	-0,03
141	8,42	8,40	8,40	0,03
142	8,34	8,40	8,40	-0,06
143	8,42	8,40	8,40	0,02
144	8,48	8,40	8,40	0,09
145	8,47	8,40	8,40	0,07
146	8,29	8,40	8,40	-0,11
147	8,32	8,40	8,40	-0,08
148	8,54	8,40	8,40	0,15
149	8,49	8,40	8,40	0,09
150	8,17	8,40	8,40	-0,23
151	8,30	8,39	8,40	-0,10
152	8,57	8,40	8,39	0,17
153	8,34	8,40	8,40	-0,05
154	8,36	8,40	8,40	-0,03
155	8,42	8,40	8,40	0,02
156	8,32	8,39	8,40	-0,07
157	8,34	8,39	8,39	-0,05
158	8,55	8,40	8,39	0,16
159	8,33	8,40	8,40	-0,06
160	8,43	8,40	8,40	0,03
161	8,50	8,40	8,40	0,11
162	8,25	8,39	8,40	-0,15
163	8,38	8,39	8,39	-0,01
164	8,33	8,39	8,39	-0,06
165	8,39	8,39	8,39	-0,01
166	8,31	8,39	8,39	-0,09
167	8,49	8,39	8,39	0,10
168	8,44	8,39	8,39	0,05
169	8,35	8,39	8,39	-0,05
170	8,65	8,40	8,39	0,26
171	8,42	8,40	8,40	0,02
172	8,50	8,40	8,40	0,10
173	8,39	8,40	8,40	-0,01
174	8,37	8,40	8,40	-0,03
175	8,40	8,40	8,40	0,00
176	8,47	8,40	8,40	0,07
177	8,36	8,40	8,40	-0,04
178	8,21	8,40	8,40	-0,19
179	8,37	8,40	8,40	-0,03
180	8,41	8,40	8,40	0,02

Mínimos cuadrados errores de predicción para sólidos no grasos



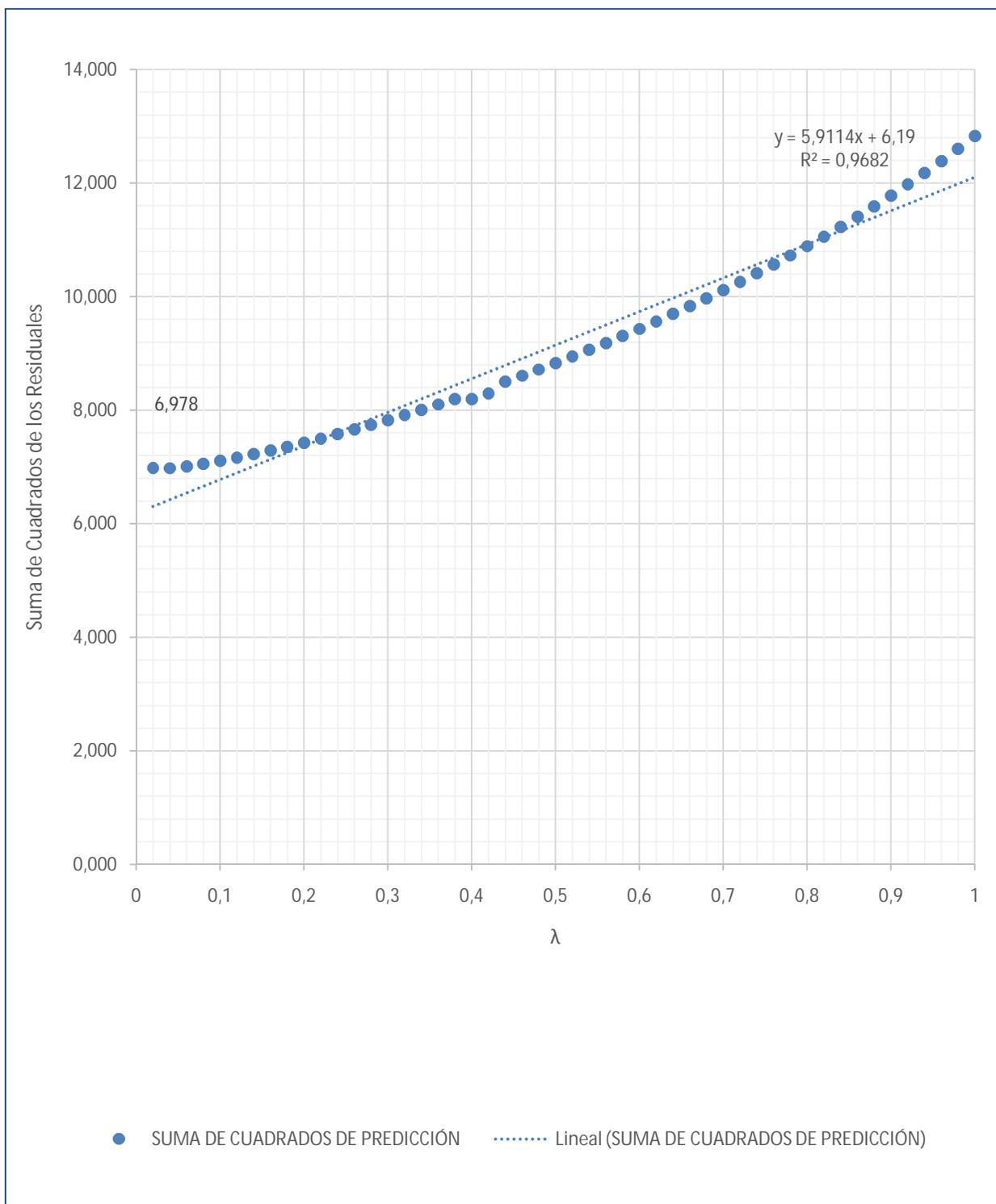
**Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para sólidos totales  $X_3$  ( $\lambda=0,04$ ). Empresa piloto uno.**

Muestra (t)	$x_t$	EMWA ( $z_t$ )	PRONÓSTICO ARIMA ( $t - 1$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN ( $e_t$ )
1	11,75	11,63	11,62	0,13
2	11,22	11,61	11,63	-0,41
3	11,45	11,61	11,61	-0,17
4	11,77	11,61	11,61	0,16
5	12,02	11,63	11,61	0,41
6	11,54	11,63	11,63	-0,09
7	11,20	11,61	11,63	-0,43
8	11,69	11,61	11,61	0,08
9	11,55	11,61	11,61	-0,06
10	11,75	11,62	11,61	0,14
11	11,71	11,62	11,62	0,09
12	11,55	11,62	11,62	-0,07
13	12,02	11,63	11,62	0,41
14	11,43	11,62	11,63	-0,20
15	11,64	11,62	11,62	0,01
16	11,52	11,62	11,62	-0,10
17	11,65	11,62	11,62	0,03
18	11,59	11,62	11,62	-0,03
19	11,47	11,61	11,62	-0,15
20	11,37	11,60	11,61	-0,25
21	11,63	11,61	11,60	0,02
22	11,74	11,61	11,61	0,13
23	11,58	11,61	11,61	-0,03
24	11,23	11,59	11,61	-0,38
25	11,62	11,60	11,59	0,03
26	11,59	11,60	11,60	0,00
27	11,35	11,59	11,60	-0,24
28	11,31	11,57	11,59	-0,28
29	11,28	11,56	11,57	-0,30
30	11,56	11,56	11,56	0,00
31	11,24	11,55	11,56	-0,32
32	11,58	11,55	11,55	0,03
33	11,41	11,55	11,55	-0,14
34	11,70	11,55	11,55	0,15
35	11,64	11,56	11,55	0,09
36	11,49	11,55	11,56	-0,06
37	11,83	11,56	11,55	0,28
38	11,91	11,58	11,56	0,34
39	11,43	11,57	11,58	-0,14
40	11,50	11,57	11,57	-0,08
41	11,31	11,56	11,57	-0,26
42	11,55	11,56	11,56	-0,01
43	11,34	11,55	11,56	-0,22
44	11,35	11,54	11,55	-0,19
45	11,62	11,54	11,54	0,08
46	11,65	11,55	11,54	0,10
47	11,51	11,55	11,55	-0,04
48	11,40	11,54	11,55	-0,15
49	11,45	11,54	11,54	-0,09
50	11,52	11,54	11,54	-0,01
51	11,86	11,55	11,54	0,32
52	11,15	11,53	11,55	-0,40
53	11,61	11,54	11,53	0,08
54	11,41	11,53	11,54	-0,13
55	11,78	11,54	11,53	0,25
56	11,76	11,55	11,54	0,21
57	11,60	11,55	11,55	0,05
58	11,68	11,56	11,55	0,13

59	11,46	11,55	11,56	-0,10
60	11,51	11,55	11,55	-0,05
61	11,68	11,56	11,55	0,12
62	11,42	11,55	11,56	-0,13
63	11,75	11,56	11,55	0,20
64	11,39	11,55	11,56	-0,17
65	11,54	11,55	11,55	-0,01
66	11,25	11,54	11,55	-0,30
67	11,87	11,55	11,54	0,33
68	11,42	11,55	11,55	-0,14
69	11,62	11,55	11,55	0,07
70	11,69	11,56	11,55	0,14
71	11,62	11,56	11,56	0,07
72	11,57	11,56	11,56	0,01
73	11,64	11,56	11,56	0,08
74	11,95	11,58	11,56	0,39
75	11,90	11,59	11,58	0,32
76	11,60	11,59	11,59	0,01
77	11,60	11,59	11,59	0,00
78	11,50	11,59	11,59	-0,09
79	11,61	11,59	11,59	0,02
80	11,61	11,59	11,59	0,03
81	11,46	11,58	11,59	-0,13
82	11,47	11,58	11,58	-0,12
83	11,66	11,58	11,58	0,09
84	11,56	11,58	11,58	-0,02
85	11,21	11,57	11,58	-0,37
86	11,23	11,55	11,57	-0,34
87	11,63	11,56	11,55	0,08
88	11,41	11,55	11,56	-0,15
89	11,75	11,56	11,55	0,20
90	11,79	11,57	11,56	0,23
91	11,33	11,56	11,57	-0,24
92	11,14	11,54	11,56	-0,41
93	11,65	11,55	11,54	0,11
94	11,50	11,54	11,55	-0,04
95	11,49	11,54	11,54	-0,05
96	11,60	11,54	11,54	0,06
97	11,48	11,54	11,54	-0,07
98	11,76	11,55	11,54	0,22
99	11,63	11,55	11,55	0,08
100	11,35	11,55	11,55	-0,21
101	11,42	11,54	11,55	-0,12
102	11,64	11,54	11,54	0,10
103	11,82	11,56	11,54	0,27
104	11,24	11,54	11,56	-0,32
105	11,68	11,55	11,54	0,14
106	11,75	11,56	11,55	0,20
107	11,76	11,56	11,56	0,20
108	11,38	11,56	11,56	-0,19
109	11,81	11,57	11,56	0,25
110	11,55	11,57	11,57	-0,02
111	11,42	11,56	11,57	-0,15
112	11,76	11,57	11,56	0,20
113	11,47	11,56	11,57	-0,10
114	11,65	11,57	11,56	0,09
115	11,62	11,57	11,57	0,06
116	11,06	11,55	11,57	-0,51
117	11,34	11,54	11,55	-0,21
118	11,77	11,55	11,54	0,23
119	11,50	11,55	11,55	-0,05
120	11,09	11,53	11,55	-0,46
121	11,42	11,53	11,53	-0,11
122	11,58	11,53	11,53	0,05
123	11,36	11,52	11,53	-0,17
124	11,53	11,52	11,52	0,01
125	11,60	11,52	11,52	0,08

126	11,45	11,52	11,52	-0,08
127	11,82	11,53	11,52	0,30
128	11,47	11,53	11,53	-0,06
129	11,44	11,53	11,53	-0,09
130	11,25	11,52	11,53	-0,27
131	11,39	11,51	11,52	-0,13
132	11,26	11,50	11,51	-0,25
133	11,31	11,49	11,50	-0,19
134	11,28	11,49	11,49	-0,21
135	11,43	11,48	11,49	-0,06
136	11,63	11,49	11,48	0,15
137	11,59	11,49	11,49	0,10
138	11,63	11,50	11,49	0,14
139	11,46	11,50	11,50	-0,03
140	11,62	11,50	11,50	0,12
141	11,70	11,51	11,50	0,20
142	11,60	11,51	11,51	0,09
143	11,69	11,52	11,51	0,18
144	11,82	11,53	11,52	0,30
145	11,63	11,54	11,53	0,09
146	11,89	11,55	11,54	0,35
147	11,60	11,55	11,55	0,05
148	11,31	11,54	11,55	-0,24
149	11,45	11,54	11,54	-0,09
150	11,71	11,55	11,54	0,17
151	11,94	11,56	11,55	0,39
152	11,67	11,57	11,56	0,11
153	11,49	11,56	11,57	-0,07
154	11,47	11,56	11,56	-0,09
155	11,81	11,57	11,56	0,25
156	11,59	11,57	11,57	0,02
157	11,40	11,56	11,57	-0,17
158	11,74	11,57	11,56	0,18
159	11,18	11,55	11,57	-0,39
160	11,75	11,56	11,55	0,20
161	11,49	11,56	11,56	-0,07
162	11,65	11,56	11,56	0,09
163	11,87	11,58	11,56	0,31
164	11,43	11,57	11,58	-0,14
165	11,63	11,57	11,57	0,06
166	11,78	11,58	11,57	0,20
167	11,46	11,58	11,58	-0,12
168	11,70	11,58	11,58	0,12
169	11,11	11,56	11,58	-0,47
170	11,18	11,55	11,56	-0,38
171	11,76	11,55	11,55	0,21
172	11,78	11,56	11,55	0,23
173	11,60	11,57	11,56	0,04
174	11,74	11,57	11,57	0,18
175	11,87	11,58	11,57	0,30
176	11,58	11,58	11,58	0,00
177	11,34	11,57	11,58	-0,24
178	11,61	11,58	11,57	0,04
179	11,48	11,57	11,58	-0,10
180	11,68	11,58	11,57	0,11

### Mínimos cuadrados errores de predicción sólidos totales



Descomposición del estadístico  $T^2$ . Empresa piloto uno.

Observación	T2	T2(1)	T2(2)	T2(3)	T2(4)	D1	D2	D3	D4	Variable
1	4,7753	3,8725	1,8487	3,6455	3,9241	0,9028	2,9266	1,1298	0,8512	
2	19,3142	14,673	16,5002	7,5813	13,6173	4,6412	2,814	11,7329	5,6969	
3	6,553	5,8507	6,4339	4,1735	1,9778	0,7023	0,1191	2,3795	4,5752	
4	7,3445	6,7446	5,251	4,6822	5,6	0,5999	2,0935	2,6623	1,7445	
5	4,9652	3,3175	4,7659	3,8785	3,7981	1,6477	0,1993	1,0867	1,1671	
6	12,8103	9,4201	12,7775	8,8992	9,4535	3,3902	0,0328	3,9111	3,3568	
7	7,4162	7,3948	6,8337	4,4808	3,9397	0,0214	0,5825	2,9354	3,4765	
8	8,5008	7,0989	8,3218	3,5868	8,3353	1,4019	0,179	4,914	0,1655	
9	4,2804	3,7022	2,9811	3,8272	2,5032	0,5782	1,2993	0,4532	1,7772	
10	10,1624	10,1464	7,5709	8,5417	3,1878	0,016	2,5915	1,6207	6,9746	
11	2,6341	0,1075	2,5823	2,2814	2,6332	2,5266	0,0518	0,3527	0,0009	
12	11,0209	8,0778	11,0193	10,6857	4,7368	2,9431	0,0016	0,3352	6,2841	
13	15,5815	15,2499	12,3303	9,1733	10,0243	0,3316	3,2512	6,4082	5,5572	
14	20,7342	19,3194	13,3342	10,581	18,851	1,4148	7,4	10,1532	1,8832	
15	4,7007	3,1197	2,9947	3,1758	4,6008	1,581	1,706	1,5249	0,0999	
16	4,9666	4,1756	4,6317	4,5467	1,7866	0,791	0,3349	0,4199	3,18	
17	2,8752	1,7933	2,8745	2,7352	1,3358	1,0819	0,0007	0,14	1,5394	
18	0,7146	0,1843	0,682	0,6938	0,6442	0,5303	0,0326	0,0208	0,0704	
19	2,0941	0,6735	1,9698	2,0199	1,7662	1,4206	0,1243	0,0742	0,3279	
20	4,4063	2,2275	4,4055	3,5532	2,0131	2,1788	0,0008	0,8531	2,3932	
21	8,1002	7,4589	2,9916	6,2484	7,7822	0,6413	5,1086	1,8518	0,318	
22	4,6159	4,5882	1,288	4,1931	3,8882	0,0277	3,3279	0,4228	0,7277	
23	2,8278	2,6447	2,7252	2,1564	1,1033	0,1831	0,1026	0,6714	1,7245	
24	3,7555	3,5843	3,7259	0,4329	3,5088	0,1712	0,0296	3,3226	0,2467	
25	9,3086	8,0311	6,544	5,454	8,7427	1,2775	2,7646	3,8546	0,5659	
26	1,7902	0,8959	1,2494	1,789	1,4401	0,8943	0,5408	0,0012	0,3501	
27	1,6533	1,6531	1,602	0,1259	1,5913	0,0002	0,0513	1,5274	0,062	
28	3,6501	2,8281	3,1084	3,4818	1,3012	0,822	0,5417	0,1683	2,3489	
29	0,9961	0,9416	0,3691	0,9913	0,7283	0,0545	0,627	0,0048	0,2678	
30	4,1545	2,4046	4,1539	0,8722	4,0583	1,7499	0,0006	3,2823	0,0962	
31	13,5869	12,948	13,585	11,0518	4,0756	0,6389	0,0019	2,5351	9,5113	X4
32	16,4499	16,3971	13,0579	13,0587	7,3569	0,0528	3,392	3,3912	9,093	
33	6,0204	3,7537	3,2821	4,793	5,8715	2,2667	2,7383	1,2274	0,1489	
34	3,6747	3,4824	3,0747	1,242	3,1244	0,1923	0,6	2,4327	0,5503	
35	0,7531	0,653	0,5839	0,5801	0,3917	0,1001	0,1692	0,173	0,3614	
36	4,354	3,2189	3,8372	3,9688	2,5012	1,1351	0,5168	0,3852	1,8528	
37	9,9178	9,7551	9,5897	5,9856	3,3054	0,1627	0,3281	3,9322	6,6124	
38	2,8992	0,6967	2,6346	2,8988	2,7348	2,2025	0,2646	0,0004	0,1644	
39	12,8553	12,7005	12,7852	6,7487	6,9567	0,1548	0,0701	6,1066	5,8986	
40	1,6724	0,7406	1,5336	1,3404	1,105	0,9318	0,1388	0,332	0,5674	
41	6,0627	5,4112	2,9097	5,1998	4,7799	0,6515	3,153	0,8629	1,2828	
42	7,2349	7,1543	3,6564	6,0327	5,1384	0,0806	3,5785	1,2022	2,0965	
43	5,8289	5,045	3,134	4,6898	4,7139	0,7839	2,6949	1,1391	1,115	
44	6,0072	1,0965	5,9835	5,6519	5,3905	4,9107	0,0237	0,3553	0,6167	
45	2,1766	2,1726	2,036	0,4035	2,1645	0,004	0,1406	1,7731	0,0121	
46	2,2583	1,8947	2,2038	2,2554	0,5946	0,3636	0,0545	0,0029	1,6637	
47	2,162	2,1619	0,6204	1,5973	2,089	1E-04	1,5416	0,5647	0,073	
48	5,3541	3,2506	2,6204	5,2488	5,2662	2,1035	2,7337	0,1053	0,0879	
49	14,0426	13,7268	1,4105	13,6894	13,4305	0,3158	12,6321	0,3532	0,6121	
50	9,1644	8,8365	0,421	9,1608	9,1323	0,3279	8,7434	0,0036	0,0321	
51	11,1432	10,9553	9,4207	8,7438	5,2466	0,1879	1,7225	2,3994	5,8966	
52	35,7122	33,8437	35,7078	21,9633	17,5237	1,8685	0,0044	13,7489	18,1885	
53	9,2023	9,134	8,8519	4,0192	6,5735	0,0683	0,3504	5,1831	2,6288	
54	4,3897	1,8082	4,136	3,948	4,1757	2,5815	0,2537	0,4417	0,214	
55	4,9355	4,8474	4,4447	1,0561	4,515	0,0881	0,4908	3,8794	0,4205	
56	6,3195	3,9138	4,6105	6,0359	4,0275	2,4057	1,709	0,2836	2,292	
57	9,6839	9,4282	3,1019	8,6369	8,0556	0,2557	6,582	1,047	1,6283	
58	3,9098	3,2172	1,1602	3,7989	3,6666	0,6926	2,7496	0,1109	0,2432	
59	6,6942	6,1009	2,3005	5,3818	6,4554	0,5933	4,3937	1,3124	0,2388	

