



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**“PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA LA  
REDUCCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE EMBOTELLADO  
EN AQUAFIT S.A., SANTA ELENA, ECUADOR”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR:**

**ELVIS ALEXANDER PARRALES BRIONES**

**TUTOR**

**ING. DAVID ALEJANDRO PAREDES AGUILAR, MGTR.**

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2026**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA  
ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**“PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA  
LA REDUCCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE  
EMBOTELLADO EN AQUAFIT S.A., SANTA ELENA,  
ECUADOR”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR:**

**ELVIS ALEXANDER PARRALES BRIONES**

**TUTOR:**

**ING. DAVID ALEJANDRO PAREDES AGUILAR, MGTR.**

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2026**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Elvis Alexander Parrales Briones**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

**TUTOR**



f. \_\_\_\_\_

**Ing. David Alejandro Paredes Aguilar, Mgtr.**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**



f. \_\_\_\_\_

**Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos, MSc.**

La Libertad, a los 11 días del mes de agosto del año 2026

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Ing. David Alejandro Paredes Aguilar, Mgtr.

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA LA REDUCCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE EMBOTELLADO EN AQUAFIT S.A., SANTA ELENA, ECUADOR”, elaborado por ELVIS ALEXANDER PARRALES BRIONES estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

**TUTOR**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'D. Paredes', is written over a horizontal line. To the left of the signature, the letter 'f.' is printed.

**Ing. David Alejandro Paredes Aguilar, Mgtr.**

La Libertad, a los 11 días del mes de agosto del año 2026

# DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Elvis Alexander Parrales Briones**

## DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Propuesta de la metodología Six sigma para la reducción de defectos del proceso de embotellado en Aquafit S.A., Santa Elena, Ecuador**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**La Libertad, a los 11 días del mes de agosto del año 2026**

## AUTOR:

f. Elvis Parrales

**Parrales Briones Elvis Alexander**

# AUTORIZACIÓN

Yo, **Elvis Alexander Parrales Briones**

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación **“Propuesta de la metodología Six sigma para la reducción de defectos del proceso de embotellado en Aquafit S.A., Santa Elena, Ecuador”**, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 11 días del mes de agosto del año 2026

AUTOR:

f. Elvis Parrales  
Parrales Briones Elvis Alexander

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA LA REDUCCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE EMBOTELLADO EN AQUAFIT S.A., SANTA ELENA, ECUADOR**” elaborado por el Sr. **Parrales Briones Elvis Alexander**, egresado de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

**Informe de análisis**  
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

**TESIS PARRALES BRIONES ELVIS. (1) (1)**  
ID : 5565c79159e273e31a97023b54e1014cddb956d

1

1%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS PARRALES BRIONES ELVIS. (1) (1).txt  
Tamaño del archivo original : 705.59 KB  
Número de palabras : 17.873

Depositante : DAVID ALEJANDRO PAREDES AGUILAR  
Fecha de depósito : 6 de agosto de 2026  
Tipo de carga : interface  
fecha de fin de análisis : 6 de agosto de 2026

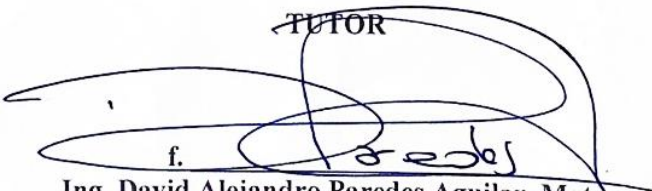
 **Resumen** (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Atentamente,

TUTOR

f. 

Ing. David Alejandro Paredes Aguilar, Mgtr.

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

## VALIDACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

### CERTIFICO

Que, he realizado la revisión y corrección del Trabajo de Integración Curricular para la obtención del título de Ingeniero Industrial con el tema: **“PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA LA REDUCCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE EMBOTELLADO EN AQUAFIT S.A., SANTA ELENA, ECUADOR”**. Ha sido desarrollado por el estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial: **ELVIS ALEXANDER PARRALES BRIONES** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Que, el trabajo presenta un dominio formal del lenguaje, con expresión clara, coherencia discursiva y solidez interpretativa. Asimismo, garantizando su adecuación a los estándares académicos y formales requeridos.

Por lo expuesto, se expide el presente certificado para que los interesados lo utilicen ante las instancias que correspondan.