60	3,56	0,724	3,2469	3,1101	3,3992	2,836	0,3131	0,4499	0,1608
61	11,9615	2,3091	11,1509	11,9093	11,728	9,6524	0,8106	0,0522	0,2335
62	10,2108	2,5551	9,3077	9,8798	10,185	7,6557	0,9031	0,331	0,0258
63	5,5756	5,2984	5,5503	2,7101	3,4408	0,2772	0,0253	2,8655	2,1348
64	8,725	7,5668	8,5142	6,3168	4,8734	1,1582	0,2108	2,4082	3,8516
65	0,8401	0,84	0,8382	0,1311	0,739	1E-04	0,0019	0,709	0,1011
66	2,8901	2,7051	2,7196	0,4583	2,6237	0,185	0,1705	2,4318	0,2664
67	18,5124	15,9415	13,5109	7,154	18,4797	2,5709	5,0015	11,3584	0,0327
68	28,2487	11,5757	23,0776	18,3159	28,033	16,673	5,1711	9,9328	0,2157
69	2,2848	1,4741	2,284	0,6701	1,8345	0,8107	0,0008	1,6147	0,4503
70	8,6675	8,567	7,0725	8,6313	1,7435	0,1005	1,595	0,0362	6,924
71	6,2978	5,8871	5,6032	6,2973	0,7606	0,4107	0,6946	0,0005	5,5372
72	5,6717	4,6217	4,4467	5,6136	2,6338	1,05	1,225	0,0581	3,0379
73	10,7454	10,669	3,0403	10,3986	7,5592	0,0764	7,7051	0,3468	3,1862
74	7,1616	6,6604	3,1692	4,6836	7,1423	0,5012	3,9924	2,478	0,0193
75	6,0823	1,2645	5,5126	5,4932	5,8323	4,8178	0,5697	0,5891	0,25
76	7,076	5,4845	6,7183	5,1189	4,9324	1,5915	0,3577	1,9571	2,1436
77	10,4282	6,6127	8,524	10,359	6,4454	3,8155	1,9042	0,0692	3,9828
78	6,3888	5,3603	6,367	6,2309	1,826	1,0285	0,0218	0,1579	4,5628
79	2,5793	2,213	2,5549	2,3194	0,9699	0,3663	0,0244	0,2599	1,6094
80	2,213	1,7452	2,1929	2,2	0,7113	0,4678	0,0201	0,013	1,5017
81	4,7792	4,4803	2,2479	4,2551	3,6517	0,2989	2,5313	0,5241	1,1275
82	7,5872	1,9604	6,2417	7,4118	6,8518	5,6268	1,3455	0,1754	0,7354
83	6,676	4,0734	5,5241	4,7632	4,6611	2,6026	1,1519	1,9128	2,0149
84	4,0517	3,9796	3,9882	3,5127	0,3427	0,0721	0,0635	0,539	3,709
85	7,2891	5,0503	6,7518	5,3269	5,8935	2,2388	0,5373	1,9622	1,3956
86	1,6907	1,562	0,8723	1,6501	0,9832	0,1287	0,8184	0,0406	0,7075
87	7,5259	6,4589	6,5487	3,609	6,9169	1,067	0,9772	3,9169	0,609
88	7,1638	3,1946	6,5591	6,5372	6,3843	3,9692	0,6047	0,6266	0,7795
89	11,1054	3,7209	10,6076	10,0002	10,804	7,3845	0,4978	1,1052	0,3014
90	0,7095	0,7058	0,0224	0,6643	0,7056	0,0037	0,6871	0,0452	0,0039
91	16,6932	7,0454	16,2638	14,0454	16,4046	9,6478	0,4294	2,6478	0,2886
92	13,2882	5,4905	8,4531	10,546	13,2869	7,7977	4,8351	2,7422	0,0013
93	11,7621	11,4054	7,7805	4,9964	11,7214	0,3567	3,9816	6,7657	0,0407
94	8,885	8,1447	3,4655	8,7944	5,9817	0,7403	5,4195	0,0906	2,9033
95	13,5315	11,0828	5,1287	13,0217	9,4463	2,4487	8,4028	0,5098	4,0852
96	7,4277	3,6759	4,0074	6,1759	7,4276	3,7518	3,4203	1,2518	1E-04
97	8,1964	7,7781	1,4615	7,8133	7,7819	0,4183	6,7349	0,3831	0,4145
98	2,3541	2,3194	2,3531	0,391	2,2228	0,0347	0,001	1,9631	0,1313
99	14,8605	14,7062	10,9357	14,1638	5,2554	0,1543	3,9248	0,6967	9,6051
100	7,7244	7,4772	7,6012	5,6252	2,9569	0,2472	0,1232	2,0992	4,7675
101	7,2066	1,7498	7,0338	7,2063	6,3599	5,4568	0,1728	0,0003	0,8467
102	12,3828	1,6996	12,1715	8,9416	13,3634	10,6832	0,2113	3,4412	-0,9806
103	1,2925	1,2386	0,8343	0,5675	1,2872	0,0539	0,4582	0,725	0,0053
104	11,2251	11,1088	9,8015	2,2757	10,846	0,1163	1,4236	8,9494	0,3791
105	7,2354	5,8288	7,0891	3,1149	7,1325	1,4066	0,1463	4,1205	0,1029
106	0,3959	0,3394	0,1919	0,3134	0,3627	0,0565	0,204	0,0825	0,0332
107	8,6435	7,1425	2,0988	8,6196	8,2394	1,501	6,5447	0,0239	0,4041
108	8,4021	7,6758	5,4396	5,1449	7,7589	0,7263	2,9625	3,2572	0,6432
109	6,9896	6,2957	6,3172	1,4557	6,4	0,6939	0,6724	5,5339	0,5896
110	3,2362	3,0193	2,3835	1,477	3,0203	0,2169	0,8527	1,7592	0,2159
111	11,4459	11,3939	1,9459	11,2524	10,4309	0,052	9,5	0,1935	1,015
112	8,5714	7,6521	4,2394	6,7128	8,236	0,9193	4,332	1,8586	0,3354
113	11,354	11,2862	11,056	9,6149	2,9385	0,0678	0,298	1,7391	8,4155
114	8,8922	8,8357	3,3473	8,0015	6,8928	0,0565	5,5449	0,8907	1,9994
115	0,7175	0,133	0,7122	0,6284	0,6589	0,5845	0,0053	0,0891	0,0586
116	11,6356	11,2193	9,0551	1,8944	11,4892	0,4163	2,5805	9,7412	0,1464
117	23,3129	6,1541	19,2901	16,3699	22,5308	17,1588	4,0228	6,943	0,7821
118	18,3757	14,6757	10,5251	16,2347	15,2866	3,7	7,8506	2,141	3,0891
119	4,344	2,4808	4,0106	1,5089	4,3247	1,8632	0,3334	2,8351	0,0193
120	5,2492	5,0979	5,2492	1,6747	4,4859	0,1513	0	3,5745	0,7633
121	6,9395	6,7388	3,9496	3,7339	6,3716	0,2007	2,9899	3,2056	0,5679
122	11,0481	10,1008	1,9324	10,3147	10,9857	0,9473	9,1157	0,7334	0,0624
123	4,0747	3,0585	3,6659	2,2028	2,6429	1,0162	0,4088	1,8719	1,4318
124	2,6128	2,5846	2,0715	1,7054	1,6097	0,0282	0,5413	0,9074	1,0031
125	4,7165	2,3026	2,4064	4,0993	4,612	2,4139	2,3101	0,6172	0,1045

126	5,6504	2,5294	4,1093	4,1638	5,4627	3,121	1,5411	1,4866	0,1877	
127	12,8954	9,2651	12,7528	11,2876	6,4765	3,6303	0,1426	1,6078	6,4189	X4
128	23,5114	15,207	17,6128	22,866	14,9731	8,3044	5,8986	0,6454	8,5383	
129	3,8429	1,4175	3,1198	3,8297	3,4126	2,4254	0,7231	0,0132	0,4303	
130	13,5132	8,9843	5,2064	10,9064	13,4924	4,5289	8,3068	2,6068	0,0208	
131	6,6454	3,2504	5,1863	6,5402	5,277	3,395	1,4591	0,1052	1,3684	
132	3,5919	3,4887	3,5502	3,4093	0,4296	0,1032	0,0417	0,1826	3,1623	
133	10,3077	0,5623	10,0085	9,0699	9,608	9,7454	0,2992	1,2378	0,6997	
134	0,4653	0,4606	0,0593	0,443	0,4141	0,0047	0,406	0,0223	0,0512	
135	4,2807	4,2767	4,2797	3,5403	0,7033	0,004	0,001	0,7404	3,5774	
136	16,0022	4,3588	15,9783	15,991	11,3452	11,6434	0,0239	0,0112	4,657	
137	11,7844	2,0662	11,1519	11,421	9,2782	9,7182	0,6325	0,3634	2,5062	
138	4,2347	4,0215	4,2139	4,1867	0,5576	0,2132	0,0208	0,048	3,6771	
139	8,8209	3,9017	5,9318	6,6709	8,7316	4,9192	2,8891	2,15	0,0893	
140	5,9553	4,8748	4,0241	5,6488	3,6832	1,0805	1,9312	0,3065	2,2721	
141	1,4227	1,3806	1,1337	1,2072	0,5394	0,0421	0,289	0,2155	0,8833	
142	5,8766	3,1741	5,0682	5,2089	4,2882	2,7025	0,8084	0,6677	1,5884	
143	6,4865	1,1976	5,9468	5,5679	5,8514	5,2889	0,5397	0,9186	0,6351	
144	0,8422	0,803	0,4418	0,5652	0,8366	0,0392	0,4004	0,277	0,0056	
145	6,5431	4,9386	6,54	4,485	2,2377	1,6045	0,0031	2,0581	4,3054	
146	16,0486	14,3676	11,4216	12,4248	6,5313	1,681	4,627	3,6238	9,5173	
147	6,4631	3,9366	6,194	2,5484	4,7202	2,5265	0,2691	3,9147	1,7429	
148	8,9228	8,8992	2,8098	6,1977	8,307	0,0236	6,113	2,7251	0,6158	
149	3,5235	2,8468	3,2348	2,7167	1,8822	0,6767	0,2887	0,8068	1,6413	
150	16,0707	15,7694	4,026	13,8213	13,9067	0,3013	12,0447	2,2494	2,164	
151	3,3359	2,9316	1,7946	1,9462	3,3304	0,4043	1,5413	1,3897	0,0055	
152	14,916	13,8168	5,7571	11,1006	11,2361	1,0992	9,1589	3,8154	3,6799	
153	9,5655	9,4982	3,9049	9,2268	6,0336	0,0673	5,6606	0,3387	3,5319	
154	12,1473	4,2583	12,0769	11,9545	9,1219	7,889	0,0704	0,1928	3,0254	
155	6,9912	3,4204	6,7305	5,5909	6,5749	3,5708	0,2607	1,4003	0,4163	
156	5,883	2,998	5,0696	3,8282	5,3877	2,885	0,8134	2,0548	0,4953	
157	1,7986	1,3417	1,7062	1,1083	1,5568	0,4569	0,0924	0,6903	0,2418	
158	24,6409	24,4851	21,4084	20,8968	7,4134	0,1558	3,2325	3,7441	17,2275	
159	16,7244	16,7134	12,7567	8,6887	13,056	0,011	3,9677	8,0357	3,6684	
160	10,1847	9,7853	9,542	2,7286	10,1836	0,3994	0,6427	7,4561	0,0011	
161	8,4137	5,4144	7,6058	7,2284	6,2435	2,9993	0,8079	1,1853	2,1702	
162	8,366	7,853	1,3084	7,0825	8,3199	0,513	7,0576	1,2835	0,0461	
163	4,2186	3,7458	2,5779	3,4302	3,5954	0,4728	1,6407	0,7884	0,6232	
164	6,805	5,5086	6,713	0,5723	6,7618	1,2964	0,092	6,2327	0,0432	
165	1,9814	1,9787	1,8051	0,9646	1,3104	0,0027	0,1763	1,0168	0,671	
166	9,2839	8,3579	8,7398	8,5529	2,8564	0,926	0,5441	0,731	6,4275	
167	35,1707	19,4674	31,3041	29,0355	25,7031	15,7033	3,8666	6,1352	9,4676	
168	9,5726	4,1071	9,1709	6,6356	8,1371	5,4655	0,4017	2,937	1,4355	
169	10,734	10,6158	10,0493	3,0412	9,9921	0,1182	0,6847	7,6928	0,7419	
170	12,2137	10,8746	2,0992	12,2049	10,8944	1,3391	10,1145	0,0088	1,3193	
171	18,8825	18,116	12,4115	10,8117	16,8329	0,7665	6,471	8,0708	2,0496	
172	0,984	0,919	0,2113	0,9797	0,777	0,065	0,7727	0,0043	0,207	
173	3,1776	3,1515	1,9137	2,4501	2,1804	0,0261	1,2639	0,7275	0,9972	
174	6,462	1,0174	6,2907	4,72	5,7304	5,4446	0,1713	1,742	0,7316	
175	4,3193	2,5953	4,1631	4,2878	1,7744	1,724	0,1562	0,0315	2,5449	
176	4,3096	4,2357	3,6519	2,2782	3,1774	0,0739	0,6577	2,0314	1,1322	
177	12,7082	6,0435	11,0895	12,5306	8,4279	6,6647	1,6187	0,1776	4,2803	
178	7,9945	5,2302	5,795	6,863	7,0211	2,7643	2,1995	1,1315	0,9734	
179	3,5706	3,5184	0,8956	3,0871	3,3036	0,0522	2,675	0,4835	0,267	
180	2,0534	1,3052	1,8611	1,4171	2,0526	0,7482	0,1923	0,6363	0,0008	

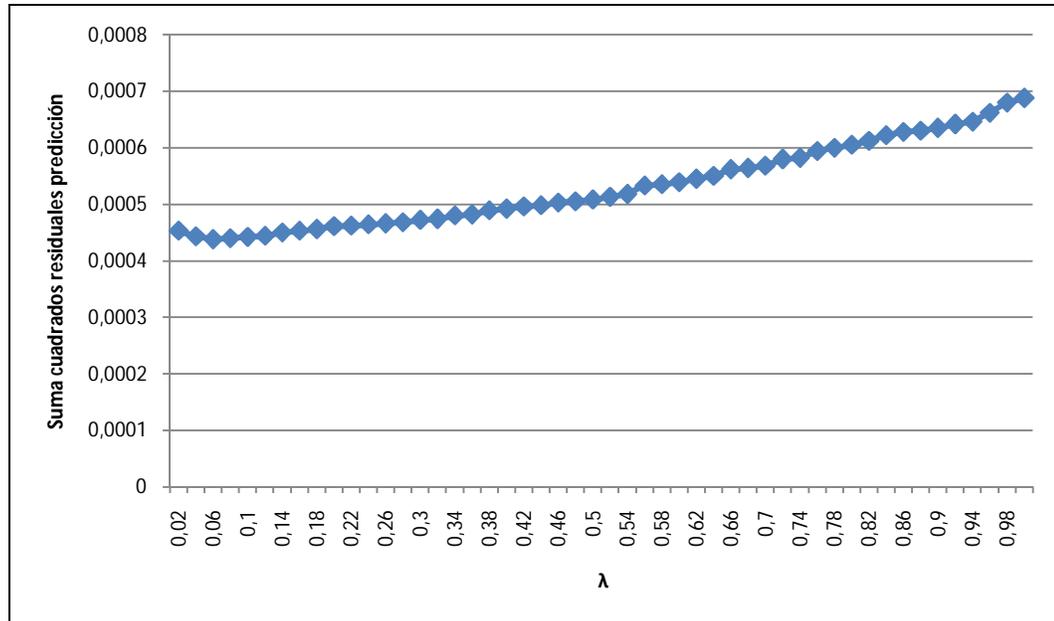
**Anexo N1. Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para X<sub>1</sub>: acidez ( $\lambda=0,06$ ). Empresa piloto dos.**

Muestra (t)	$x_t$	EMWA ( $z_t$ )	PRONÓSTICO ARIMA ( $\hat{x}_t(t-1)$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN( $e_t$ )
1	0,12	0,12	0,12	0,01
2	0,14	0,12	0,12	-0,01
3	0,12	0,12	0,12	0,00
4	0,13	0,12	0,12	0,01
5	0,16	0,12	0,12	-0,02
6	0,12	0,12	0,13	0,02
7	0,15	0,12	0,13	0,03
8	0,16	0,12	0,13	0,02
9	0,14	0,12	0,13	0,00
10	0,14	0,13	0,13	0,00
11	0,10	0,13	0,13	0,00
12	0,164	0,13	0,13	0,02
13	0,15	0,12	0,13	0,02
14	0,14	0,13	0,13	-0,01
15	0,16	0,13	0,13	0,01
16	0,15	0,13	0,13	0,03
17	0,12	0,13	0,13	-0,01
18	0,14	0,13	0,14	-0,01
19	0,16	0,13	0,14	-0,02
20	0,14	0,13	0,14	0,02
21	0,16	0,13	0,14	0,01
22	0,14	0,13	0,14	0,00
23	0,14	0,14	0,14	0,01
24	0,14	0,14	0,14	0,01
25	0,11	0,14	0,14	-0,03
26	0,12	0,14	0,14	-0,01
27	0,16	0,14	0,14	0,00
28	0,12	0,13	0,14	-0,02
29	0,12	0,14	0,13	-0,01
30	0,12	0,14	0,13	0,00
31	0,17	0,14	0,13	0,03
32	0,14	0,14	0,14	0,02
33	0,12	0,14	0,14	0,00
34	0,14	0,14	0,14	0,00
35	0,16	0,14	0,14	0,00
36	0,16	0,14	0,14	0,02
37	0,14	0,14	0,14	0,02
38	0,13	0,14	0,14	-0,01
39	0,15	0,14	0,14	0,01
40	0,16	0,14	0,14	0,03
41	0,13	0,14	0,14	-0,01
42	0,14	0,14	0,14	-0,01
43	0,12	0,14	0,14	-0,02
44	0,16	0,14	0,13	0,02
45	0,15	0,14	0,14	0,01
46	0,16	0,14	0,14	0,00
47	0,14	0,14	0,14	0,00
48	0,14	0,14	0,14	0,03
49	0,18	0,14	0,14	0,04

50	0,17	0,14	0,14	0,03
51	0,16	0,14	0,14	0,02
52	0,15	0,15	0,14	0,00
53	0,12	0,15	0,15	-0,01
54	0,14	0,15	0,15	0,02
55	0,18	0,15	0,15	0,00
56	0,14	0,14	0,15	0,02
57	0,13	0,14	0,15	0,01
58	0,12	0,14	0,15	-0,02
59	0,13	0,14	0,14	0,02
60	0,14	0,15	0,14	0,02
61	0,08	0,15	0,15	0,01
62	0,14	0,15	0,14	0,03
63	0,12	0,15	0,14	0,01
64	0,18	0,14	0,14	-0,01
65	0,14	0,14	0,14	0,01
66	0,16	0,15	0,14	0,03
67	0,18	0,15	0,15	0,01
68	0,12	0,15	0,15	0,01
69	0,12	0,14	0,15	0,01
70	0,14	0,14	0,14	-0,01
71	0,14	0,14	0,14	0,00
72	0,17	0,15	0,14	0,02
73	0,46	0,15	0,14	0,01
74	0,12	0,15	0,14	0,02
75	0,13	0,15	0,14	-0,02
76	0,16	0,15	0,14	0,01
77	0,12	0,15	0,13	-0,03
78	0,14	0,15	0,14	0,00
79	0,18	0,14	0,14	-0,02
80	0,14	0,14	0,14	0,00
81	0,16	0,15	0,14	0,01
82	0,12	0,14	0,14	0,00
83	0,14	0,14	0,14	0,02
84	0,12	0,14	0,14	0,01
85	0,17	0,14	0,14	-0,02
86	0,16	0,15	0,14	0,02
87	0,13	0,14	0,14	0,02
88	0,14	0,15	0,14	0,01
89	0,12	0,15	0,14	0,03
90	0,12	0,14	0,13	0,01
91	0,19	0,15	0,14	-0,01
92	0,18	0,15	0,14	0,01
93	0,12	0,14	0,14	0,03
94	0,13	0,15	0,14	0,01
95	0,14	0,15	0,14	0,01
96	0,14	0,15	0,14	0,01
97	0,15	0,15	0,14	0,01
98	0,15	0,15	0,14	0,00
99	0,15	0,15	0,14	0,00
100	0,18	0,15	0,14	0,00
101	0,14	0,14	0,14	-0,05
102	0,15	0,14	0,14	0,01
103	0,15	0,14	0,14	0,01
104	0,17	0,14	0,14	0,03
105	0,12	0,14	0,14	0,00
106	0,14	0,14	0,14	-0,01
107	0,11	0,14	0,14	-0,03
108	0,14	0,14	0,14	-0,01
109	0,14	0,14	0,14	0,00
110	0,16	0,15	0,14	0,01
111	0,12	0,15	0,14	0,02
112	0,14	0,14	0,14	0,00
113	0,15	0,14	0,13	0,02

114	0,18	0,15	0,14	0,01
115	0,14	0,14	0,14	-0,02
116	0,13	0,14	0,14	0,02
117	0,12	0,14	0,14	0,02
118	0,16	0,15	0,14	0,01
119	0,14	0,15	0,14	0,03
120	0,15	0,15	0,14	0,01

### Mínimos cuadrados errores de predicción de la acidez

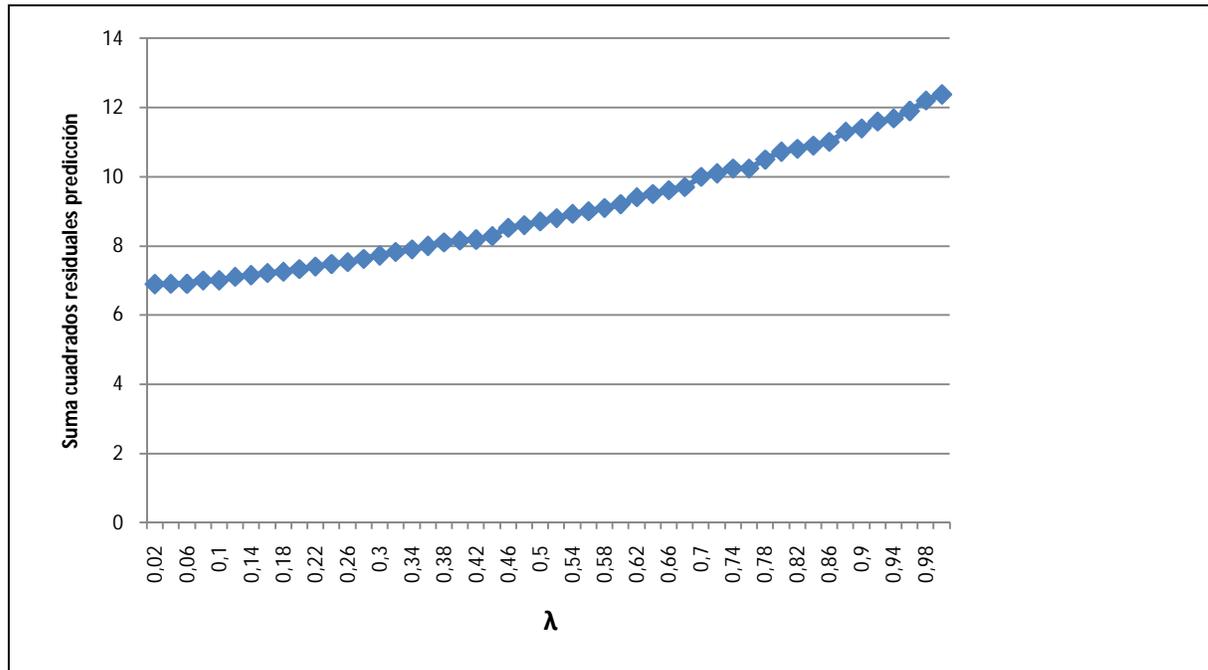


**Modelo de predicción Emwa-Arima y cálculo de errores de predicción para X<sub>2</sub>:  
sólidos ( $\lambda=0,02$ ). Empresa piloto dos.**

Muestra (t)	$x_t$	EMWA ( $z_t$ )	PRONÓSTICO ARIMA ( $\hat{x}_t(t-1)$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN ( $e_t$ )
1	8,20	8,41	8,42	-0,12
2	8,35	8,41	8,42	-0,04
3	8,36	8,41	8,42	-0,04
4	8,41	8,41	8,42	0,12
5	8,49	8,42	8,42	0,08
6	8,50	8,42	8,42	0,08
7	8,50	8,42	8,42	-0,02
8	8,50	8,42	8,42	0,04
9	8,52	8,42	8,42	0,10
10	8,49	8,42	8,42	0,02
11	8,47	8,42	8,42	0,02
12	8,47	8,42	8,42	0,02
13	8,56	8,43	8,43	0,22
14	8,44	8,42	8,43	-0,10
15	8,45	8,43	8,42	0,6
16	8,45	8,43	8,43	0,00
17	8,45	8,43	8,43	0,00
18	8,45	8,43	8,43	0,02
19	8,45	8,43	8,43	-0,02
20	8,44	8,42	8,43	-0,02
21	8,64	8,43	8,42	0,20
22	8,44	8,43	8,43	0,02
23	8,44	8,43	8,43	-0,10
24	8,44	8,43	8,43	0,00
25	8,65	8,43	8,43	-0,15
26	8,35	8,42	8,43	-0,07
27	8,38	8,42	8,43	-0,08
28	8,25	8,42	8,43	-0,10
29	8,74	8,42	8,43	-0,08
30	8,35	8,42	8,43	-0,07
31	8,35	8,42	8,43	-0,08
32	8,50	8,42	8,43	0,18
33	8,30	8,42	8,43	-0,06
34	8,50	8,42	8,43	0,06
35	8,45	8,42	8,43	0,00
36	8,48	8,42	8,43	0,09
37	8,48	8,42	8,43	0,08
38	8,50	8,42	8,42	0,08
39	8,44	8,42	8,42	0,06
40	8,48	8,42	8,42	0,06
41	8,32	8,42	8,42	-0,10
42	8,50	8,42	8,42	0,08
43	8,38	8,42	8,42	-0,08
44	8,32	8,42	8,42	-0,10
45	8,38	8,42	8,42	-0,08
46	8,35	8,42	8,42	-0,08
47	8,47	8,42	8,42	0,08
48	8,63	8,42	8,42	0,30
49	8,88	8,42	8,42	-0,18
50	8,57	8,42	8,42	0,18
51	8,44	8,42	8,42	0,20
52	8,45	8,42	8,42	0,02
53	8,40	8,42	8,42	-0,05
54	8,88	8,42	8,42	-0,05
55	8,42	8,42	8,42	0,00
56	8,28	8,42	8,42	-0,10
57	8,53	8,42	8,42	0,10
58	8,38	8,42	8,42	-0,06
59	8,55	8,42	8,42	0,10

60	8,52	8,42	8,42	0,12
61	8,44	8,42	8,42	0,01
62	8,31	8,42	8,42	-0,08
63	8,36	8,42	8,42	-0,08
64	8,40	8,42	8,42	-0,04
65	8,42	8,42	8,42	-0,12
66	8,36	8,42	8,42	-0,04
67	8,65	8,42	8,42	-0,04
68	8,36	8,42	8,42	0,12
69	8,37	8,42	8,42	0,08
70	8,48	8,42	8,42	0,08
71	8,45	8,42	8,42	-0,02
72	8,51	8,42	8,42	0,04
73	8,26	8,42	8,42	0,10
74	8,46	8,42	8,42	0,02
75	8,35	8,42	8,42	0,02
76	8,42	8,42	8,42	0,02
77	8,30	8,42	8,42	0,22
78	8,25	8,42	8,42	-0,10
79	8,32	8,41	8,42	0,6
80	8,29	8,41	8,43	0,00
81	8,45	8,41	8,43	0,00
82	8,35	8,41	8,43	0,02
83	8,45	8,41	8,43	-0,02
84	8,46	8,41	8,43	-0,02
85	8,55	8,41	8,43	0,20
86	8,45	8,42	8,43	0,02
87	8,25	8,41	8,42	-0,10
88	8,43	8,41	8,43	0,00
89	8,44	8,42	8,42	-0,15
90	8,43	8,42	8,42	-0,07
91	8,35	8,42	8,42	-0,08
92	8,55	8,42	8,42	-0,10
93	8,35	8,42	8,42	-0,08
94	8,16	8,41	8,42	-0,07
95	8,46	8,41	8,42	-0,08
96	8,25	8,41	8,42	0,18
97	8,50	8,41	8,42	-0,06
98	8,51	8,41	8,42	0,06
99	8,50	8,41	8,42	0,00
100	8,33	8,41	8,42	0,09
101	8,30	8,41	8,42	0,08
102	8,35	8,41	8,42	0,08
103	8,62	8,41	8,42	0,06
104	8,52	8,41	8,42	0,06
105	8,49	8,41	8,42	-0,10
106	8,45	8,41	8,42	0,08
107	8,60	8,41	8,42	-0,08
108	8,36	8,41	8,42	-0,10
109	8,46	8,41	8,42	-0,08
110	8,53	8,41	8,42	-0,08
111	8,53	8,41	8,42	0,08
112	8,43	8,41	8,42	0,30
113	8,49	8,41	8,42	-0,18
114	8,27	8,41	8,42	0,18
115	8,85	8,42	8,42	0,20
116	8,38	8,42	8,42	0,02
117	8,21	8,42	8,43	-0,05
118	8,48	8,42	8,43	-0,05
119	8,91	8,42	8,43	0,00
120	8,41	8,42	8,43	-0,10

## Mínimos cuadrados errores de predicción para sólidos



Descomposición del estadístico  $T^2$ : Empresa piloto dos.

Observación	T2	T2(1)	T2(2)	T2(3)	T2(4)	D1	D2	D3	D4
1	4,4063	0,7058	16,2638	6,2484	7,7819	2,5815	3,3279	0,173	0,4145
2	8,1002	7,0454	8,4531	4,1931	2,2228	0,0881	0,1026	0,3852	0,1313
3	4,6159	5,4905	7,7805	2,1564	5,2554	0,9318	0,0296	0,8629	9,6051
4	2,8278	11,4054	3,4655	0,4329	2,2228	0,6515	1,8685	1,2022	4,7675
5	3,7555	8,1447	5,1287	5,9856	5,2554	0,0806	2,5815	1,1391	0,8467
6	9,3086	11,0828	5,4396	2,8988	2,9569	0,7839	0,0881	0,3553	-0,9806
7	1,7902	3,6759	6,3172	6,7487	6,3599	1,8685	0,9318	1,7731	0,0053
8	14,0426	11,2193	2,3835	1,3404	13,3634	2,5815	0,6515	0,0029	0,3791
9	9,1644	6,1541	1,9459	5,1998	7,1325	0,0881	0,0806	0,5647	0,1029
10	11,1432	14,6757	4,2394	10,125	0,3627	0,9318	0,7839	0,1053	0,0332
11	35,7122	2,4808	11,056	11,0518	8,2394	0,6515	3,392	0,3532	0,0332
12	9,2023	5,0979	12,1715	13,0587	7,7589	0,0806	3,3279	0,173	0,4041
13	4,3897	0,7058	0,8343	4,793	6,4022	0,7839	0,1026	0,3852	0,6432
14	4,9355	7,0454	9,8015	1,242	3,0203	0,1879	0,0296	3,9322	0,5896
15	3,6747	11,1088	7,0891	0,5801	7,7819	1,8685	2,7646	0,0004	0,2159
16	0,7531	5,8288	0,1919	3,9688	2,2228	2,5815	0,5408	0,173	0,4145
17	4,354	0,3394	2,0988	5,9856	5,2554	0,0881	0,0513	0,3852	0,1313
18	9,9178	7,1425	5,4396	2,8988	2,9569	0,9318	0,5417	3,9322	4,7675
19	2,8992	7,6758	6,3172	6,7487	6,3599	0,6515	0,627	0,0004	0,8467
20	12,8553	6,2957	2,3835	1,3404	13,3634	0,0806	0,0006	6,1066	-0,9806
21	1,6724	3,0193	1,9459	5,1998	1,2872	0,7839	0,0019	0,332	0,0053
22	6,0627	11,2193	4,2394	6,0327	2,2228	4,9107	3,392	0,8629	0,3791
23	14,0426	6,1541	11,056	4,6898	5,2554	0,004	3,3279	1,2022	0,1029
24	9,1644	14,6757	3,3473	5,6519	2,9569	0,3636	1,8685	1,1391	0,0332
25	11,1432	2,4808	5,4396	6,2484	6,3599	1,8685	2,5815	0,3553	0,4041
26	35,7122	5,0979	6,3172	4,1931	13,3634	2,5815	0,0881	0,8629	0,6432
27	9,2023	0,7058	2,3835	5,9856	6,125	0,0881	0,9318	1,2022	0,5896
28	4,3897	7,0454	1,9459	2,8988	6,145	0,9318	0,6515	1,1391	0,2159
29	4,9355	14,6757	4,2394	6,7487	7,7819	0,6515	0,0806	0,3553	0,4145
30	14,0426	2,4808	11,056	1,3404	2,2228	0,0806	0,7839	1,7731	0,1313
31	9,1644	5,0979	16,2638	5,1998	5,2554	0,7839	0,0006	0,0029	9,6051
32	11,1432	11,2193	8,4531	5,9856	2,9569	0,7882	0,0019	0,5647	0,0332
33	35,7122	6,1541	7,7805	2,8988	6,3599	0,9318	3,392	0,1053	0,4041
34	9,2023	14,6757	3,4655	6,7487	13,3634	0,6515	1,8685	0,3532	0,6432
35	4,3897	2,4808	5,1287	1,3404	1,2872	0,0806	2,5815	0,173	0,5896
36	14,0426	5,0979	4,0074	5,1998	10,846	0,7839	0,0881	0,3852	0,2159
37	9,1644	0,7058	1,4615	4,793	7,1325	4,9107	0,9318	3,9322	0,4145
38	11,1432	7,0454	2,3531	1,242	0,3627	0,004	0,6515	0,0004	0,1313
39	35,7122	7,7781	10,9357	0,5801	8,2394	0,3636	0,0806	1,1391	0,4041
40	9,2023	2,3194	7,6012	3,9688	7,7589	1E-04	0,7839	0,3553	0,6432
41	4,3897	14,7062	5,4396	5,9856	2,2228	2,1035	0,627	1,7731	0,5896
42	4,9355	7,4772	6,3172	2,8988	5,2554	1,8685	0,0006	0,0029	0,2159
43	10,2108	1,7498	2,3835	6,7487	2,9569	2,5815	0,0019	0,5647	0,4145
44	4,4063	1,6996	1,9459	1,3404	6,3599	0,0881	3,392	0,1053	0,1313
45	8,1002	1,2386	4,2394	5,1998	13,3634	0,9318	3,3279	0,3532	9,6051
46	4,6159	11,1088	11,056	6,0327	10,1552	0,6515	0,1026	0,173	4,7675
47	2,8278	5,8288	6,2155	4,6898	1,1455	0,0806	1,8685	0,3852	0,8467
48	3,7555	0,3394	5,4396	5,6519	10,444	0,7839	2,5815	3,9322	-0,9806
49	9,3086	7,1425	6,3172	6,2484	1,2872	0,1555	0,0881	0,0004	0,0053
50	1,7902	7,6758	2,3835	4,1931	10,846	0,0806	0,9318	6,1066	0,3791
51	1,6533	6,2957	1,9459	2,1564	7,1325	0,7839	0,6515	0,8629	0,1029
52	14,0426	3,0193	4,2394	5,9856	0,3627	4,9107	0,0806	1,2022	0,0332
53	9,1644	11,2193	11,056	2,8988	8,2394	0,004	0,7839	1,1391	0,4041
54	11,1432	6,1541	3,3473	6,7487	7,7589	0,3636	0,0019	0,3553	0,6432
55	35,7122	14,6757	0,7122	1,3404	2,2228	1E-04	3,392	1,7731	0,5896
56	9,2023	2,4808	9,0551	5,1998	5,2554	2,1035	3,3279	0,0029	0,2159
57	4,3897	5,0979	19,2901	0,9913	2,9569	0,3158	0,1026	0,5647	0,4145
58	4,9355	0,7058	10,5251	0,8722	6,3599	0,3279	0,0296	0,1053	0,0332
59	0,7531	7,0454	4,0106	11,0518	13,3634	1,8685	2,7646	0,3532	0,4041
60	4,354	14,6757	5,2492	13,0587	6,7777	2,5815	1,8685	0,173	0,6432
61	9,9178	2,4808	16,2638	4,793	6,455	0,0881	2,5815	0,3852	0,5896
62	2,8992	5,0979	8,4531	1,242	13,3634	0,9318	0,0881	3,9322	0,2159

63	12,8553	0,7058	7,7805	0,5801	1,2872	0,6515	0,9318	0,0004	0,4145
64	1,6724	7,0454	3,4655	3,9688	10,846	0,0806	0,6515	0,0004	0,1313
65	6,0627	5,4905	5,1287	5,9856	7,1325	0,7839	0,0806	6,1066	0,1029
66	7,2349	11,4054	4,0074	2,8988	0,3627	0,7839	0,7839	0,332	0,0332
67	5,8289	8,1447	1,4615	6,7487	8,2394	4,9107	3,3279	0,8629	0,4041
68	14,0426	11,0828	2,3531	1,3404	7,7589	0,004	0,1026	1,2022	0,6432
69	9,1644	3,6759	10,9357	5,1998	6,4	0,3636	0,0296	1,1391	0,5896
70	11,1432	7,7781	7,6012	6,0327	3,0203	1E-04	1,8685	0,3553	0,2159
71	35,7122	11,2193	7,0338	5,9856	2,2228	1,8685	2,5815	1,7731	0,4145
72	9,2023	6,1541	12,1715	2,8988	5,2554	2,5815	0,0881	0,0029	0,1313
73	4,3897	14,6757	5,4396	6,7487	2,9569	0,0881	0,9318	0,5647	9,6051
74	4,9355	2,4808	6,3172	1,3404	6,3599	0,9318	0,6515	0,1053	4,7675
75	11,1432	5,0979	2,3835	5,1998	13,3634	0,6515	0,0806	0,3532	0,8467
76	35,7122	0,7058	1,9459	0,4329	13,3634	0,0806	0,7839	0,173	-0,9806
77	9,2023	7,0454	4,2394	5,454	1,2872	0,7839	3,392	0,3852	0,0053
78	4,3897	5,8288	11,056	1,789	10,846	0,9318	3,3279	3,9322	0,3791
79	4,9355	0,3394	6,3172	0,1259	7,1325	0,6515	0,1026	0,0004	0,1029
80	6,3195	7,1425	2,3835	3,4818	0,3627	0,0806	0,0296	6,1066	0,0332
81	9,6839	7,6758	1,9459	0,9913	8,2394	0,7839	2,7646	0,332	0,4041
82	3,9098	6,2957	4,2394	0,8722	7,7589	4,9107	0,5408	0,8629	0,6432
83	6,6942	3,0193	11,056	11,0518	6,4	0,004	0,0513	1,2022	0,5896
84	3,56	11,3939	3,3473	13,0587	3,0203	0,3636	0,5417	1,1391	0,2159
85	11,9615	7,6521	0,7122	4,793	7,7819	1E-04	0,627	0,3553	0,4145
86	10,2108	11,2862	9,0551	1,242	2,2228	2,1035	0,0006	1,7731	0,1313
87	4,4063	8,8357	19,2901	0,5801	5,2554	0,3158	0,0019	0,0029	9,6051
88	14,0426	0,133	10,5251	3,9688	2,9569	0,3279	3,392	0,5647	4,7675
89	9,1644	11,2193	4,0106	5,9856	6,3599	1,8685	1,8685	0,1053	0,8467
90	11,1432	6,1541	5,4396	2,8988	13,3634	2,5815	2,5815	0,3532	-0,9806
91	35,7122	11,2193	6,3172	6,7487	1,2872	0,0881	0,0881	0,173	0,0053
92	9,2023	6,1541	2,3835	1,3404	10,846	0,9318	0,9318	0,3852	0,3791
93	4,3897	14,6757	1,9459	5,1998	7,1325	0,6515	0,6515	3,9322	0,1029
94	4,9355	2,4808	4,2394	6,0327	0,3627	0,0806	0,0806	0,8629	0,0332
95	3,6501	5,0979	11,056	4,6898	8,2394	0,7839	0,7839	1,2022	0,4041
96	0,9961	0,7058	4,0074	5,6519	2,2228	0,7839	0,627	1,1391	0,6432
97	4,1545	7,0454	1,4615	6,2484	5,2554	4,9107	0,0006	0,3553	0,5896
98	13,5869	8,1447	2,3531	4,1931	2,9569	0,004	0,0019	1,7731	0,2159
99	16,4499	11,0828	10,9357	2,1564	6,3599	0,3636	3,392	0,0029	0,4145
100	6,0204	3,6759	7,6012	0,4329	13,3634	1E-04	3,3279	0,5647	0,1313
101	3,6747	7,7781	7,0338	5,9856	6,144	2,1035	0,1026	0,1053	9,6051
102	0,7531	2,3194	12,1715	2,8988	2,9569	0,3158	0,0296	0,3532	4,7675
103	4,354	14,7062	0,8343	6,7487	6,3599	0,3279	2,7646	0,173	0,8467
104	9,9178	7,4772	9,8015	1,3404	13,3634	0,1879	0,5408	0,3852	-0,9806
105	14,0426	11,2193	7,0891	5,1998	1,2872	1,8685	0,0513	3,9322	0,0053
106	9,1644	6,1541	0,1919	0,8722	10,846	1,8685	0,5417	0,0004	0,3791
107	11,1432	14,6757	2,0988	11,0518	7,1325	2,5815	0,627	0,3852	0,1029
108	35,7122	2,4808	5,4396	13,0587	0,3627	0,0881	0,0006	3,9322	0,0332
109	9,2023	5,0979	6,3172	4,793	8,2394	0,9318	0,0019	0,8629	0,4041
110	4,3897	0,7058	2,3835	1,242	7,7589	0,6515	3,392	1,2022	0,0332
111	4,9355	7,0454	5,4396	5,9856	6,4	0,0806	1,8685	1,1391	0,4041
112	2,1766	7,6758	6,3172	2,8988	3,0203	0,7839	2,5815	0,3553	0,6432
113	2,2583	6,2957	2,3835	6,7487	13,3634	0,004	0,0881	1,7731	0,5896
114	2,162	3,0193	1,9459	1,3404	1,2872	1,8685	0,9318	0,0029	0,2159
115	5,3541	11,3939	4,2394	5,1998	2,2228	2,5815	0,6515	0,5647	0,4145
116	14,0426	7,6521	11,056	6,2522	5,2554	0,0881	0,0806	0,1053	0,1313
117	9,1644	11,2862	19,2901	5,1998	2,9569	0,9318	0,7839	0,3532	0,1111
118	11,1432	8,8357	10,5251	6,0327	6,3599	0,6515	0,627	0,173	-0,9806
119	35,7122	0,133	4,0106	4,6898	13,3634	0,0806	0,0006	0,3852	0,0053
120	9,2023	11,2193	5,2492	5,6519	8,2394	0,7839	0,0019	3,9322	0,3791

## **Anexo Ñ. Tabla de datos y valores del estadístico $T^2$ para matrices de covarianza $S_1$ y $S_2$ .**

### **Paso 2.1. Medición Estadístico $T^2$ de Hotelling**

Los valores del estadístico  $T^2$  hallados al aplicar la ecuación 10 mediante las matrices de covarianza  $S_1$  y  $S_2$ .