Atentamente,



Escuela Ecuatoriana de Trabajo  
Social, Administración y  
Mónica Paredes Castro

**Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.**

Magister en Educación Básica

Correo: misabelp1017@gmail.com

C.C: 0605353143

Celular: 0969917044

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por ser mi fortaleza en todo momento ya que este logro no habría sido posible sin su bendición y su presencia en mi vida.

Agradezco a mis padres Efrén Parrales y Mercedes Briones, por ser los pilares más firmes en mi vida. Agradezco su amor incondicional, su sacrificio constante y por creer en mí incluso en las adversidades. Su ejemplo de lucha, paciencia y dedicación ha sido mi mayor inspiración y el motor que me impulsó a culminar con éxito esta etapa.

A los docentes que me acompañaron durante mi formación académica, les extiendo mi gratitud. Cada enseñanza, consejo y palabra de aliento ha dejado una huella valiosa en mi desarrollo profesional y personal.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo durante este proceso, les expreso mi más sincero agradecimiento. Su motivación y confianza fueron esenciales para alcanzar esta meta.

***Elvis Parrales Briones***

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de todo corazón a mis padres, por ser mi amor, mi refugio y el motivo diario que me impulsó a superar cada obstáculo en este camino. Su confianza ciega en mí hizo posible que hoy alcance esta gran meta.

También lo dedico a mi pareja y a mi familia en general por ser mi base fundamental, mi apoyo incondicional en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño logro que me trajo hasta aquí.

***Elvis Parrales Briones***

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.



**Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos, MSc.**

**DIRECTORA DE CARRERA**

f.



**Ing. Juan Carlos Muyulema Allaica, PhD.**

**DOCENTE ESPECIALISTA**

f.



**Ing. David Alejandro Paredes Aguilar, Mgtr.**

**DOCENTE TUTOR**

f.



**Ing. Edison Noe Buenaño Buenaño, Mgtr.**

**DOCENTE UIC**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| CERTIFICACIÓN.....                           | III   |
| APROBACIÓN DEL TUTOR.....                    | IV    |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....         | V     |
| AUTORIZACIÓN .....                           | VI    |
| CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....               | VII   |
| CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....             | VIII  |
| AGRADECIMIENTOS.....                         | IX    |
| DEDICATORIA.....                             | X     |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....               | XI    |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS.....                    | XII   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                       | XV    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                      | XVIII |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....                        | XIX   |
| RESUMEN .....                                | XX    |
| ABSTRACT.....                                | XXI   |
| INTRODUCCIÓN .....                           | 22    |
| CAPÍTULO I.....                              | 27    |
| MARCO TEÓRICO .....                          | 27    |
| 1.1. Antecedentes investigativos.....        | 27    |
| 1.2. Estado del arte.....                    | 28    |
| 1.3. Marco conceptual.....                   | 43    |
| 1.4. Descripción general de la empresa ..... | 44    |
| CAPÍTULO II .....                            | 46    |

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>                                          | <b>46</b> |
| 2.1. Enfoque de investigación.....                                       | 46        |
| 2.2. Diseño y tipo de investigación.....                                 | 46        |
| 2.3. Protocolo final de investigación .....                              | 47        |
| 2.4. Población y muestra.....                                            | 50        |
| 2.4.1. Población.....                                                    | 50        |
| 2.4.2. Muestra.....                                                      | 51        |
| 2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....       | 52        |
| 2.5.1. Métodos de recolección de los datos.....                          | 52        |
| 2.5.2. Técnicas de recolección de los datos .....                        | 52        |
| 2.5.3. Instrumentos de recolección de los datos.....                     | 53        |
| 2.6. Variables del estudio.....                                          | 54        |
| 2.7. Procedimiento para la recolección de los datos .....                | 56        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>                                                 | <b>57</b> |
| <b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                             | <b>57</b> |
| 3.1. Marco de resultados .....                                           | 57        |
| 3.2. Diagnóstico de la situación actual .....                            | 57        |
| 3.2.1. Descripción del proceso de embotellado.....                       | 57        |
| 3.2.2. Diagrama analítico del proceso.....                               | 58        |
| 3.2.3. Mapa de procesos de la empresa.....                               | 60        |
| 3.3. Propuesta de aplicación de la metodología Six Sigma .....           | 62        |
| 3.4. Aplicación de la fase definir .....                                 | 62        |
| 3.4.1. Antecedentes históricos del proceso .....                         | 62        |
| 3.4.2. Project Charter .....                                             | 62        |
| 3.4.3. SIPOC del proceso de embotellado.....                             | 63        |
| 3.4.4. Voz del cliente .....                                             | 65        |
| 3.4.5. Identificación del problema mediante la herramienta 4W + 1H ..... | 67        |
| 3.4.6. Declaración del problema .....                                    | 68        |
| 3.5. Aplicación de la fase medir .....                                   | 68        |
| 3.5.1. Plan de recopilación de datos.....                                | 68        |
| 3.5.2. Evaluación de producción .....                                    | 69        |
| 3.5.3. Registro de defectos observados .....                             | 70        |