Para la construcción del gráfico de control  $T^2$ , el tamaño del subgrupo es  $n=l$ . Para características múltiples se establece  $T^2$  para  $m$  muestras de tamaño  $n=l$  y  $p$  características, según la ecuación 10:

$$T^2 = (\bar{x} - \bar{\bar{x}})' S^{-1} (\bar{x} - \bar{\bar{x}}); \text{ siendo } \bar{\bar{x}} = (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_p)^T \quad (10)$$

Donde:

$x$  = vector de las observaciones registradas para cada una de las  $p$  características.

$\bar{x}$  = vector de la media de cada una de las  $p$  características.

$S$  = matriz de covarianza muestral.

El primer término se calcula como el vector transpuesto de la diferencia entre cada observación de la característica  $p$  y su media, el segundo corresponde a la matriz inversa de la covarianza y el tercer al vector la diferencia entre cada observación de la característica  $p$  y su media.

Para el caso de las observaciones individuales corresponde la matriz de covarianza, se realiza a través de dos estimadores que son comparados con el fin de inferir cuál es más sensible ante cambios en la media. El primer estimador  $S_1$ , se obtiene mediante la agrupación de las  $m$  observaciones. El segundo estimador  $S_2$ , establece la diferencia entre pares de observaciones sucesivas. Donde  $V$  es el vector conformado por las diferencias entre dos observaciones sucesivas correspondientes a cada una de las  $p$  características.

**Anexo Ñ. Tabla de datos y valores del estadístico  $T^2$  para matrices de covarianza  $S_1$  y  $S_2$ . Empresa piloto uno.**

MUESTRA	ERRORES DE PREDICCIÓN ACIDEZ ( $X_1$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN SÓLIDOS NO GRASOS ( $X_2$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN SÓLIDOS TOTALES ( $X_3$ )	DATOS ORIGINALES MÉSOFILOS AEROBIOS ( $X_4$ )	$T_2(S_1)$	$T_2(S_2)$
1	0,0133	-0,1603	0,1289	100	4,7504	4,8363
2	-0,0092	-0,0335	-0,4074	170	6,7841	7,5496
3	-0,0034	-0,0450	-0,1663	98	1,3442	1,4290
4	0,0067	0,1009	0,1584	150	2,3806	2,4428
5	-0,0246	0,0699	0,4066	109	5,9037	5,9648
6	0,0167	0,0839	-0,0898	43	5,7823	6,5776
7	0,0302	-0,0123	-0,4277	110	5,6455	5,9807
8	-0,0018	0,0420	0,0787	125	0,4252	0,4144
9	0,0182	0,1418	-0,0599	173	4,8081	4,8880
10	0,0105	0,0074	0,1371	82	2,3499	2,6967
11	-0,0176	0,0249	0,0942	76	2,6404	2,7167
12	0,0224	0,0042	-0,0717	173	2,5343	2,7079
13	0,0185	0,2104	0,4051	90	11,2575	11,9123
14	0,0117	-0,0849	-0,1979	135	1,7444	1,7188
15	0,0312	0,0499	0,0125	151	2,8242	3,1987
16	0,0138	-0,0020	-0,1042	82	1,7392	2,0264
17	-0,0059	-0,0036	0,0320	125	0,1341	0,1505
18	0,0084	0,0146	-0,0304	117	0,2079	0,2412
19	0,0317	-0,0184	-0,1501	100	2,8122	3,3338
20	0,0098	-0,0306	-0,2496	150	2,1012	2,1702
21	0,0118	0,1968	0,0223	172	6,5105	6,4778
22	0,0135	0,0188	0,1295	209	5,3904	5,9194
23	0,0066	-0,0114	-0,0336	158	0,7797	0,8540
24	0,0058	-0,0048	-0,3818	134	3,8277	3,3996
25	-0,0261	-0,1498	0,0305	110	11,6359	3,2650
26	-0,0089	-0,0744	-0,0023	90	1,6324	1,6759
27	-0,0033	-0,0622	-0,2424	96	2,3426	2,4805
28	-0,0165	-0,1452	-0,2758	150	5,3722	5,8925
29	-0,0125	-0,0656	-0,2955	130	3,3415	3,7194
30	0,0046	-0,0534	0,0021	127	0,3018	0,2893
31	0,0323	-0,0847	-0,3179	240	13,5046	14,0655
32	0,0236	0,1238	0,0301	130	3,0045	3,2119
33	-0,0001	-0,0479	-0,1405	140	0,8213	0,8772
34	0,0003	0,0426	0,1529	116	0,9571	0,9769
35	-0,0030	-0,0037	0,0855	137	0,3021	0,3348
36	0,0227	0,0553	-0,0618	188	4,1231	4,3853
37	0,0174	0,0268	0,2790	100	3,9401	4,4976
38	-0,0119	0,0786	0,3444	79	5,541	5,6154
39	0,0107	0,0229	-0,1429	165	1,8813	1,9861
40	0,0256	0,0675	-0,0752	141	2,1013	2,2886
41	-0,0123	-0,1066	-0,2605	98	3,7477	3,9855
42	-0,0091	0,0782	-0,0129	151	1,6769	1,8032
43	-0,0234	-0,0842	-0,2196	110	3,6872	4,1695
44	0,0182	-0,0986	-0,1946	148	2,5639	2,5300
45	0,0113	-0,0533	0,0803	154	1,2535	1,3278
46	-0,0028	-0,0691	0,1008	105	1,1892	1,1886
47	0,0003	0,0483	-0,0359	91	1,0742	1,1192
48	0,0294	0,2094	-0,1476	81	8,1232	8,5733
49	0,0388	-0,1374	-0,0936	120	5,4817	5,9057
50	0,0279	0,1506	-0,0139	119	4,2	4,4963
51	0,0167	0,0204	0,3245	213	8,3577	9,1447
52	-0,0006	0,0230	-0,4003	43	8,1235	8,7788
53	-0,0130	-0,0275	0,0761	108	0,8252	0,8601
54	0,0218	-0,0833	-0,1311	130	1,8725	1,9258
55	0,0178	0,0023	0,2506	110	3,1459	3,6063

56	-0,0074	-0,1374	0,2142	162	4,0108	4,1165
57	-0,0147	0,1125	0,0532	106	2,4045	2,3242
58	-0,0332	-0,0447	0,1296	89	3,9051	4,1890
59	-0,0123	0,1496	-0,1003	103	3,9191	3,8192
60	0,0180	0,0980	-0,0460	126	1,7956	1,8738
61	-0,0608	0,0134	0,1232	100	9,1914	10,4918
62	-0,0050	-0,0818	-0,1319	104	1,4222	1,4635
63	0,0002	-0,0620	0,2005	163	2,2778	2,4308
64	0,0246	-0,0174	-0,1739	90	2,5004	2,9166
65	0,0202	-0,0057	-0,0085	80	2,3478	2,8508
66	0,0196	-0,0597	-0,2999	95	3,3837	3,6200
67	0,0362	0,1816	0,3319	110	10,425	11,6555
68	-0,0283	-0,0659	-0,1369	111	3,2077	3,7284
69	-0,0176	-0,0506	0,0686	92	1,1861	1,9347
70	-0,0078	0,0603	0,1387	188	3,7031	4,1584
71	0,0007	-0,0087	0,0675	105	0,4712	0,5010
72	0,0246	0,0888	0,0073	170	3,5477	3,7807
73	0,0135	-0,1688	0,0800	110	4,2633	4,2339
74	0,0206	0,0367	0,3904	117	6,0791	6,8215
75	-0,0194	-0,0403	0,3212	91	4,4946	4,5719
76	0,0137	0,0010	0,0092	145	0,6186	0,6904
77	-0,0264	-0,1256	0,0045	67	5,6001	5,8497
78	-0,0014	-0,1249	-0,0949	148	2,0343	2,0327
79	-0,0175	-0,0996	0,0222	100	2,4513	2,4256
80	-0,0027	-0,1189	0,0257	148	1,7404	1,7299
81	0,0133	0,0371	-0,1341	106	1,0497	1,1517
82	-0,0294	-0,0842	-0,1159	131	3,3824	4,0317
83	-0,0066	0,0381	0,0853	85	1,5936	1,6341
84	-0,0053	0,0474	-0,0240	153	1,0697	1,9226
85	0,0279	0,1158	-0,3749	110	6,2718	6,5165
86	0,0186	0,0332	-0,3400	80	4,4422	4,8313
87	-0,0115	-0,0457	0,0798	54	4,2448	4,4890
88	0,0321	0,0206	-0,1483	90	3,2532	3,9128
89	-0,0242	0,0932	0,2006	102	3,592	3,5814
90	-0,0241	0,0141	0,2284	102	2,8842	2,9680
91	0,0441	-0,0632	-0,2402	130	5,2729	5,7914
92	-0,0025	0,1390	-0,4138	114	7,5401	7,6820
93	-0,0253	-0,0389	0,1078	129	1,9944	2,2408
94	-0,0103	-0,2591	-0,0418	73	9,6514	9,4761
95	-0,0339	0,0079	-0,0515	135	3,3122	4,0567
96	-0,0014	-0,1644	0,0590	148	3,209	3,1033
97	0,0129	0,0882	-0,0662	120	1,3348	1,3565
98	0,0025	0,1029	0,2182	109	2,7227	2,7582
99	0,0037	-0,1127	0,0776	224	7,478	8,1411
100	-0,0032	-0,0772	-0,2087	138	1,808	1,9208
101	-0,0455	-0,1137	-0,1220	97	7,3769	8,4503
102	0,0094	-0,0543	0,1043	106	1,2942	1,4142
103	0,0103	0,0174	0,2736	110	2,8464	3,1437
104	0,0312	0,1099	-0,3159	125	5,4314	5,6602
105	-0,0002	0,0847	0,1415	138	1,4992	1,4967
106	-0,0064	0,0435	0,2015	132	1,3756	1,4075
107	-0,0285	-0,2110	0,1990	156	7,7393	8,1045
108	-0,0053	-0,0511	-0,1857	122	1,2213	1,3213
109	-0,0008	0,0496	0,2483	100	2,4898	2,5850
110	0,0149	0,1282	-0,0199	114	2,4116	2,4490
111	0,0228	-0,1810	-0,1482	157	5,3261	5,1427
112	-0,0007	0,0284	0,2019	174	2,6201	2,8866
113	0,0053	0,0878	-0,0983	64	3,4798	3,7316
114	-0,0012	-0,1430	0,0850	122	2,4854	2,3721
115	-0,0151	-0,1511	0,0565	110	3,2081	3,1786
116	-0,0131	-0,0182	-0,5111	112	7,9946	8,7005
117	0,0539	-0,1899	-0,2104	103	11,3199	12,2481
118	0,0133	0,0841	0,2264	159	3,3813	3,6218
119	-0,0055	0,0149	-0,0538	157	1,0186	1,1994
120	0,0089	0,0060	-0,4586	122	5,3703	5,5880
121	-0,0167	-0,1465	-0,1127	100	3,6548	3,7663

122	-0,0019	0,1558	0,0518	90	3,6666	3,5366
123	-0,0134	0,0773	-0,1706	129	2,5016	2,6836
124	-0,0127	0,0069	0,0132	170	1,8725	2,2738
125	0,0133	-0,1339	0,0753	168	3,5341	3,5401
126	-0,0162	-0,0194	-0,0759	141	1,3216	1,6011
127	-0,0544	0,0125	0,2972	230	15,5329	18,7113
128	-0,0001	-0,2141	-0,0595	135	4,8889	4,6291
129	0,0307	-0,1333	-0,0885	163	4,698	4,7497
130	-0,0030	0,1355	-0,2736	152	5,5492	5,6859
131	-0,0382	0,0132	-0,1283	192	8,2158	10,1429
132	-0,0331	-0,0003	-0,2509	127	5,292	6,2751
133	0,0210	-0,0407	-0,1875	110	1,7378	1,9042
134	0,0234	0,0193	-0,2093	117	1,9404	2,1260
135	0,0152	0,0321	-0,0564	49	4,4584	5,1765
136	-0,0477	0,0357	0,1461	117	5,8563	6,6637
137	0,0073	-0,0286	0,0963	72	2,6772	3,0117
138	0,0185	-0,0511	0,1386	145	1,9855	2,1800
139	-0,0184	0,1056	-0,0337	120	2,5417	2,6060
140	-0,0385	-0,0344	0,1222	176	5,4735	6,7580
141	0,0016	0,0263	0,2022	142	1,3636	1,4505
142	-0,0288	-0,0610	0,0876	90	3,2616	3,4898
143	0,0102	0,0222	0,1753	69	3,6834	4,1798
144	0,0042	0,0872	0,2987	71	5,583	5,9707
145	-0,0105	0,0714	0,0940	140	1,3154	1,3606
146	0,0009	-0,1088	0,3514	39	11,1648	11,9122
147	-0,0189	-0,0793	0,0506	77	3,1603	3,2823
148	-0,0072	0,1465	-0,2437	98	5,0887	5,0728
149	0,0069	0,0938	-0,0947	151	2,0795	2,0792
150	-0,0130	-0,2270	0,1663	105	7,264	7,0342
151	-0,0057	-0,0978	0,3902	110	5,735	5,8482
152	-0,0140	0,1737	0,1103	167	5,7859	5,9189
153	-0,0097	-0,0527	-0,0707	102	0,9966	1,0599
154	0,0457	-0,0321	-0,0876	176	6,1431	6,7082
155	0,0050	0,0221	0,2485	195	4,7499	5,2270
156	-0,0228	-0,0727	0,0196	162	2,6242	3,1950
157	-0,0052	-0,0512	-0,1673	180	3,2056	3,6485
158	-0,0130	0,1597	0,1785	29	10,0325	10,2465
159	0,0006	-0,0646	-0,3877	97	4,4852	4,7290
160	-0,0237	0,0327	0,1963	98	2,7713	2,8342
161	0,0421	0,1056	-0,0710	154	5,5754	6,1504
162	0,0512	-0,1468	0,0892	172	10,2962	11,0944
163	0,0327	-0,0116	0,3060	140	5,9912	6,8843
164	0,0220	-0,0600	-0,1422	139	1,69	1,7492
165	0,0152	-0,0077	0,0578	110	0,8862	1,0783
166	0,0343	-0,0868	0,2032	210	9,2921	9,9927
167	-0,0366	0,1030	-0,1191	74	7,0568	7,5088
168	0,0031	0,0474	0,1216	131	0,7443	0,7667
169	0,0205	-0,0481	-0,4683	96	6,2221	6,5407
170	0,0006	0,2554	-0,3787	128	12,4819	12,2518
171	-0,0266	0,0191	0,2098	189	5,2109	6,1526
172	-0,0307	0,1020	0,2259	203	8,6634	9,9040
173	-0,0318	-0,0085	0,0367	166	3,706	4,6380
174	0,0061	-0,0346	0,1789	146	1,3854	1,4838
175	-0,0174	-0,0035	0,2972	200	6,0915	6,9419
176	-0,0076	0,0714	-0,0006	157	1,6852	1,8379
177	0,0407	-0,0442	-0,2423	91	5,2842	6,1221
178	0,0054	-0,1872	0,0366	127	3,9556	3,7398
179	0,0121	-0,0296	-0,0963	104	0,7755	0,8764
180	-0,0081	0,0184	0,1084	103	0,8728	0,8752

**Anexo Ñ1. Tabla de datos y valores del estadístico  $T^2$  para matrices de covarianza  $S_1$  y  $S_2$ . Empresa piloto dos.**

MUESTRA	ERRORES DE PREDICCIÓN ACIDEZ ( $X_1$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN SÓLIDOS ( $X_2$ )	DATOS ORIGINALES MÉSOFILOS ( $X_3$ )	T2 (S1)	T2(S2)
1	0,0089	-0,4586	122	5,3703	5,5880
2	-0,0167	-0,1127	100	3,6548	3,7663
3	-0,0019	0,0518	90	3,6666	3,5366
4	-0,0134	-0,1706	129	2,5016	2,6836
5	-0,0127	0,0132	170	1,8725	2,2738
6	0,0133	0,0753	168	3,5341	3,5401
7	-0,0162	-0,0759	141	1,3216	1,6011
8	-0,0544	0,2972	230	15,5329	18,7113
9	-0,0001	-0,0595	135	4,8889	4,6291
10	0,0307	-0,0885	163	4,698	4,7497
11	-0,0030	-0,2736	152	5,5492	5,6859
12	-0,0382	-0,1283	192	8,2158	10,1429
13	-0,0331	-0,2509	127	5,292	6,2751
14	0,0210	-0,1875	110	1,7378	1,9042
15	0,0234	-0,2093	117	1,9404	2,1260
16	0,0152	-0,0564	49	4,4584	5,1765
17	-0,0477	0,1461	117	5,8563	6,6637
18	0,0073	0,0963	72	2,6772	3,0117
19	0,0185	0,1386	145	1,9855	2,1800
20	-0,0184	-0,0337	120	2,5417	2,6060
21	-0,0385	0,1222	176	5,4735	6,7580
22	0,0016	0,2022	142	1,3636	1,4505
23	-0,0288	0,0876	90	3,2616	3,4898
24	0,0102	0,1753	69	3,6834	4,1798
25	0,0042	0,2987	71	5,583	5,9707
26	-0,0105	0,0940	140	1,3154	1,3606
27	0,0009	0,3514	39	11,1648	11,9122
28	-0,0189	0,0506	77	3,1603	3,2823
29	-0,0072	-0,2437	98	5,0887	5,0728
30	0,0069	-0,0947	151	2,0795	2,0792
31	-0,0130	0,1663	105	7,264	7,0342
32	-0,0057	0,3902	110	5,735	5,8482
33	-0,0140	0,1103	167	5,7859	5,9189
34	-0,0097	-0,0707	102	0,9966	1,0599
35	0,0457	-0,0876	176	6,1431	6,7082
36	0,0050	0,2485	195	4,7499	5,2270
37	-0,0228	0,0196	162	2,6242	3,1950
38	-0,0052	-0,1673	180	3,2056	3,6485
39	-0,0130	0,1785	29	10,0325	10,2465
40	0,0006	-0,3877	97	4,4852	4,7290
41	-0,0237	0,1963	98	2,7713	2,8342
42	0,0421	-0,0710	154	5,5754	6,1504
43	0,0512	0,0892	172	10,2962	11,0944
44	0,0327	0,3060	140	5,9912	6,8843
45	0,0220	-0,1422	139	1,69	1,7492
46	0,0152	0,0578	110	0,8862	1,0783
47	0,0343	0,2032	210	9,2921	9,9927
48	-0,0366	-0,1191	74	7,0568	7,5088
49	0,0031	0,1216	131	0,7443	0,7667
50	0,0205	-0,4683	96	6,2221	6,5407
51	0,0006	-0,3787	128	12,4819	12,2518
52	-0,0266	0,2098	189	5,2109	6,1526
53	-0,0307	0,2259	203	8,6634	9,9040
54	-0,0318	0,0367	166	3,706	4,6380
55	0,0061	0,1789	146	1,3854	1,4838
56	-0,0174	0,2972	200	6,0915	6,9419
57	-0,0076	-0,0006	157	1,6852	1,8379
58	0,0407	-0,2423	91	5,2842	6,1221
59	0,0054	0,0366	127	3,9556	3,7398

60	0,0121	-0,0963	104	0,7755	0,8764
61	-0,0081	0,1084	103	0,8728	0,8752
62	-0,0050	-0,1319	104	1,4222	1,4635
63	0,0002	0,2005	163	2,2778	2,4308
64	0,0246	-0,1739	90	2,5004	2,9166
65	0,0202	-0,0085	80	2,3478	2,8508
66	0,0196	-0,2999	95	3,3837	3,6200
67	0,0362	0,3319	110	10,425	11,6555
68	-0,0283	-0,1369	111	3,2077	3,7284
69	-0,0176	0,0686	92	1,1861	1,9347
70	-0,0078	0,1387	188	3,7031	4,1584
71	0,0007	0,0675	105	0,4712	0,5010
72	0,0246	0,0073	170	3,5477	3,7807
73	0,0135	0,0800	110	4,2633	4,2339
74	0,0206	0,3904	117	6,0791	6,8215
75	-0,0194	0,3212	91	4,4946	4,5719
76	0,0137	0,0092	145	0,6186	0,6904
77	-0,0264	0,0045	67	5,6001	5,8497
78	-0,0014	-0,0949	148	2,0343	2,0327
79	-0,0175	0,0222	100	2,4513	2,4256
80	-0,0027	0,0257	148	1,7404	1,7299
81	0,0133	-0,1341	106	1,0497	1,1517
82	-0,0294	-0,1159	131	3,3824	4,0317
83	-0,0066	0,0853	85	1,5936	1,6341
84	-0,0053	-0,0240	153	1,0697	1,9226
85	0,0279	-0,3749	110	6,2718	6,5165
86	0,0186	-0,3400	80	4,4422	4,8313
87	-0,0115	0,0798	54	4,2448	4,4890
88	0,0321	-0,1483	90	3,2532	3,9128
89	-0,0242	0,2006	102	3,592	3,5814
90	-0,0241	0,2284	102	2,8842	2,9680
91	0,0441	-0,2402	130	5,2729	5,7914
92	-0,0025	-0,4138	114	7,5401	7,6820
93	-0,0253	0,1078	129	1,9944	2,2408
94	-0,0103	-0,0418	73	9,6514	9,4761
95	-0,0339	-0,0515	135	3,3122	4,0567
96	-0,0014	0,0590	148	3,209	3,1033
97	0,0129	-0,0662	120	1,3348	1,3565
98	0,0025	0,2182	109	2,7227	2,7582
99	0,0037	0,0776	224	7,478	8,1411
100	-0,0032	-0,2087	138	1,808	1,9208
101	-0,0455	-0,1220	97	7,3769	8,4503
102	0,0094	0,1043	106	1,2942	1,4142
103	0,0103	0,2736	110	2,8464	3,1437
104	0,0312	-0,3159	125	5,4314	5,6602
105	-0,0002	0,1415	138	1,4992	1,4967
106	-0,0064	0,2015	132	1,3756	1,4075
107	-0,0285	0,1990	156	7,7393	8,1045
108	-0,0053	-0,1857	122	1,2213	1,3213
109	-0,0008	0,2483	100	2,4898	2,5850
110	0,0149	-0,0199	114	2,4116	2,4490
111	0,0228	-0,1482	157	5,3261	5,1427
112	-0,0007	0,2019	174	2,6201	2,8866
113	0,0053	-0,0983	64	3,4798	3,7316
114	-0,0012	0,0850	122	2,4854	2,3721
115	-0,0151	0,0565	110	3,2081	3,1786
116	-0,0131	-0,5111	112	7,9946	8,7005
117	0,0539	-0,2104	103	11,3199	12,2481
118	0,0133	0,2264	159	3,3813	3,6218
119	-0,0055	-0,0538	157	1,0186	1,1994
120	0,0089	-0,4586	122	5,3703	5,5880

## Anexo O. Tabla de datos y valores del estadístico $T^2$ sin causas asignables.

### Medición del estadístico $T^2$ de Hotelling

Para la construcción del segundo gráfico de control, después de eliminar las 2 causas asignables de variación, el tamaño del subgrupo fue  $n = 1$ , el número de muestras  $m = 178$  y  $p = 4$  características y las dos estimaciones de las matrices de covarianzas que se muestran a continuación.