|                              |                                                                                                               |            |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.4.                       | Determinación de oportunidades de defecto .....                                                               | 72         |
| 3.5.5.                       | Cálculo del DPO .....                                                                                         | 72         |
| 3.5.6.                       | Cálculo del DPMO .....                                                                                        | 73         |
| 3.5.7.                       | Determinación del nivel Sigma .....                                                                           | 74         |
| 3.5.8.                       | Línea base del proceso .....                                                                                  | 74         |
| 3.5.9.                       | Simulación de la situación actual .....                                                                       | 75         |
| 3.6.                         | Aplicación de la fase analizar .....                                                                          | 79         |
| 3.6.1.                       | Priorización de defectos mediante análisis de Pareto .....                                                    | 79         |
| 3.6.2.                       | Análisis de causas mediante diagrama de Ishikawa.....                                                         | 80         |
| 3.6.3.                       | Aplicación de la técnica de los 5 porqués .....                                                               | 82         |
| 3.6.4.                       | Identificación de causas raíz .....                                                                           | 85         |
| 3.6.5.                       | Priorización de causas raíz .....                                                                             | 85         |
| 3.6.6.                       | Conclusión de la fase analizar.....                                                                           | 86         |
| 3.7.                         | Aplicación de la fase mejorar .....                                                                           | 86         |
| 3.7.1.                       | Diseño del plan de mejora.....                                                                                | 87         |
| 3.7.2.                       | Propuesta (TPM) para el sellado defectuoso y nivel de llenado incorrecto .....                                | 92         |
| 3.7.3.                       | Propuesta estandarización del trabajo (SOP) para el tapado defectuoso .....                                   | 104        |
| 3.7.4.                       | Propuesta de mejora Poka Yoke para la etiqueta mal colocada.....                                              | 108        |
| 3.7.5.                       | Propuesta de mejora mediante Control Estadístico de Procesos (SPC) para la<br>reducción de fugas de agua..... | 112        |
| 3.7.6.                       | Evaluación del impacto esperado.....                                                                          | 119        |
| 3.7.7.                       | Simulación de la propuesta de mejora .....                                                                    | 121        |
| 3.8.                         | Aplicación de la fase controlar .....                                                                         | 124        |
| 3.9.                         | Presupuesto .....                                                                                             | 127        |
| 3.10.                        | Discusión .....                                                                                               | 135        |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>    |                                                                                                               | <b>137</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b> |                                                                                                               | <b>138</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>      |                                                                                                               | <b>139</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>           |                                                                                                               | <b>148</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Criterios de inclusión y exclusión para la búsqueda y selección. ....         | 30 |
| <b>Tabla 2.</b> Preguntas orientadas a Six Sigma y reducción de defectos. ....                | 30 |
| <b>Tabla 3.</b> Ecuación de búsqueda en Web of Science y Scopus. ....                         | 31 |
| <b>Tabla 4.</b> Autores más relevantes dentro de los estudios extraídos. ....                 | 33 |
| <b>Tabla 5.</b> Número de publicaciones por año de las principales revistas científicas. .... | 35 |
| <b>Tabla 6.</b> Documentos obtenidos en el análisis bibliométrico. ....                       | 36 |
| <b>Tabla 7.</b> Datos generales de la empresa. ....                                           | 45 |
| <b>Tabla 8.</b> Población de estudio. ....                                                    | 50 |
| <b>Tabla 9.</b> Parámetros de muestreo. ....                                                  | 51 |
| <b>Tabla 10.</b> Muestra de estudio. ....                                                     | 52 |
| <b>Tabla 11.</b> Operacionalización de variables. ....                                        | 55 |
| <b>Tabla 12.</b> Plan de procedimiento para la recolección de datos. ....                     | 56 |
| <b>Tabla 13.</b> Descripción técnica del proceso de embotellado. ....                         | 58 |
| <b>Tabla 14.</b> Project charter del proceso de embotellado de Aquafit S.A. ....              | 62 |
| <b>Tabla 15.</b> Datos cuantitativos asociados al proceso representado en el SIPOC. ....      | 63 |
| <b>Tabla 16.</b> Hallazgos de la voz del cliente. ....                                        | 65 |
| <b>Tabla 17.</b> Voz del cliente (VOC). ....                                                  | 66 |
| <b>Tabla 18.</b> Relación entre VOC y CTQ. ....                                               | 67 |
| <b>Tabla 19.</b> Identificación del problema mediante la herramienta 4W + 1H. ....            | 68 |
| <b>Tabla 20.</b> Resumen de la muestra inspeccionada durante el período de estudio. ....      | 69 |
| <b>Tabla 21.</b> Distribución de la muestra inspeccionada por jornada de evaluación. ....     | 69 |
| <b>Tabla 22.</b> Frecuencia de defectos identificados. ....                                   | 71 |
| <b>Tabla 23.</b> Oportunidades por unidad. ....                                               | 72 |
| <b>Tabla 24.</b> Resultado del DPMO. ....                                                     | 73 |
| <b>Tabla 25.</b> Nivel Sigma actual. ....                                                     | 74 |
| <b>Tabla 26.</b> Línea base del proceso. ....                                                 | 74 |
| <b>Tabla 27.</b> Alcance del modelo de simulación. ....                                       | 75 |
| <b>Tabla 28.</b> Variables empleadas en la simulación del proceso actual. ....                | 76 |
| <b>Tabla 29.</b> Recursos considerados en el modelo de simulación. ....                       | 77 |
| <b>Tabla 30.</b> Resultados obtenidos en la simulación del estado actual. ....                | 78 |
| <b>Tabla 31.</b> Priorización de causas identificadas mediante diagrama de Ishikawa. ....     | 81 |
| <b>Tabla 32.</b> Defecto 1: sellado defectuoso. ....                                          | 83 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 33.</b> Defecto 2: nivel de llenado incorrecto, .....                               | 83  |
| <b>Tabla 34.</b> Defecto 3: tapa mal colocada. ....                                          | 84  |
| <b>Tabla 35.</b> Defecto 4: etiqueta mal colocada. ....                                      | 84  |
| <b>Tabla 36.</b> Defecto 5: fugas de agua. ....                                              | 85  |
| <b>Tabla 37.</b> Causas raíz identificadas. ....                                             | 85  |
| <b>Tabla 38.</b> Priorización de causas raíz. ....                                           | 86  |
| <b>Tabla 39.</b> Criterios de selección de las propuestas de mejora. ....                    | 87  |
| <b>Tabla 40.</b> Escala de valoración para la matriz de selección. ....                      | 88  |
| <b>Tabla 41.</b> Matriz de selección de propuesta para sellado defectuoso. ....              | 88  |
| <b>Tabla 42.</b> Matriz de selección de propuesta para nivel de llenado incorrecto. ....     | 89  |
| <b>Tabla 43.</b> Matriz de selección de propuesta para tapa mal colocada. ....               | 89  |
| <b>Tabla 44.</b> Matriz de selección de propuesta para etiqueta mal colocada. ....           | 90  |
| <b>Tabla 45.</b> Matriz de selección de propuesta para fugas de agua. ....                   | 90  |
| <b>Tabla 46.</b> Plan de mejora seleccionado para los defectos prioritarios. ....            | 91  |
| <b>Tabla 47.</b> Datos utilizados para el cálculo del rendimiento inicial. ....              | 93  |
| <b>Tabla 48.</b> Datos utilizados para el cálculo de calidad inicial. ....                   | 95  |
| <b>Tabla 49.</b> Método de clasificación para valores de OEE. ....                           | 96  |
| <b>Tabla 50.</b> Matriz AMEF del área de producción de Aquafit S.A. ....                     | 97  |
| <b>Tabla 51.</b> Plan de mantenimiento de máquinas. ....                                     | 99  |
| <b>Tabla 52.</b> Datos considerados para la evaluación OEE final proyectada. ....            | 101 |
| <b>Tabla 53.</b> Comparación del OEE inicial y final proyectado. ....                        | 103 |
| <b>Tabla 54.</b> Procedimiento Operativo Estandarizado (SOP) para el proceso de tapado. .... | 104 |
| <b>Tabla 55.</b> Criterios de aceptación del proceso de tapado. ....                         | 105 |
| <b>Tabla 56.</b> Plan de capacitación para la estandarización del proceso de tapado. ....    | 105 |
| <b>Tabla 57.</b> Meta propuesta. ....                                                        | 106 |
| <b>Tabla 58.</b> Programa de capacitación. ....                                              | 107 |
| <b>Tabla 59.</b> Procedimiento estandarizado de etiquetado. ....                             | 108 |
| <b>Tabla 60.</b> Componentes de la propuesta Poka Yoke. ....                                 | 109 |
| <b>Tabla 61.</b> Procedimiento propuesto para colocación de etiquetas. ....                  | 110 |
| <b>Tabla 62.</b> Criterios de aceptación de etiquetas. ....                                  | 111 |
| <b>Tabla 63.</b> Cronograma de implementación. ....                                          | 111 |
| <b>Tabla 64.</b> Indicadores propuestos. ....                                                | 112 |
| <b>Tabla 65.</b> Variables críticas para el control de fugas de agua. ....                   | 113 |