### Anexo O. Tabla de datos y valores del estadístico $T^2$ sin causas asignables. Empresa piloto uno.

MUESTRA	ERRORES DE PREDICCIÓN ACIDEZ ( $X_1$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN SÓLIDOS NO GRASOS ( $X_2$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN SÓLIDOS TOTALES ( $X_3$ )	DATOS ORIGINALES MÉSOFILOS AEROBIOS ( $X_4$ )	$T_2(S_1)$	$T_2(S_2)$
1	0,0133	-0,1603	0,1289	100	4,7131	4,8451
2	-0,0092	-0,0335	-0,4074	170	7,0334	7,9862
3	-0,0034	-0,0450	-0,1663	98	1,2862	1,4331
4	0,0067	0,1009	0,1584	150	2,4134	2,5346
5	-0,0246	0,0699	0,4066	109	6,0727	6,2831
6	0,0167	0,0839	-0,0898	43	5,6049	6,9255
7	0,0302	-0,0123	-0,4277	110	5,7934	6,2313
8	-0,0018	0,0420	0,0787	125	0,4374	0,4308
9	0,0182	0,1418	-0,0599	173	4,7815	5,0181
10	0,0105	0,0074	0,1371	82	2,2542	2,802
11	-0,0176	0,0249	0,0942	76	2,4955	2,7991
12	0,0224	0,0042	-0,0717	173	2,5222	2,9145
13	0,0185	0,2104	0,4051	90	11,3964	12,0417
14	0,0117	-0,0849	-0,1979	135	1,8303	1,8308
15	0,0312	0,0499	0,0125	151	2,7543	3,1739
16	0,0138	-0,0020	-0,1042	82	1,6499	2,1027
17	-0,0059	-0,0036	0,0320	125	0,1432	0,1689
18	0,0084	0,0146	-0,0304	117	0,1874	0,2221
19	0,0317	-0,0184	-0,1501	100	2,8022	3,4706
20	0,0098	-0,0306	-0,2496	150	2,2058	2,351
21	0,0118	0,1968	0,0223	172	6,5253	6,6706
22	0,0135	0,0188	0,1295	209	5,3364	6,3987
23	0,0066	-0,0114	-0,0336	158	0,8219	0,9915
24	0,0058	-0,0048	-0,3818	134	3,9587	4,1109
25	-0,0261	-0,1498	0,0305	110	4,0263	4,2126
26	-0,0089	-0,0744	-0,0023	90	1,5171	1,6653
27	-0,0033	-0,0622	-0,2424	96	2,2986	2,4906
28	-0,0165	-0,1452	-0,2758	150	5,5727	6,1007
29	-0,0125	-0,0656	-0,2955	130	3,4334	3,8059
30	0,0046	-0,0534	0,0021	127	0,3079	0,2906
31	0,0236	0,1238	0,0301	130	2,9229	3,1273
32	-0,0001	-0,0479	-0,1405	140	0,8865	0,9433
33	0,0003	0,0426	0,1529	116	0,9582	0,9846
34	-0,0030	-0,0037	0,0855	137	0,3339	0,3878
35	0,0227	0,0553	-0,0618	188	4,0670	4,6727
36	0,0174	0,0268	0,2790	100	3,9062	4,4983
37	-0,0119	0,0786	0,3444	79	5,5580	5,8264
38	0,0107	0,0229	-0,1429	165	1,9317	2,1887
39	0,0236	0,0675	-0,0752	141	2,0744	2,2591
40	-0,0123	-0,1066	-0,2605	98	3,7033	3,9676
41	-0,0091	0,0782	-0,0129	151	1,7581	1,9846
42	-0,0234	-0,0842	-0,2196	110	3,6582	4,139
43	0,0182	-0,0986	-0,1946	148	2,6744	2,697

44	0,0113	-0,0533	0,0803	154	1,2734	1,3622
45	-0,0028	-0,0691	0,1008	105	1,1399	1,1752
46	0,0003	0,0483	-0,0359	91	0,9968	1,1344
47	0,0294	0,2094	-0,1476	81	8,1257	8,4817
48	0,0388	-0,1374	-0,0936	120	5,5417	6,1074
49	0,0279	0,1506	-0,0139	119	4,1701	4,3899
50	0,0167	0,0204	0,3245	213	8,2636	9,5996
51	-0,0006	0,0230	-0,4003	43	7,8901	8,9487
52	-0,0130	-0,0275	0,0761	108	0,7883	0,8743
53	0,0218	-0,0833	-0,1311	130	1,9194	2,0241
54	0,0178	0,0023	0,2506	110	3,1102	3,579
55	-0,0074	-0,1374	0,2142	162	4,1361	4,2006
56	-0,0147	0,1125	0,0532	106	2,4198	2,3742
57	-0,0332	-0,0447	0,1296	89	3,7798	4,2625
58	-0,0123	0,1496	-0,1003	103	3,9248	3,7871
59	0,0180	0,0980	-0,0460	126	1,7803	1,8196
60	-0,0608	0,0134	0,1232	100	9,1501	10,8096
61	-0,0050	-0,0818	-0,1319	104	1,3833	1,4642
62	0,0002	-0,0620	0,2005	163	2,3474	2,5547
63	0,0246	-0,0174	-0,1739	90	2,4713	3,0487
64	0,0202	-0,0057	-0,0085	80	2,2521	3,0077
65	0,0196	-0,0597	-0,2999	95	3,4215	3,8008
66	0,0362	0,1816	0,3319	110	10,4255	11,5622
67	-0,0283	-0,0659	-0,1369	111	3,1633	3,7063
68	-0,0176	-0,0506	0,0686	92	1,7462	1,9525
69	-0,0078	0,0603	0,1387	188	3,8142	4,6893
70	0,0007	-0,0087	0,0675	105	0,4238	0,4991
71	0,0246	0,0888	0,0073	170	3,4799	3,8683
72	0,0135	-0,1688	0,0800	110	4,2616	4,2311
73	0,0206	0,0367	0,3904	117	6,0822	6,7787
74	-0,0194	-0,0403	0,3212	91	4,4633	4,6897
75	0,0137	0,0010	0,0092	145	0,6194	0,7234
76	-0,0264	-0,1256	0,0045	67	5,3074	5,8498
77	-0,0014	-0,1249	-0,0949	148	2,1437	2,1629
78	-0,0175	-0,0996	0,0222	100	2,4334	2,2345
79	-0,0027	-0,1189	0,0257	148	1,8225	1,7857
80	0,0133	0,0371	-0,1341	106	1,0238	1,1352
81	-0,0294	-0,0842	-0,1159	131	3,4342	4,0916
82	-0,0066	0,0381	0,0853	85	1,5009	1,6918
83	-0,0053	0,0474	-0,0240	153	1,1370	1,3693
84	0,0279	0,1158	-0,3749	110	6,3448	6,521
85	0,0186	0,0332	-0,3400	80	4,4306	4,9737
86	-0,0115	-0,0457	0,0798	54	3,9665	4,6194
87	0,0321	0,0206	-0,1483	90	3,2237	4,0691
88	-0,0242	0,0932	0,2006	102	3,6426	3,7765
89	-0,0241	0,0141	0,2284	102	2,8894	3,0882
90	0,0441	-0,0632	-0,2402	130	5,3579	6,0719
91	-0,0025	0,1390	-0,4138	114	7,6189	7,5904
92	-0,0253	-0,0389	0,1078	129	2,0721	2,2227
93	-0,0103	-0,2591	-0,0418	73	9,4936	9,4666
94	-0,0339	0,0079	-0,0515	135	3,3892	4,2458
95	-0,0014	-0,1644	0,0590	148	3,3092	3,1475
96	0,0129	0,0882	-0,0662	120	1,3247	1,3086
97	0,0025	0,1029	0,2182	109	2,7518	2,8015
98	0,0037	-0,1127	0,0776	224	7,5756	8,8638
99	-0,0032	-0,0772	-0,2087	138	1,9032	2,0298
100	-0,0455	-0,1137	-0,1220	97	7,2099	8,377
101	0,0094	-0,0543	0,1043	106	1,2462	1,4083
102	0,0103	0,0174	0,2736	110	2,8348	3,1399
103	0,0312	0,1099	-0,3159	125	5,4819	5,6556
104	-0,0002	0,0847	0,1415	138	1,5470	1,5758
105	-0,0064	0,0435	0,2015	132	1,4345	1,4881
106	-0,0285	-0,2110	0,1990	156	7,9424	8,1944
107	-0,0053	-0,0511	-0,1857	122	1,2512	1,3488

108	-0,0008	0,0496	0,2483	100	2,4870	2,6409
109	0,0149	0,1282	-0,0199	114	2,4001	2,3821
110	0,0228	-0,1810	-0,1482	157	5,4948	5,4024
111	-0,0007	0,0284	0,2019	174	2,6900	3,1763
112	0,0053	0,0878	-0,0983	64	3,3403	3,7891
113	-0,0012	-0,1430	0,0850	122	2,5026	2,3381
114	-0,0151	-0,1511	0,0565	110	3,1801	3,1194
115	-0,0131	-0,0182	-0,5111	112	8,0938	8,7227
116	0,0539	-0,1899	-0,2104	103	11,5135	12,8598
117	0,0133	0,0841	0,2264	159	3,3818	3,6937
118	-0,0055	0,0149	-0,0538	157	1,0959	1,362
119	0,0089	0,0060	-0,4586	122	5,5156	5,7014
120	-0,0167	-0,1465	-0,1127	100	3,5865	3,7205
121	-0,0019	0,1558	0,0518	90	3,6590	3,5514
122	-0,0134	0,0773	-0,1706	129	2,5514	2,718
123	-0,0127	0,0069	0,0132	170	1,9921	2,6167
124	0,0133	-0,1339	0,0753	168	3,6013	3,6308
125	-0,0162	-0,0194	-0,0759	141	1,3927	1,604
126	-0,0001	-0,2141	-0,0595	135	6,0980	4,6617
127	0,0307	-0,1333	-0,0885	163	10,5676	4,9569
128	-0,0030	0,1355	-0,2736	152	5,6578	5,8113
129	-0,0382	0,0132	-0,1283	192	8,5020	10,98
130	-0,0331	-0,0003	-0,2509	127	5,3361	6,3621
131	0,0210	-0,0407	-0,1875	110	1,7545	2,0006
132	0,0234	0,0193	-0,2093	117	1,9583	2,171
133	0,0152	0,0321	-0,0564	49	4,2714	5,4792
134	-0,0477	0,0357	0,1461	117	5,9360	6,9858
135	0,0073	-0,0286	0,0963	72	2,5340	3,1024
136	0,0185	-0,0511	0,1386	145	1,9709	2,1502
137	-0,0184	0,1056	-0,0337	120	2,5842	2,6757
138	-0,0385	-0,0344	0,1222	176	5,7314	7,349
139	0,0016	0,0263	0,2022	142	1,4035	1,5091
140	-0,0288	-0,0610	0,0876	90	3,1285	3,5002
141	0,0102	0,0222	0,1753	69	3,5652	4,3785
142	0,0042	0,0872	0,2987	71	5,5510	6,2134
143	-0,0105	0,0714	0,0940	140	1,3901	1,5027
144	0,0009	-0,1088	0,3514	39	10,9131	12,3651
145	-0,0189	-0,0793	0,0506	77	2,9651	3,3229
146	-0,0072	0,1465	-0,2437	98	5,0800	4,9796
147	0,0069	0,0938	-0,0947	151	2,1146	2,0476
148	-0,0130	-0,2270	0,1663	105	7,2454	6,9195
149	-0,0057	-0,0978	0,3902	110	5,7670	5,8344
150	-0,0140	0,1737	0,1103	167	5,9618	6,3476
151	-0,0097	-0,0527	-0,0707	102	0,9318	1,0445
152	0,0457	-0,0321	-0,0876	176	6,0576	6,877
153	0,0050	0,0221	0,2485	195	4,7784	5,6551
154	-0,0228	-0,0727	0,0196	162	2,7745	3,4488
155	-0,0052	-0,0512	-0,1673	180	3,3643	4,0604
156	-0,0130	0,1597	0,1785	29	9,8454	10,6981
157	0,0006	-0,0646	-0,3877	97	4,5156	4,8054
158	-0,0237	0,0327	0,1963	98	2,7587	2,95
159	0,0421	0,1056	-0,0710	154	5,4690	6,1131
160	0,0512	-0,1468	0,0892	172	10,2215	11,1874
161	0,0327	-0,0116	0,3060	140	5,9149	6,7687
162	0,0220	-0,0600	-0,1422	139	1,7372	1,8528
163	0,0152	-0,0077	0,0578	110	0,8419	1,0688
164	0,0343	-0,0868	0,2032	210	9,1283	10,2413
165	-0,0366	0,1030	-0,1191	74	6,8713	7,4852
166	0,0031	0,0474	0,1216	131	0,7596	0,7831
167	0,0205	-0,0481	-0,4683	96	6,3598	6,8105
168	0,0006	0,2554	-0,3787	128	12,6236	12,1107
169	-0,0266	0,0191	0,2098	189	5,4563	6,9326
170	-0,0307	0,1020	0,2259	203	8,9816	11,0651
171	-0,0318	-0,0085	0,0367	166	3,8939	5,1131
172	0,0061	-0,0346	0,1789	146	1,4089	1,5136
173	-0,0174	-0,0035	0,2972	200	6,3020	7,6637

---

174	-0,0076	0,0714	-0,0006	157	1,7681	2,0646
175	0,0407	-0,0442	-0,2423	91	5,3311	6,4258
176	0,0054	-0,1872	0,0366	127	4,0151	3,7242
177	0,0121	-0,0296	-0,0963	104	0,7411	0,8845
178	-0,0081	0,0184	0,1084	103	0,8352	0,883

**Anexo O1. Tabla de datos y valores del estadístico  $T^2$  sin causas asignables. Empresa piloto dos.**

MUESTRA	ERRORES DE PREDICCIÓN ACIDEZ ( $X_1$ )	ERRORES DE PREDICCIÓN SOLIDOS ( $X_2$ )	DATOS ORIGINALES MÉSOFILOS ( $X_3$ )	$T_2(S_1)$	$T_2(S_2)$
1	-0,0167	-0,1127	100	3,5865	3,7205
2	-0,0019	0,0518	90	3,6590	3,5514
3	-0,0134	-0,1706	129	2,5514	2,718
4	-0,0127	0,0132	170	1,9921	2,6167
5	0,0133	0,0753	168	3,6013	3,6308
6	-0,0162	-0,0759	141	1,3927	1,604
7	-0,0001	-0,0595	135	6,0980	4,6617
8	0,0307	-0,0885	163	10,5676	4,9569
9	-0,0030	-0,2736	152	5,6578	5,8113
10	-0,0382	-0,1283	192	8,5020	10,98
11	-0,0331	-0,2509	127	5,3361	6,3621
12	0,0210	-0,1875	110	1,7545	2,0006
13	0,0234	-0,2093	117	1,9583	2,171
14	0,0152	-0,0564	49	4,2714	5,4792
15	-0,0477	0,1461	117	5,9360	6,9858
16	0,0073	0,0963	72	2,5340	3,1024
17	0,0185	0,1386	145	1,9709	2,1502
18	-0,0184	-0,0337	120	2,5842	2,6757
19	-0,0385	0,1222	176	5,7314	7,349
20	0,0016	0,2022	142	1,4035	1,5091
21	-0,0288	0,0876	90	3,1285	3,5002
22	0,0102	0,1753	69	3,5652	4,3785
23	0,0042	0,2987	71	5,5510	6,2134
24	-0,0105	0,0940	140	1,3901	1,5027
25	0,0009	0,3514	39	10,9131	12,3651
26	-0,0189	0,0506	77	2,9651	3,3229
27	-0,0072	-0,2437	98	5,0800	4,9796
28	0,0069	-0,0947	151	2,1146	2,0476
29	-0,0130	0,1663	105	7,2454	6,9195
30	-0,0057	0,3902	110	5,7670	5,8344
31	-0,0140	0,1103	167	5,9618	6,3476
32	-0,0097	-0,0707	102	0,9318	1,0445
33	0,0457	-0,0876	176	6,0576	6,877
34	0,0050	0,2485	195	4,7784	5,6551
35	-0,0228	0,0196	162	2,7745	3,4488
36	-0,0052	-0,1673	180	3,3643	4,0604
37	-0,0130	0,1785	29	9,8454	10,6981
38	0,0006	-0,3877	97	4,5156	4,8054
39	-0,0237	0,1963	98	2,7587	2,95
40	0,0421	-0,0710	154	5,4690	6,1131
41	0,0512	0,0892	172	10,2215	11,1874
42	0,0327	0,3060	140	5,9149	6,7687
43	0,0220	-0,1422	139	1,7372	1,8528
44	0,0152	0,0578	110	0,8419	1,0688
45	0,0343	0,2032	210	9,1283	10,2413
46	-0,0366	-0,1191	74	6,8713	7,4852
47	0,0031	0,1216	131	0,7596	0,7831
48	0,0205	-0,4683	96	6,3598	6,8105
49	0,0006	-0,3787	128	12,6236	12,1107

50	-0,0266	0,2098	189	5,4563	6,9326
51	-0,0307	0,2259	203	8,9816	11,0651
52	-0,0318	0,0367	166	3,8939	5,1131
53	0,0061	0,1789	146	1,4089	1,5136
54	-0,0174	0,2972	200	6,3020	7,6637
55	-0,0076	-0,0006	157	1,7681	2,0646
56	0,0407	-0,2423	91	5,3311	6,4258
57	0,0054	0,0366	127	4,0151	3,7242
58	0,0121	-0,0963	104	0,7411	0,8845
59	-0,0081	0,1084	103	0,8352	0,883
60	-0,0608	0,1232	100	9,1501	10,8096
61	-0,0050	-0,1319	104	1,3833	1,4642
62	0,0002	0,2005	163	2,3474	2,5547
63	0,0246	-0,1739	90	2,4713	3,0487
64	0,0202	-0,0085	80	2,2521	3,0077
65	0,0196	-0,2999	95	3,4215	3,8008
66	0,0362	0,3319	110	10,4255	11,5622
67	-0,0283	-0,1369	111	3,1633	3,7063
68	-0,0176	0,0686	92	1,7462	1,9525
69	-0,0078	0,1387	188	3,8142	4,6893
70	0,0007	0,0675	105	0,4238	0,4991
71	0,0246	0,0073	170	3,4799	3,8683
72	0,0135	0,0800	110	4,2616	4,2311
73	0,0206	0,3904	117	6,0822	6,7787
74	-0,0194	0,3212	91	4,4633	4,6897
75	0,0137	0,0092	145	0,6194	0,7234
76	-0,0264	0,0045	67	5,3074	5,8498
77	-0,0014	-0,0949	148	2,1437	2,1629
78	-0,0175	0,0222	100	2,4334	2,2345
79	-0,0027	0,0257	148	1,8225	1,7857
80	0,0133	-0,1341	106	1,0238	1,1352
81	-0,0294	-0,1159	131	3,4342	4,0916
82	-0,0066	0,0853	85	1,5009	1,6918
83	-0,0053	-0,0240	153	1,1370	1,3693
84	0,0279	-0,3749	110	6,3448	6,521
85	0,0186	-0,3400	80	4,4306	4,9737
86	-0,0115	0,0798	54	3,9665	4,6194
87	0,0321	-0,1483	90	3,2237	4,0691
88	-0,0242	0,2006	102	3,6426	3,7765
89	-0,0241	0,2284	102	2,8894	3,0882
90	0,0441	-0,2402	130	5,3579	6,0719
91	-0,0025	-0,4138	114	7,6189	7,5904
92	-0,0253	0,1078	129	2,0721	2,2227
93	-0,0103	-0,0418	73	9,4936	9,4666
94	-0,0339	-0,0515	135	3,3892	4,2458
95	-0,0014	0,0590	148	3,3092	3,1475
96	0,0129	-0,0662	120	1,3247	1,3086
97	0,0025	0,2182	109	2,7518	2,8015
98	0,0037	0,0776	224	7,5756	8,8638
99	-0,0032	-0,2087	138	1,9032	2,0298
100	-0,0455	-0,1220	97	7,2099	8,377
101	0,0094	0,1043	106	1,2462	1,4083
102	0,0103	0,2736	110	2,8348	3,1399
103	0,0312	-0,3159	125	5,4819	5,6556
104	-0,0002	0,1415	138	1,5470	1,5758
105	-0,0064	0,2015	132	1,4345	1,4881
106	-0,0285	0,1990	156	7,9424	8,1944
107	-0,0053	-0,1857	122	1,2512	1,3488
108	-0,0008	0,2483	100	2,4870	2,6409
109	0,0149	-0,0199	114	2,4001	2,3821
110	0,0228	-0,1482	157	5,4948	5,4024
111	-0,0007	0,2019	174	2,6900	3,1763
112	0,0053	-0,0983	64	3,3403	3,7891
113	-0,0012	0,0850	122	2,5026	2,3381

---

114	-0,0151	0,0565	110	3,1801	3,1194
115	-0,0131	-0,5111	112	8,0938	8,7227
116	0,0539	-0,2104	103	11,5135	12,8598
117	0,0133	0,2264	159	3,3818	3,6937
118	-0,0055	-0,0538	157	1,0959	1,362
119	0,0089	-0,4586	122	5,5156	5,7014
120	-0,0167	-0,1127	100	3,5865	3,7205

## Anexo P. Matrices capacidad multivariante del proceso. Empresa piloto uno.

- **MATRIZ DE COVARIANZA S**

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S**

	S1	S2	S3	S4
S1	2488,40351	47,9147054	44,6038065	0,12240279
S2	-47,914705	113,198916	4,26385927	0,0114884
S3	44,6038065	4,26385927	27,3098433	0,01337232
S4	-0,1224028	0,0114884	0,01337232	0,00075744

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S1**

	S2	S3	S4
S2	0,00894777	0,00111037	0,09221853
S3	0,00111037	0,03809704	0,55324838
S4	0,09221853	0,55324838	1340,16935

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S1**

	S2	S3	S4
S2	112,276309	3,40500408	0,00913151
S3	-3,4050041	26,5103349	0,01117829
S4	0,00913151	0,01117829	0,00075142

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S2**

	S1	S3	S4
S1	0,00041875	0,00063428	0,05422949
S3	0,00063428	0,03809704	0,55324838
S4	0,05422949	0,55324838	1340,16935

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S2**

	S1	S3	S4
S1	2468,12223	42,7990051	0,11753999
S3	42,7990051	27,1492366	0,01293959
S4	-0,11754	0,01293959	0,00075627

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S3**

	S1	S2	S4
S1	0,00041875	0,00014785	0,05422949
S2	0,00014785	0,00894777	0,09221853
S4	0,05422949	0,09221853	1340,16935

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S3**

	S1	S2	S4
S1	2415,55433	40,9507564	0,10056244
S2	-40,950756	112,533204	0,00940059
S4	-0,1005624	0,00940059	0,00075089

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S4**

	S1	S2	S3
S1	0,00041875	0,00014785	0,00063428
S2	0,00014785	0,00894777	0,00111037
S3	0,00063428	0,00111037	0,03809704

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S4**

	S1	S2	S3
S1	2468,62309	46,0581683	42,4428258
S2	-46,058168	113,024667	4,06103537
S3	42,4428258	4,06103537	27,0737594

**Anexo P1. Matrices capacidad multivariante del proceso. Empresa piloto dos.**

- **MATRIZ DE COVARIANZA S**

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S**

	S1	S2	S3	S4
S1	2438,40352	48,914712	44,6038065	0,1221027
S2	-48,914712	113,102891	4,28885926	0,0111008
S3	44,8038067	4,28885926	27,1008433	0,037211
S4	-0,1224028	0,0114887	0,013372122	0,000757114

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S1**

	S2	S3	S4
S2	0,008104766	0,00111037	0,09100853
S3	0,00111037	0,03809704	0,55324838
S4	0,09100853	0,55324838	1320,1625

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S1**

	S2	S3	S4
S2	112,126309	3,3405001	0,0092544
S3	-3,3405001	26,5103349	0,01120020
S4	0,0092544	0,01120020	0,00075142

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S2**

	S1	S3	S4
S1	0,000100875	0,00062525	0,05422949
S3	0,00062525	0,03899704	0,5510254
S4	0,05422949	0,5510254	1340,16935

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S2**

	S1	S3	S4
S1	2418,12224	42,7000050	0,11753214
S3	42,7000050	26,1492366	0,01290009
S4	-0,117125	0,01293300	0,00075611

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S3**

	S1	S2	S4
S1	0,00042545	0,00042545	0,05422123
S2	0,00042545	0,00894777	0,09221111
S4	0,05422123	0,09221111	1340,15245

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S3**

	S1	S2	S4
S1	2415,55433	40,950700	0,10025244
S2	-40,950700	112,533204	0,00940000
S4	-0,1005625	0,00940000	0,00075080

- **MATRIZ DE COVARIANZAS S4**

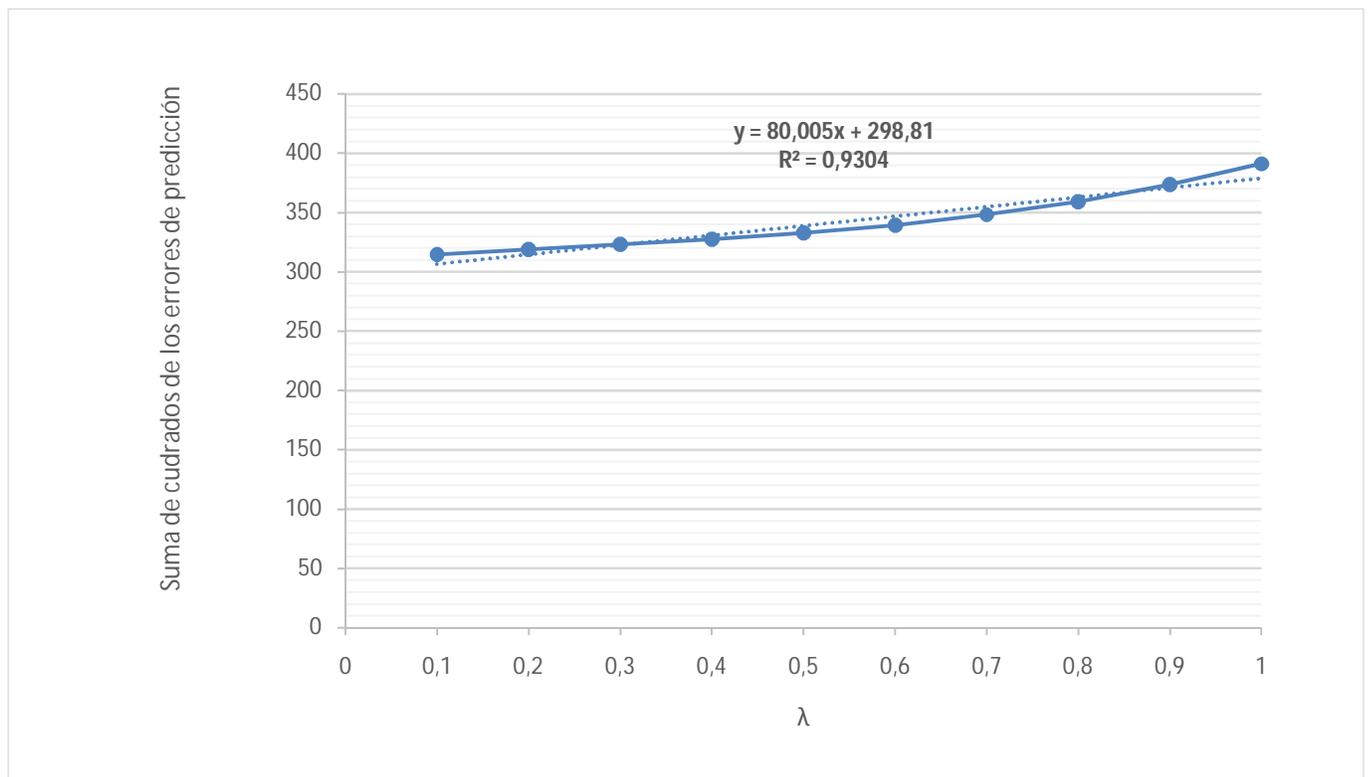
	S1	S2	S3
S1	0,00041875	0,00014100	0,000634228
S2	0,00014155	0,00894776	0,00111032
S3	0,00063422	0,00111032	0,038091404

- **INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS S4**

	S1	S2	S3
S1	2438,403529	46,0581008	42,0028252
S2	-46,0581008	113,024667	4,06103237
S3	42,0028252	4,06103237	25,0737523

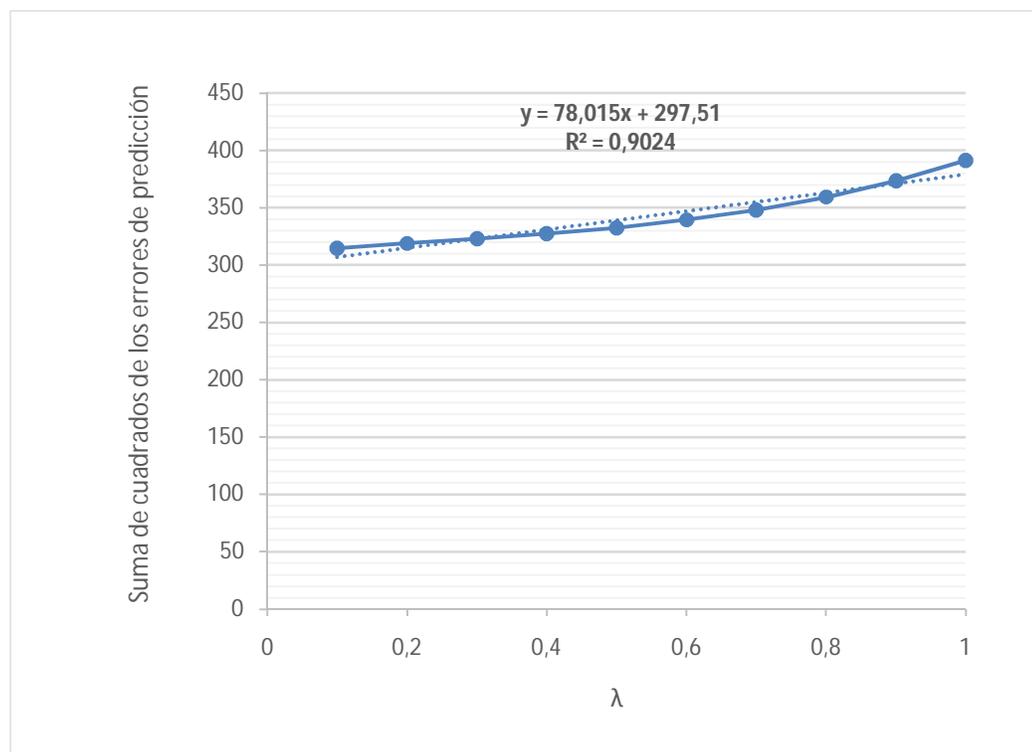
**Anexo Q. Datos análisis mínimos cuadrados valor de  $\lambda$  cálculo punto de ajuste. Empresa piloto uno.**

$\lambda$	SUMA DE CUADRADOS DE PREDICCIÓN
0,1	314,61
0,2	318,89
0,3	323,11
0,4	327,44
0,5	332,65
0,6	339,39
0,7	348,15
0,8	359,34
0,9	373,45
1	391,06



**Anexo Q1. Datos análisis mínimos cuadrados valor de  $\lambda$  cálculo punto de ajuste. Empresa piloto dos.**

$\lambda$	SUMA DE CUADRADOS DE PREDICCIÓN
0,1	315
0,2	319,089
0,3	313,112
0,4	3257,442
0,5	330,652
0,6	339,39
0,7	342,157
0,8	351,349
0,9	372,450
1	390,069



**Anexo R. Datos del proceso de pasteurización para la carta de ajuste.  
Empresa piloto uno.**

Período	Salida Proceso ajustado	EMWA	Tempertura°C	Ajuste Variable
1	0	0,0	60°C	0
2	106	10,6	60°C	0
3	118	21,3	60°C	0
4	120	31,2	60°C	0
5	206	48,7	60°C	0
6	213	65,1	60°C	0
7	216	80,2	60°C	1
8	175	89,7	61°C	1
9	127	93,4	62°C	1
10	98	93,9	63°C	1
11	71	91,6	64°C	0
12	65	88,9	64°C	0
13	8	80,8	64°C	0
14	29	75,7	64°C	0
15	19	70,0	64°C	0
16	71	70,1	64°C	0
17	28	65,9	64°C	0
18	14	60,7	64°C	0
19	17	56,3	64°C	0
20	75	58,2	64°C	0
21	61	58,5	64°C	0
22	103	62,9	64°C	0
23	95	66,1	64°C	0
24	15	61,0	64°C	0
25	25	57,4	64°C	0
26	61	57,8	64°C	0
27	14	53,4	64°C	0
28	19	50,0	64°C	0
29	34	48,4	64°C	0
30	50	48,5	64°C	0
31	75	51,2	64°C	0
32	95	55,6	64°C	0
33	120	62,0	64°C	0
34	97	65,5	64°C	0
35	62	65,2	64°C	0
36	51	63,7	64°C	0
37	43	61,7	64°C	0
38	85	64,0	64°C	0
39	22	59,8	64°C	0
40	10	54,8	64°C	0
41	15	50,8	64°C	0
42	20	47,8	64°C	0
43	44	47,4	64°C	0
44	79	50,5	64°C	0
45	38	49,3	64°C	0
46	12	45,6	64°C	0
47	10	42,0	64°C	0
48	28	40,6	64°C	0
49	5	37,0	64°C	0
50	34	36,7	64°C	0

**Anexo R1. Datos del proceso de pasteurización para la carta de ajuste.  
Empresa piloto dos.**

Período	Salida Proceso ajustado	EMWA	Tempertura°C	Ajuste Variable
1	0	0,0	60°C	0
2	100	10,1	60°C	0
3	115	21,3	60°C	0
4	121	31,2	60°C	0
5	106	48,7	60°C	0
6	213	65,1	60°C	0
7	218	80,2	60°C	0
8	107	89,7	61°C	0
9	112	25,4	62°C	0
10	100	93,9	63°C	0
11	79	91,6	64°C	0
12	60	21,3	64°C	0
13	85	31,2	64°C	0
14	29	48,7	64°C	0
15	19	65,1	64°C	0
16	70	80,2	64°C	0
17	81	65,1	64°C	0
18	16	601	64°C	0
19	14	56,3	64°C	0
20	75	24,4	64°C	0
21	61	58,5	64°C	0
22	100	62,9	64°C	0
23	95	66,1	64°C	0
24	15	61,6	64°C	0
25	12	57,4	64°C	0
26	64	57,8	64°C	0
27	145	53,4	64°C	0
28	19	21,3	64°C	0
29	34	31,2	64°C	0
30	20	48,7	64°C	0
31	75	65,1	64°C	0
32	95	80,2	64°C	0
33	110	62,0	64°C	0
34	97	65,5	64°C	0
35	62	65,2	64°C	0
36	51	63,7	64°C	0
37	43	52,2	64°C	0
38	15	64,4	64°C	0
39	25	55,2	64°C	0
40	15	54,8	64°C	0
41	166	50,8	64°C	0
42	20	47,8	64°C	0
43	44	21,3	64°C	0
44	79	31,2	64°C	0
45	35	48,7	64°C	0
46	12	65,1	64°C	0
47	55	80,2	64°C	0
48	28	40,6	64°C	0
49	7	37,0	64°C	0
50	30	36,7	64°C	0

## **Anexo S: Producción soporte a la presente investigación.**

Zapata, A. “*La certificación de la calidad como estrategia para generar ventaja competitiva*”. 6. International conference on production research Americas. Technologies in logistics and manufacturing for small and medium enterprises, Colombia. 2011.

Zapata, A. “*Diagnóstico de la calidad en el sector empresarial de Manizales*”. Informe de avance Doctorado de Ingeniería, Industria y Organizaciones. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2011.

Zapata, A. “*Modelo de ecuaciones estructurales y su aplicación al estudio de la calidad y la responsabilidad social empresarial*”. XXIV Congreso Internacional de Estrategia Slade, México, 2011.

Zapata, A. “*La calidad y la responsabilidad social empresarial*”. Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas, México, 2011.

Zapata, A. “*La calidad una variable crítica en competitividad en empresas con implantación con modelos de gestión*”. XLVII Asamblea Anual Cladea, Perú, 2012.

Zapata, A. “*Los sistemas de gestión de la calidad y su enfoque al cliente en las industrias de economía emergente de Manizales*”. XVI Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas Acacia, México, 2012.

Zapata, A. “*Control estadístico de la calidad*”. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 2013.

Zapata, A. “*Calidad y responsabilidad social empresarial: un modelo de causalidad*”, Revista Dyna. Universidad Nacional de Colombia, 2013. **Factor de impacto: 0.32**

Zapata, A. “*Efecto de las técnicas de ingeniería de la calidad en el diseño de productos*”, Revista Ingeniería y Universidad, Universidad Javeriana, 2013. **Factor de impacto 0.14**

Zapata, A; Sarache, W.A. y Becerra, F., “*Gestión de la calidad. Hacia un modelo integrado de estándares*”, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, 2013.

Zapata, A. “*La calidad y la responsabilidad social empresarial. Caso de estudio*”. Revista Ciencias Administrativas Teoría y praxis, México, 2013.

Zapata, A., y Sarache, W. “*Mejoramiento de la calidad en la taza de café soluble utilizando el método Taguchi*”. Revista Chilena de Ingeniería. 2014. **Factor de impacto: 0.099**

Zapata, A. y Trujillo, M. “*Metodología para la identificación e intervención de problemas de calidad debido a la variabilidad funcional. Aplicaciones en la mediana empresa del sector de alimentos de Manizales*”. Universidad Nacional de Colombia. 2014 – 2015.

Zapata, A. “*Ciclo de la calidad PHVA*”. Universidad Nacional de Colombia. 2015.

Zapata, A. “*A methodology based on the integration of mspc and epc methods for quality improvement. Application in the medium enterprises of the food industry of Manizales city (Colombia)*”. XIX Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas”. México. 2015.

Zapata, A. “*Metodología integral para el mejoramiento de la calidad mediante la reducción de la variabilidad funcional. Un caso de estudio*”, Información Tecnológica, 2015. **Factor de impacto: 0.1441**

## **Bibliografía.**

Aguwa, C.C., Monplaisir, L. and Turgut, O., “*Voice of the customer: Customer satisfaction ratio based analysis*”, doi: 10.1016/j.eswa.2012.02.07, Expert Systems with Applications, (en línea), 2012, vol. 39(11), p. 10112-10119

Ajaal, T. and Smith, R. “*Employing the Taguchi method in optimizing the scaffold production process for artificial bone grafts*”, Journal of Mechanical and Materials Engineering. 2008, vol. 56, n. 12, p. 25-45.

Ahmadzadeh, F., Lundberg, J. y Strömberg, T., “*Multivariate process parameter change identification by neural network*”, doi:10.1007/s00170-013-5200-x, Int. J. Adv. Manuf. Technol, (en línea), 2013, vol. 69(9-12), p. 2261– 2268.

Akao, Y. “*The method for motivation by quality function deployment (QFD)*”. Nang Yan Business Journal. 2012, vol 1, n.1, p. 1-9.

Akiva, M., and Polydoropoulou, A. “*Incorporating social interaction into hybrid choice models*”. Transportation, v. 41, p. 1263–1285. doi:10.1007/s11116-014-9550 American Customer Satisfaction Index. ACSI Methodology. [En línea] [http://www.theacsi.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=122](http://www.theacsi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=122). 2014.

Albacete, C. A. “*Calidad de servicio en alojamientos rurales*”. Editorial Universidad de Granada. Granada. 2004.

Aljebory, K. M. and Alshebeb, M., “*Integration of Statistical and Engineering Process Control for Quality Improvement. A Case Study: Chemical Industry-National Chlorine Industries*, Jordan J. Mech. Ind. Eng, 2014, vol. 8(4), p. 243–256.

Andaleeb, S. “*Service quality perceptions and patient satisfaction: a study of hospitals in a developing country*”. Social Science and Medicine, 2001. vol. 52, n. 9, p. 1359-1370.

Anderson, N., Öneş, D, Kepir Sinangil, H. ve Viswesvaran C. “*Handbook of Industrial, Work, and Organizational Psychology*”. Organizational Psychology. Stanbul: Literature Publishing.2 009, vol. 2, n. 1, p. 398-415

Antony, J.; Perry, D.; Wang, C. and Kumar, M. “*An application of Taguchi method of experimental design for new product*”. *Assembly Automation journal*. 2006, vol. 26, n. 1, p.18-24.

Aragón, N. “*Gestión de la Calidad II*”. *Memorias de la Maestría Administración de Negocios*. Facultad de Ciencias Empresariales. UCLV. 2001.

Arántegui, J. “*Control de procesos*”. 2011. Disponible en [http://web.udl.es/usuarios/w3511782/Control\\_de\\_procesos/Unidades\\_files/apuntes\\_10-11.pdf](http://web.udl.es/usuarios/w3511782/Control_de_procesos/Unidades_files/apuntes_10-11.pdf)

Ardakani, M., and Wulff, S. “*An Overview of Optimization Formulations for Multiresponse Surface Problems*”. *Quality and Reliability Engineering International*. 2013, vol. 29, n. 1, p. 3–16. doi:10.1002/qre.1288

Asociación Lechera de Colombia, Asoleche. “*Aumenta la venta de productos lácteos en Colombia*”. 2015. Consultado en <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/aumenta-venta-productos-lacteos-colombia-asoleche>

Ayan, A., and Kahraman, G. “*The Analyzation of the Concept of Quality Examined Through a Model Under the Approach to Value Engineering Which is Defined as a Contemporary Management Technique*”. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*. 2012, vol. 7, n. 14, p. 223-232

Azadeh, A. y Miri-nargesi, S. S., “*Design and implementation of an integrated Taguchi method for continuous assessment and improvement of manufacturing systems*”, doi:10.1007/s00170-011-3549-2, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, (en línea), 2012, vol. 59, p. 1073–1089.

Ballantyne, K. N., Van Oorschot, R. A. y Mitchell, R. J., “*Reduce optimisation time and effort: Taguchi experimental design methods*”. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, (en línea), 2008, vol. 1(1), p. 7-8.

Banco de la Republica de Colombia. “*Boletín económico regional Eje Cafetero Caldas, Risaralda, Quindío*”. *Boletín IV trimestre*. 2015, p. 1-58

Barbiero C., Flury M., and Pagura A. “*Métodos multivariados aplicados a procesos industriales*”. *Octavas jornadas investigaciones en la Facultad de Ciencias Económicas y Estadística*. 2003, p.12 [en línea] Consultado en: [http://www.fcecon.unr.edu.ar/web/sites/default/files/u16/Decimocuarta/Quaglin, Barbiero, Flury, Ruggieri\\_control%20estadistico.pdf](http://www.fcecon.unr.edu.ar/web/sites/default/files/u16/Decimocuarta/Quaglin, Barbiero, Flury, Ruggieri_control%20estadistico.pdf)

Battinia, D. “*Design of an integrated quality assurance strategy in production systems*.”, *International Journal of Production Research*, 2012, vol. 50, n.6, p. 1682-1701.

- Bautista, Z., Delfín, G, and Palacio-Prieto, J. “*Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*”. México: UADY-CONACYT-INE-UNAM, 1a Ed. 2004, p. 507
- Bell, C., and Zemke, R. “*Managing knock your socks off service*”. AMACOM Div American Managementt Association, Third Edition. 2013, p. 235
- Bernillón, A. y Cerutti, O. “*Implantar y gestionar la calidad total*”. Ediciones Gestión. Barcelona, 2ª. . Edición. 2009, p. 210
- Bersimis, S., Psarakis, S., and Panaretos, J. “*Multivariate statistical process control charts: an overview*”. Quality and Reliability Engineering International. 2007, vol. 23, n. 5, p. 517–543. doi:10.1002/qre.829
- Bisgaard, S. “*Process optimization - going beyond Taguchi methods*”. CQPI Reports. Madison, WI: Center for Quality and Productivity Improvement, Univ. of Wisconsin. 2001. vol. 12, n. 70, p. 78-95
- Bisgaard, S. “*A comparative analysis of the performance of Taguchi's lineal graphs*”. CQPI Reports, Madison, WI: Center for Quality and Productivity Improvement, Univ. of Wisconsin. 2002. vol. 77, n. 82, p. 41-58.
- Box, G. “*Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria, and Transformations*”, Journal Technometrics. 2001, vol. 30, n. 1, p 1-17.
- Boyles, R. A., “*The Taguchi capability index*”, Journal of Quality Technology,, 1991, vol. 23(1), p. 17-26
- Box, G. and Fung, C. “*Minimizing transmitted variation by parameter design*”. Madison, WI: Center for Quality and Productivity Improvement of Univ. of Wisconsin. 2006, vol. 33, n. 8, p. 41-78.
- Box, G., Jenkins, G., and Reinsel, G.”*Time series analysis: forecasting and control*”. John Wiley and Sons, Hoboken, N. J. 4th edition. 2007, p. 784
- Box, G; Jones, S. “*Split-plot designs for robust experimentation*”. Journal of Applied Statistics, 2008, vol. 19, n. 1, p. 3-25.
- Box, G., Jenkins, G., and Reinsel, G. “*Time series analysis: forecasting and control*”. John Wiley and Sons. 2013.
- Box, G. E. P. y Luceno A., “*Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment*”, USA, 1997.
- Brocka, B. and Brocka, M. “*Quality management. Implementing the best ideas of the masters*” Irwin, Illinois, New York. 2002

Byrne, D. and Taguchi, G. “*The Taguchi Approach to Parameter Design*”. Quality Progress. 2000.

Camp, R. “*Benchmarking. The search for industry best practices that lead to superior performance*”. ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin. 2009.

Campanella, J. “*Principles of Quality Costs*”. Milwaukee, Journal ASQC Quality Press. 2000, vol. 44, n. 2, p. 34-56

Capizzi, G., “*Recent Advances in Process Monitoring: Nonparametric and Variable-Selection Methods for Phase I and Phase II*”, doi:10.1080/08982112.2015.968046, Qual. Eng, (en línea), 2015, v. 27(1), p. 44-67.

Castaño B. “*Rediseño del proceso de programación detallada de producción en la empresa productora de gelatina Progel S.A*”. Maestría en Ingeniería industrial con énfasis en dirección de producción y operaciones. Universidad Nacional de Colombia. 2012

Castaño G, y Ríos S. “*El mejoramiento de los procesos a partir de su madurez en Industrias Normandy S. A*”. Informe final de investigación para optar al título de Especialistas en Gerencia de Procesos de calidad e Innovación; Universidad EAN; Bogotá D. C. 2010

Castro, S. “*Procedimiento para evaluar la estrategia de manufactura: aplicaciones en la industria metalmecánica*”. Cuadernos de Administración. 2007, vol. 20, n. 1, p. 33

Chen, Y. “*Adaptive sampling enhancement for Hotelling’s  $T^2$  charts*”. European Journal of Operational Research. 2007, vol. 178, n. 3, p. 841-857.

Chen-Hsiu, H. “*Introduction to Taguchi-Based Quality Design and Improvement*”. Auburn, AL: Auburn Univ., Engineering Learning Resources, College of Engg. 2010.

Cheng, A., Hunt E.A., Grant D., Lin, Y., Gran, V., Duff, J.P., White, M.L.m Peterson, D.T., Zhong J., Gottesman, R., Sudikoff, S., Doan, Q., nadkarni, V.M., Brown, L., Ovely, F., Bank, I., Bhanji, F., Kessler, D., Tofil, N., Davidson, J., Adler, M., Bragg, A., Marohn, K., and Robertson, N.D. “*Variability in quality of chest compressions provided during simulated cardiac arrest across nine pediatric institutions*”, 2015, vol. 97, p. 13-19

Cervantes, P. “*Metodología para la Identificación de las Dimensiones de la Calidad y la Satisfacción del Índice Mexicano de Satisfacción al Usuario de los Programas Sociales de Sedesol y su Puesta a Prueba en: Los Casos del Programa de Estancias y Guarderías Infantiles así como del Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias*”. Universidad Iberoamericana, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.concamin.org.mx/radiografia.html>

Chou, S. y Wang, M.C., “*Simulated annealing procedure for on-line control with process dynamics*”, doi: 10.1080/00207720701500476, Int. J. Syst. Sci, (en línea), 38(8), 677–688 (2007)

- Cho, J.; Kang, J. "Benefits and challenges of global sourcing: perceptions of US apparel retail firms", *International Marketing Review*. 2001, vol. 18, n. 5, p.542 – 561.
- Chou, S.; Wang, M.-C. "Simulated annealing procedure for on-line control with process dynamics". *International Journal of Systems Science*. 2007, vol. 38, n. 8, p. 677–688.
- Chung, Y., Tien, S., and Hsieh, C. "A study of the business value of Total Quality Management", 2008, vol. 19, n. 4, p. 367 – 379.
- Correia, F., Neveda, R., and Oliveira, P. "Chronic respiratory patient control by multivariate charts". *International Journal of Health Care Quality Assurance*. 2011, vol. 24, n. 8, p. 621-643.
- Cronemyr, O. "From expectations and needs of service customers to control chart specification limits". *The TQM journal*. 2011, vol.23, n. 2, p. 164-178.
- Coucke W., Charlier, C., Lambert, W., Mattens, F., Neels, H., Tytgat, J., Van De Walle, P., Vanescote, A., Wallemacq, P., Wille, S., and Verstraete, A.G. *Application of the characteristic function to evaluate and compare analytical variability in an external quality assessment scheme for serum ethanol*", 2015, vol. 61:7, p. 948-954.
- Cosmin, D. y Stanciuc A., "Cost of quality and Taguchi loss function", *Economic Science Series*, 2013, v. 1(1), p. 1479- 1485
- Cruz, E., Medina, P. y Silva, C. "A critical review of the signal to noise methodology used in the Taguchi" 2005.
- Cuatrecasas, A. "Gestión Integral de la Calidad: Implantación, control y certificación". Profit Editorial. 2010.
- Damper, M. "A dialectical Model of Buyer-seller Relationships. *Datamonitor. Industry Profile : Oil & Gas in Mexico. Índice Mexicano de Satisfacción al Usuario. Metodología*". 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.imsu.mx/principal.html>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane). "Generalidades de la Cadena Productiva Molinería". Encuesta Anual Manufacturera. 2015. Consultado en <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/Molineria.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane). "Anexos metodológicos a la Encuesta Anual Manufacturera– EAM". 2015. Consultado en <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/Anexosmetodologicos2015.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (Dane). "Comercio exterior-exportaciones", Encuesta Anual Manufacturera, 2015. Consultado en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/exportaciones/bol\\_exp\\_jun12.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/exportaciones/bol_exp_jun12.pdf)

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (Dane). “*Encuesta Anual Manufacturera*”. 2015. Consultado en:  
[http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/Anex\\_2015pr.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/Anex_2015pr.pdf)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (Dane). “*Muestra mensual manufacturera*”, Encuesta Anual Manufacturera, 2015. Consultado en:  
[http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol\\_mmm\\_nov14.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol_mmm_nov14.pdf)
- Díaz, E. E., Díaz, C., Flores, L. C. y Heyser, S., “*Estudio de la Variabilidad de Proceso en el Área de Envasado de un Producto en Polvo*”, 2009, doi:10.1612/inf.tecnol.4105it.08, Información Tecnológica, (en línea), v. 20(6), p. 105-113
- Diana, M. “*Measuring the satisfaction of multimodal travelers for local transit services in different urban contexts*”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2012, v. 46(1), p. 1–11. doi:10.1016/j.tra.2011.09.018
- Duffuaa, S. O., Khurshed, S. N. y Noman S. M., “*Integrating statistical process control, engineering process control and Taguchi’s quality engineering*”, 2004, doi:10.1080/00207540410001704069, *Int. J. Prod. Res.*, (en línea), v. 42(19), p. 4109–4118
- Eboli, L., and Mazzulla, G. A. “*Multicriteria Approach for Analyzing Railway Service Quality*”. *Transportation Research Board 92nd Annual ...*, v. 1250, p. 1–15. 2013.  
<http://trid.trb.org/view.aspx?id=1240697>
- Ennew, C., and Waite, N. “*Financial Services Marketing-An International Guide to Principles and Practice*”. Butterworth-Heinemann, London. First edition. 2007.
- Erasmus, P., and Van Waveren, C. “*Evaluation of quality concepts influencing a manufacturing environment in South Africa*” *South African Journal of Industrial Engineering*. 2007, vol. 20, n. 2, p. 93.
- Escalante, V. “*Seis sigma: Metodología y técnicas*”. Editorial Limusa. México. 2008. P. 435
- Evans, J., and Lindsay, W. “*The Management and Control of Quality*”, (8th ed.). Ohio: South-Western College Publishing. 2011
- Federación Colombiana de Ganaderos, Fedegan. “*Datos Históricos Producción Carne*”, (a,b,c). 2015. Consultado en:  
<http://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>
- Federación Colombiana de Ganaderos, Fedegan. “*Datos Históricos de Exportaciones Leche*”, (a, b). 2015 Consultado en:  
<http://www.fedegan.org.co/estadisticas/comercio-exterior-1>
- Federación Nacional de Cacaoteros, Fedecacao. “*Producción de cacao en Colombia aumentó 26% en el 2015*”. 2015. Consultado en:  
<http://www.fedecacao.com.co/site/index.php/1nov-novedades/2nov-noticias/1542-2015-07-30-nota1>

- Ferrer, A. “*Control estadístico de procesos con inercia: revisión del estado del arte y perspectivas de futuro*”. Estadística Española. 2004, vol 46, n. 155, p. 19-47
- Ferrer, A., “Multivariate Statistical Process Control Based on Principal Component Analysis (MSPC-PCA): Some Reflections and a Case Study in an Autobody Assembly Process”, 2007, doi:10.1080/08982110701621304, Qual. Eng. (en línea), 2007, vol. 19 (1), p. 311–325
- Garvin, D. “*Perspectivas para definir el concepto de calidad*”. Management Decisions Methods, Editorial Van Nostrand Ren Hold Company. 2009, vol. 57, n. 95, p. 69 -95.
- Giaccio, M., Canfora, M. y Del Signore, A., The first theorisation of quality: Deutscher Werkbund, doi:10.1080/14783363.2012.704278, Total Qual. Manag. Bus. Excell. (en línea), 24(3-4), 225-242 (2013)
- Gras, L. “*Estimación estadística, modelado y análisis de la transmisión y coste de la variabilidad en procesos multi-etapa. Aplicación en la fabricación de baldosas cerámicas*”. Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales. Tesis Doctoral. 2010
- Gutiérrez, P. “*Calidad total y productividad*” McGraw-Hill, Tercera edición. 2010. México, 363 Pág
- Hachicha, W., Moussa, I., and Kolsi, R. “*Integration of Statistical and Engineering Process Control in a Batch Processes Monitoring: Case of Alkyd Polymerization Reactor*”. International Journal of Control and Automation. 2012, vol. 5, n. 1, p. 45–62.
- Hales, C., and Gooch, S. “*Managing engineering design*”. 2a. edition, 2004, p. 257
- Hao, S., and Zhou, S. “*Multivariate Process Variability Monitoring Through Projection*”. Journal of Quality Technology. 2008, vol 40, n. 2, p. 214–227.
- Haro, C. “*Selección de planes de muestreo para los gráficos de control  $T^2$  de Hotelling y varianza generalizada*”. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral. 2000.
- He, Y., Tang, X. y Chang, W., “*Technical decomposition approach of critical to quality characteristics for Product Design for Six Sigma*”, 2009, doi:10.1002/qre.1077, Qual. Reliab. Eng. Int. (en línea), vol. 26(4), p. 325-339
- Hincapié, J. “*Construcción de un control RCP (Rapid Control Prototyping) para ser utilizado como herramienta pedagógica y de investigación*”. Universidad Nacional de Colombia, 2006.
- Hotelling, H., “*Multivariate quality control. Techniques of Statistical Analysis*”. McGraw-Hill. 1st Edition. New York, USA, (1947)

- Hoyer, R., and Hoyer, B. “*What is quality*”. Quality Progress. 2001, vol. 34, n. 7, p. 53-62.
- Hubele, N., Lawrence, F., Miskulin, J., Shahriari, H. and Wang, F. “*Comparison of three multivariate process capability indices*”. Journal of Quality Technology, 2000. vol. 32., n. 3, p. 75- 82
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas Colombianas y certificación. Icontec. “*NTC ISO 9000. Sistema de gestión de la calidad. Vocabulario y fundamentos*”. 2015. vol. 1, n. 1, p. 12
- Jaju, S., Mohanty, R., and Lakhe, R. “*Towards managing quality cost: A case study*”. Total Quality Management and Business Excellence. 2009, vol. 20, n. 10, p. 1075–1094. doi:10.1080/14783360903247122
- Jeang, A; Liang, F; and Chung C,P. “*Optimization of robust design for multiple quality characteristics*”, International Journal of Production Research. 2006, vol. 46, n. 12, p. 1024 -1034.
- Jiang, W., and Farr, J. V. “*Integrating SPC and EPC methods for quality improvement*”. Quality Technology and Quantitative Management. 2007, vol 4, n. 3, p. 345-363
- Johansson, P., Chakhunashvili, A., Barone, S. y Bergman, B., “*Variation mode and effect analysis: a practical tool for quality improvement*”, doi:10.1002/qre, Qual. Reliab. Eng. Int, (en línea), 22(8), 865–876 (2006)
- John, B. “*Simultaneous optimization of multiple performance characteristics of carbonitrided pellets: a case study*”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012, vol. 61, n. 5, p. 585-594
- Jong, W; Chen, S; Tsai, H., and Chiu, C. “*The Geometrical Effects of Bumps on the Fatigue Life of Flip chip Packages by Taguchi Method*”. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2006, vol. 25, n. 1, p. 99-114
- Jou, Y.T., Lin, W.T., Lee, W.C. y Yeh, T.M., Integrating the Taguchi Method and Response Surface Methodology for Process Parameter Optimization of the Injection Molding, doi:10.12785/amis/080342, Appl. Math. Inf. Sci, (en línea), 8(3), 1277–1285 (2014)
- Kara, A. “*A concept of optimal quality and an application*”. Total Quality Management and Business Excellence, 2005, vol. 16, n. 2, p. 243-255
- Kechagias, J., Petropoulos, G., and Vaxevanidis, N. “*Application of Taguchi design for quality characterization of abrasive water jet machining of TRIP sheet steels*”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012, vol. 62, n. (5-8), p. 635-643

- Knappenberger, H. “*Minimum cost quality control tests*”. AIIE. Transactions. 2009. vol. 12, n. 1, pp. 24 - 32.
- Knoth, S. “*Accurate ARL calculation for EWMA control charts monitoring normal mean and variance simultaneously*”. Sequential Analysis. 2007, vol 26, n. 3, p. 251-263.
- Koçel, T. “*Business Management*”. Beta Press. İstanbul, 12 th Edition. 2010
- Kotler, G. “*Marketing: Versión para Latinoamérica*”. Pearson Education. 11<sup>a</sup>. Edición, 2007.
- Kotler, P. and Keller, K. “*A Framework for Marketing Management*”. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 2007
- Kumar, R., Alagumurthi, N., and Ramesh, R. “*Calculation of Total Cost, Tolerance Based on Taguchi s, Asymmetric Quality Loss Function Approach*” .American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2009, vol.2, n. 4, p. 628.
- Leonard, F. and Sasser, W. “*Nuevas ideas sobre el concepto de calidad*”. Harvard Deusto Business Review. 2003. vol. 55, n. 15, p. 4-12
- Li, T., Hu, S., Wei, Z., and Liao, Z. “*A Framework for Diagnosing the Out-of-Control Signals in Multivariate Process Using Optimized Support Vector Machines*”. Mathematical Problems in Engineering. 2013, vol. 1, n. 9.. doi:10.1155/2013/494626
- Lobato, O. “*Reporte de la Metodología para el Establecimiento del Índice Mexicano de Satisfacción de los Usuarios de Programas Sociales de Sedesol*. Universidad Iberoamericana. México, 2012.
- Marin-Garcia, J. A., Bonavia, T. y Pardo, M., “*Los Sistemas Productivos, el Aprendizaje Interno y los Resultados del Área de Producción de Baldosas-Cerámicas*”, 2009, doi: 10.1612/inf.tecnol.4015it.08, Información tecnológica, (en línea), vol. 20(1), p. 39-51
- Maghsoodloo, S., Ozdemir, G., Jordan, V., and Huang, C. H. “*Strengths and limitations of Taguchi's contributions to quality, manufacturing, and process engineering*”. Journal of Manufacturing systems. 2004, vol. 23, n. 2, p. 73-126.
- Mazur, H. “*Comprehensive Quality Function Deployment*”. Japan Business Consultans Ltda, Ann Arbor, MI, US. 2001
- McLaughlin D.B. and Flinders, C.A. “*Quantifying variability in four us streams using a long-term data set: patternes in water quality endpoinS*”, 2016, vol. 57:2, p. 368-388
- Medina, M., y Medina, E. “*Gestión de la calidad en Servicios Sociales*.” Murcia: Diego Marín. 2010.

- Medina, P., Cruz, E., y Restrepo, J. “*Aplicación del modelo de experimentación Shainin en un ingenio azucarero del Valle del Cauca*”. Scientia et Technica. 2007, vol. 1, n. 3, p. 35
- Millán, L. “*Gestión de calidad total en empresas españolas: un análisis cultural y de rendimiento*”. Revista Europea de Dirección y economía de la Empresa. 2007, vol. 6, n. 1, p. 37-56
- Miller, R., Sitter, C., Wu, F. and Long, D. “*Are large Taguchi-style experiments necessary? A reanalysis of gear and pinion data*”. Journal Quality Engineering. 2003, vol. 6, n. 4, p. 1-37
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. “*Perfil Departamental de Caldas*”, Oficina de estudios económicos departamento de Caldas, Boletín informativo. 2013.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, “*Perfil Departamental de Caldas*”, Oficina de estudios económicos departamento de Caldas, Boletín informativo. 2015.
- Miros, B., and Dale., B. “*An examination of the quality training needs of small companies, Journal Total Quality Management*”.2006, vol. 7, n. 3, p. 309- 322
- Mondal, S., Maiti, J., and Ray, P. “*Modelling robustness in serial multi-stage manufacturing processes*”. International Journal of Production Research. 2013, vol 51, n. 21, p. 6359-6377.
- Montgomery, D. “*Introduction to Statistical Quality Control*”. 4a. Editions. Ed. John Wiley and Sons. New York. 2001
- Montgomery, D.“*Statistical Quality Control*”. 2a. Editions Ed. John Wiley and Son, New York. 2007
- Montgomery D. C., “*Statistical Quality Control a Modern Introduction*”, 2009, p. 518-564. USA.
- Montgomery, D., Mastrangelo, C. “*Some statistical process control methods for autocorrelated data*”. Journal of Quality Technology. 2001, vol. 23, n. 3, p. 1022- 1035
- Montgomery, D. C., Keats, J. B., Runger, G. C. y Messina, W. S., “*Integrating statistical process control and engineering process control*”. Journal of Quality Technology, 1994, vol. 26(2), p. 79-87
- Morales V. “*Estadística aplicada a las Ciencias Sociales. Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos?*” Universidad Pontificia. Madrid. 2012
- Morris, D. and Haigh, R. “*Empowerment: an endeavour to explain an enigma*”. Journal Total Quality Management. 2006, vol. 7, n. 3, p. 323-330.

- Moulin, M. “*Delivering Excellence in Health and Social Care*”. Maidenhead, Open University Press. 2003
- Munro-Faure, L.; and Munro-Faure, M. “*La Calidad Total en acción*”. Barcelona. España. Canon Editorial, S.L., 2004
- Murphy, B. J., “*Selecting Out of Control Variables With the T2 Multivariate Quality Control Procedure. The Statistician*”, 36(5), 571-581 (1987)
- Nataraj, M., Arunachalam, V., and Ranganathan, G. “*Using risk analysis and Taguchi’s method to find optimal conditions of design parameters: a case study*”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2005. Vol. 27, n. 6, p. 445–454. doi:10.1007/s00170-004-2400-4
- Navarro, J., and Martínez, M. “*An improvement of the mcd robust hotelling’s 2t through control limits*”. Pakistan Journal of Statistics. 2013, vol. 29, n. 4, p. 503–512.
- Neble, T. and Schroeder, A. “*Understanding the interdependencies of quality problems and productivity*”. The TQM Journal. 2011, vol. 23, n.5, p. 480–495
- Neureuther, B. “*Conceptualizing Variation and Control Chart Theory*”. Decision Sciences Journal of Innovative Education. 2006, vol. 4, n.1, p. 147–152
- Nickols, F. “*Yes, It Makes a Difference*”. Quality Progress. 1996, vol. 29, n. 1, p. 83-87
- Niebles, R. “*Un nuevo enfoque a problemas de múltiples respuestas usando funciones de pérdida*”. Universidad de Puerto Rico, Mayaguez (Puerto Rico). 2008, vol. 2, n. 2, 196-305
- Nieto, J. M. “*Taguchi*”. Revista Universidad EAFIT. 2012, vol 26, n. 78, p. 49-55
- Ordoobadi, S., Evaluation of advanced manufacturing technologies using Taguchi’s loss functions, doi: 10.1108/17410380910936800, Manuf. Technol. Manag, (en línea), 20(3), 367–384 (2009)
- Pal, S. “*Evaluation of Nonnormal Process Capability Indices using Generalized Lambda Distribution*”. Quality Engineering. 2005, vol 17, n.1, p. 77-85
- Palanikumar, K. “*Cutting Parameters Optimization for Surface Roughness in Machining of GFRP Composites using Taguchi’s Method*”, Journal of reinforced Plastics and Composites. 2006, vol. 25, n. 16, p. 1739-1751.
- Pan, E., Jin, Y. y Wang, Y., “*Integration of economic production quantity in optimization design of control chart based on loss function and random process shift*”, 2011, doi:10.1108/17410381111160979, J. Manuf. Technol. Manag, (en línea), vol. 22(7), p. 929–946

Pande, P., Neuman, R. and Cavanagh, R. *“The Six Sigma Way”*, McGraw-Hill, New York, NY, 2000.

Panera, F. *“Innovación y calidad se conjugan con formación”*. Capital Humano. 2006, vol. 12, n. 80, p. 31-34

Park, M., Kim, J., Jeong, M.K., Hamouda, a. M.S., Al-Khalifa, K.N. y Elsayed, E. a., *“Economic cost models of integrated APC controlled SPC charts”*, 2012, doi:10.1080/00207543.2011.611542, Int. J. Prod. Res, (en línea), vol. 50(14), p. 3936–3955.

Peng, H. *“Concurrent tolerancing for design and manufacturing based on the present worth of quality loss”*. International Journal of Advance Manufacturing Technology. 2012, vol. 59, n. 1, p. 929–937. doi:10.1007/s00170-011-3542-9

Pérez F. *“Gestión de la calidad empresarial. Calidad en los servicios y atención al cliente”*. Calidad total, E sic, Madrid. 2004.

Pérez, J. *“Rediseño e implementación de una metodología para la medición de la satisfacción de los estudiantes en la Universidad Sergio Arboleda seccional Santa Marta”*. Informe encuesta de satisfacción estudiantes 2015. Santa Marta, 2015.

Phadke, M. *“Quality engineering using robust design”*. Prentice Hall, 2009.

Plăiaș, I., Radomir, L., and Nistor, V. *“A Review of the Service Quality Concept—Past, Present and Perspectives”*. Marketing From Information to Decision, 2012, vol. 1, n. 5, p. 404-427

Pradhan, M. *“Estimating the effect of process parameters on MRR, TWR and radial overcut of EDMed AISI D2 tool steel by RSM and GRA coupled with PCA”*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2013. Vol. 68, n. (1-4), p. 591-605.

Prajogo, D.I. y McDermott, P., *“Examining competitive priorities and competitive advantage in service organizations using Importance-Performance Analysis matrix”*, 2011, doi:10.1108/09604521111159780, Manag. Serv. Qual, (en línea), vol. 21(5), p. 465–483

Pursglove, A. y Dale, B. *“The influence of management information and quality management systems on the development of quality costing”*. Journal Total Quality Management. 2006, vol. 7, n. 4, p. 421-432

Ramirez L. *“Evaluación de la satisfacción del cliente en el proceso innovación y emprendimiento”*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.2014

Rahim, M., and Eb, N. *“Integration of Multivariate Statistical Process Control and Engineering Process Control”*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014, vol 1, n.10, p. 1. doi 10.1007/s00170-014-6641-6

Reeves, C. and Bednar, D. “*Defining quality: alternatives and implications*”. Academy of Management Review. 2004, vol. 19, n. 3, p. 419-445

Revista I de Alimentos. *¿Cómo está el sector lácteo?*. 2012. Consultado en: <http://www.revistaialimentos.com.co/ediciones/edicion3/sector-destacado---lacteo/como-esta-el-sector-lacteo.htm>

Revista Portafolio (online). “*Mercado bursátil colombiano vs. Mercado mundial*”. 2015. Consultado en: <http://www.portafolio.co/opinion/blogs/mercado-bursatil-colombiano-vs-mercado-mundial/analisis-sector-las-empresas-colombiana>

Romano, C. “*Report Card on TQM*”. *Management Review*. 2004, vol. 83, n. 1, p. 22-25

Rondón, J. “*Exportaciones de confitería, una dulce oportunidad que sigue creciendo*”. 2015. Consultado en: <http://www.vectorem.com/#!Exportaciones-de-confiter%C3%ADa-una-dulce-oportunidad-que-sigue-creciendo/c22ht/45CFB651-03FA-4911-A2E1-E70C2C2F90C7>

Sahoo, A. K. y Mohanty, T., “*Optimization of multiple performance characteristics in turning using Taguchi’s quality loss function: An experimental investigation*”, 2013, doi:10.5267/j.ijiec.2013.04.002, Int. J. Ind. Eng. Comput, (en línea), VOL. 4(3), P. 325–336

Santhiyavalli, G., and Sandhya, B. “*Service Quality Evaluation in Select Commercial Banks: A Comparative Study*”. IUP Journal of Operations Management. 2011, vol. 10 n. 1, p. 43-62

Sarache, W. “*Modelo con enfoque estratégico y procedimientos para contribuir al incremento del nivel de desempeño de las pymes de confección desde la función de producción*”. Aplicaciones en la región del Tolima, Colombia. Tesis doctoral, Universidad Central Marta Abreu, Cuba. 2003. p. 14.

Savage, B. “*Managing quality data, Journal Total Quality Management*”. 2006. vol. 7, n. 6, 667-674

Sayuti, M., Sarhan, A., and Hamdi, M. “*An investigation of optimum SiO<sub>2</sub> nanolubrication parameters in end milling of aerospace Al6061-T6 alloy*”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2013, vol. 67, n. 4, p. 833-849

Schroeder, A. “*Einsatz- und Wirkungsgebiete der Techniken des Qualitätsmanagement in der Wertschöpfungskette dargestellt am Beispiel von kleinen und mittleren Unternehmen*”, in Specht, D. (Ed.), *Produkt- und Prozess-innovationen in Wertschöpfungsketten*, Gabler, Wiesbaden. 2008. pp. 197-211.

Shewhart, W. “*Economic control of quality of manufactured product*”. New York: Van Nostrand. 1931.

Shewhart, W. “*Statistical Methods* “. New York: Van Nostrand.1939

Shu, M.-H., Nguyen, T.-L., and Hsu, B.-M. “*Fuzzy MaxGWMA chart for identifying abnormal variations of on-line manufacturing processes with imprecise information*”. Expert Systems with Applications. 2014, vol. 41, n. 4, p. 1342–1356. doi:10.1016/j.eswa.2013.08.032

Siddiqui, Y. a., Saif, A. W. a., Cheded, L., Elshafei, M. y Rahim, A., Integration of multivariate statistical process control and engineering process control: a novel framework, doi:10.1007/s00170-014-6641-6, Int. J. Adv. Manuf. Technol, (en línea), 78(1-4), 259-268 (2015)

Sitkin, S., Sutcliffe, K. and Schroeder, R. “*Distinguishing control from learning in total quality management: a contingency perspective*”. Academy of Management Review. 2004. vol. 23, n. 33, 14-15

Smith, G. “*Too Many Types Of Quality Problems*”. Quality Progress. 2000, vol. 33, n. 1, p.43-50

Suuroja, M. “*Service Quality – Main Conceptualizations and Critique*”. 2014, University of Tartu Economics and Business, Working Paper No. 2003-23.2003. Consultado: <http://ssrn.com/abstract=486947>

Taguchi G. “*Introduction to Quality Engineering—Designing Quality into Products and Processes*”. Asian Productivity Organization: Tokyo, 1986

Taguchi, G., and Phadke, M. “*Quality engineering through design optimization. In Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method*”. USA. 1989, p. 77-96

Taguchi, G., Elsayed, A., Hsiang, T. “*Quality Engineering in Production Systems*”. McGraw-Hill, Inc., New York. 1989. p.173

Taguchi, G. “*Robust Engineering: Learn How to Boost Quality While Reducing Costs and Time to Market*”. Journal of Quality Technology. 1990, vol. 22, n. 1, p. 15–22.

Taguchi, G. “*Introduction to orthogonal arrays*”. In Techniques for Quality engineering. 1992

Takeuchi, H. and Quelch, J. “*La calidad es algo más que hacer un buen producto*”. Harvard Deusto Business Review. 2004. vol. 11, n. 4, 31-40.

Tannock, J., Balogun, O., Hawisa, H. “*A variation management system supporting six sigma*”. Journal of Manufacturing Technology Management. 2007, vol 18, n. 5, p. 561–575

Tari, J. “*Calidad total: fuente de ventaja competitiva*”. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. 2000. ISBN 84-7908-522-3, p. 161

- Tari, J., Molina, J., and Castejon, J. “*The relationship between quality management practices and their effects on quality outcomes*”. European Journal of Operational Research. 2007, vol. 183, n. 2, p. 483-501
- Thomas, A. and Antony, J. “*A comparative analysis of the Taguchi and Shainin DOE techniques in an aerospace environment*”, International Journal of productivity and performance Management. 2005, vol. 54, n.8, p. 658-678
- Thompson, J., and Koronacki, J. “*Statistical Process Control. The Deming paradigm and Beyond*”. 2a. Edición. USA: Chapman & Hall/CRC. 2002
- Thornton A. “*Variation Risk Management: Focusing Quality Improvements in Product Development and Production*”. Wiley: New York, 2003.
- Tong, L., Wang, C., and Chen, H. “*Optimization of multiple responses using principal component analysis and technique for order preference by similarity to ideal solution*”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2005, vol. 27, n. (3-4), p. 407-414.
- Trujillo, M., Zapata, A. and Sarache, W. “*An Integral Methodology for Quality Improvement by the Reduction of Functional Variability. A Case Study*”, Información tecnológica, 2015, vol. 26, n.6, p. 211- 226.
- Valduga, E., Tonel, E., Tatsch, P., Silva, M., and Treichel, H. “*Evaluation of process parameters in the industrial scale process of soybean oil extraction using experimental design methodology*”. Journal of Food Process Engineering, 2011, vol. 34, n. 2, p. 351-362
- Vargas, J. “*Control estadístico de la calidad*”. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 2006
- Villar, I. “*PMC: programas y técnicas para la mejora integral y continua de la gestión empresarial*”. Capital Humano. 2003, vol. 22, n. 60, p. 42-47
- Villaruel, M., Castro, and R., Junod, J. “*Desarrollo de una formulación optimizada de mermelada de damasco de bajo contenido calórico utilizando la metodología Taguchi*”. Revista Latinoamericana de Nutrición. 2003, vol. 53, n. 2, p. 209-215.
- Vuori, H. “*El Control de Calidad en los Servicios*”. Ediciones Masson. 2009
- Walpole, R. “*Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.*” Norma. 2007, vol. 162, p. 157.
- Wang, D. “*Determination of Nattokinase production Condition Using Taguchi Parameter Design*”. Food Science and Technology International. 2006, vol. 12, n. 3, 215-220.

Wang, P. “Testing dispersion effects from general unreplicated fractional factorial designs”. *Quality and Reliability Engineering International*. 2001, vol. 17, n. 4, p. 243-248.

Webley, P., and Cartwright, J. “The implicit psychology of total quality management” *Total Quality Management*. 2006, vol. 7, n. 1, p. 483-49

Westlund, A. and Lothgren, M. “The interactions between quality, productivity and economic performance: the case of Swedish pharmacies”, *Total Quality Management*. 2001, vol. 12, n. 3, p. 385-396

Wicks, A., and Roethlein, C. “Satisfaction-Based Definition of Quality”. *Journal of Business and Economic Studies*. 2009, vol. 15, no 1, p. 201-209

Wijesiri, B., Egodawatta, P., McGree, J., and Goonetilleke A. “Incorporating process variability into stormwater quality modeling”, *Science of the Total Environment*, 2015, 533, p. 454-461

Woodall, W. H. y Montgomery, D. C., “Some Current Directions in the Theory and Application of Statistical Process Monitoring”, 2014, *Journal of Quality Technology*, vol. 46(1), p. 78-94.

Yu, J., and Xi, L. “A neural network ensemble-based model for on-line monitoring and diagnosis of out-of-control signals in multivariate manufacturing processes”. *Expert Systems with Applications*. 2009, vol 36, n. 1, p. 909-921. doi:10.1016/j.eswa.2007.10.003

Yu, J., Xi, L., and Zhou, X. “Identifying source(s) of out-of-control signals in multivariate manufacturing processes using selective neural network ensemble”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2009, vol. 22, n.1, p. 141-152. doi:10.1016/j.engappai.2008.05.009

Yu, J. y Xi, L., “A neural network ensemble-based model for on-line monitoring and diagnosis of out-of-control signals in multivariate manufacturing processes”, 2009, doi:10.1016/j.eswa.2007.10.003, *Expert Syst. Appl.* (en línea), VOL. 36(1), P. 909-921

Yusoff, N., Ramasamy M y Yusup, S.”Taguchi’s parametric design approach for the selection of optimization variables in a refrigerated gas plant, *Journal of Chemical Engineering*”. 2011, vol. 12, n. 22, p. 47-59

Zaitsev, N., and Dror, S. “Water Quality Function Deployment”. *Quality Engineering*. 2013, vol. 25, Issue 4, p. 1

Zambrano, A. “Procesos lácteos”. 2012. Consultado en: <http://agroindustria.jimdo.com/procesos/>

Zang, C., Friswell, M., Mottershead, J. “A review of robust optimal design and its application in dynamics”. *Computers and Structures*. 2005, vol. 83, n. 5, p. 315-326. doi:10.1016/j.compstruc.2004.10.007

Zapata, A. “*Diagnóstico de la calidad en el sector empresarial de Manizales*”. Informe de avance Doctorado de Ingeniería, Industria y Organizaciones. Seminario I. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2011.

Zapata, A. “*Control estadístico de la calidad*”. Universidad Nacional de Colombia. 2013. Informe de avance Doctorado de Ingeniería, Industria y Organizaciones. Seminario II. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2011.

Zapata, A., y Sarache, W. “*Mejoramiento de la calidad en la taza de café soluble utilizando el método Taguchi*”. Revista Chilena de Ingeniería .2013.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000100011>

Zapata, A; Sarache, W.A. y Becerra, F., “*Gestión de la calidad. Hacia un modelo integrado de estándares*”, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia (2013).  
[www.casadellibro.com/...gestion-de...calidad-hacia-un-modelo-integrado](http://www.casadellibro.com/...gestion-de...calidad-hacia-un-modelo-integrado).  
[www.fia.unal.edu.co/index.php?...gestion-de...calidad-hacia-un-modelo-...](http://www.fia.unal.edu.co/index.php?...gestion-de...calidad-hacia-un-modelo-...)  
[catalogo.aseuc.org.co/bw-gestion-de-la-calidad-hacia-un-modelo-integra...](http://catalogo.aseuc.org.co/bw-gestion-de-la-calidad-hacia-un-modelo-integra...)  
[www.libreroonline.com](http://www.libreroonline.com) > Libros de Colombia

Zapata, A. y Trujillo, M. Metodología para la identificación e intervención de problemas de calidad debido a la variabilidad funcional. Aplicaciones en la mediana empresa del sector de alimentos de Manizales. Universidad Nacional de Colombia. 2014 – 2015.

[www.hermes.unal.edu.co/pages/Consultas/Proyecto.xhtml;jsessionid...](http://www.hermes.unal.edu.co/pages/Consultas/Proyecto.xhtml;jsessionid...)  
[www.hermes.unal.edu.co/pages/Consultas/Proyecto.xhtml;jsessionid...](http://www.hermes.unal.edu.co/pages/Consultas/Proyecto.xhtml;jsessionid...)  
[scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/.../generarCurriculoCv.do?cod\\_rh...](http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/.../generarCurriculoCv.do?cod_rh...)  
[www.scielo.cl/pdf/infotec/vn66/art21.pdf](http://www.scielo.cl/pdf/infotec/vn66/art21.pdf)  
[www.scielo.cl/pdf/infotec/v26n6/art21.pdf](http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v26n6/art21.pdf)

Zeydan, M. “*Modelling the woven fabric strength using artificial neural network and taguchi methodologies*”. International Journal of Clothing science and technology. 2008, vol. 20, n. 2, p. 104-118.