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 66.</b> Frecuencia de monitoreo propuesta. ....                                                                            | 114 |
| <b>Tabla 67.</b> Datos para gráfico de control de fugas de agua. ....                                                               | 115 |
| <b>Tabla 68.</b> Frecuencia de monitoreo del sistema SPC.....                                                                       | 116 |
| <b>Tabla 69.</b> Procedimiento de monitoreo de fugas mediante SPC.....                                                              | 117 |
| <b>Tabla 70.</b> Plan de reacción ante variaciones en las fugas de agua. ....                                                       | 117 |
| <b>Tabla 71.</b> Cronograma de implementación del SPC para fugas de agua. ....                                                      | 118 |
| <b>Tabla 72.</b> Indicadores para evaluar la reducción de fugas de agua.....                                                        | 119 |
| <b>Tabla 73.</b> Comparación de indicadores antes y después de la mejora. ....                                                      | 120 |
| <b>Tabla 74.</b> Variables empleadas en la simulación del proceso propuesto. ....                                                   | 121 |
| <b>Tabla 75.</b> Resultados de la simulación del proceso propuesto.....                                                             | 123 |
| <b>Tabla 76.</b> Análisis comparativo de la simulación. ....                                                                        | 124 |
| <b>Tabla 77.</b> Plan de control del proceso de embotellado. ....                                                                   | 125 |
| <b>Tabla 78.</b> Indicadores de control.....                                                                                        | 125 |
| <b>Tabla 79.</b> Programa de auditorías internas.....                                                                               | 126 |
| <b>Tabla 80.</b> Matriz de responsabilidades.....                                                                                   | 126 |
| <b>Tabla 81.</b> Presupuesto de implementación de la propuesta. ....                                                                | 128 |
| <b>Tabla 82.</b> Distribución de los defectos identificados. ....                                                                   | 129 |
| <b>Tabla 83.</b> Defectos estimados para una producción diaria. ....                                                                | 130 |
| <b>Tabla 84.</b> Costo actual estimado de los defectos identificados.....                                                           | 131 |
| <b>Tabla 85.</b> Comparación del escenario actual y el escenario esperado con la<br>implementación de la metodología Six Sigma..... | 132 |
| <b>Tabla 86.</b> Proyección del ahorro económico esperado con la implementación de la<br>metodología Six Sigma.....                 | 132 |
| <b>Tabla 87.</b> Periodo estimado de recuperación de la inversión.....                                                              | 133 |
| <b>Tabla 88.</b> Cumplimiento de la metodología Six Sigma. ....                                                                     | 134 |
| <b>Tabla 89.</b> Comparación de indicadores antes y después de la propuesta.....                                                    | 135 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Pasos del análisis bibliométrico. ....                                                      | 29  |
| <b>Figura 2.</b> Selección de artículos de investigación.....                                                | 32  |
| <b>Figura 3.</b> Nube de palabras clave.....                                                                 | 33  |
| <b>Figura 4.</b> Revistas más relevantes en base al tema de estudio. ....                                    | 34  |
| <b>Figura 5.</b> Áreas de conocimiento en base al tema de estudio. ....                                      | 34  |
| <b>Figura 6.</b> Producción científica de los países en base al tema de investigación. ....                  | 36  |
| <b>Figura 7.</b> Enfoques utilizados en los artículos extraídos. ....                                        | 39  |
| <b>Figura 8.</b> Metodologías utilizadas en los artículos extraídos.....                                     | 39  |
| <b>Figura 9.</b> Técnicas utilizadas en los artículos extraídos. ....                                        | 40  |
| <b>Figura 10.</b> Instrumentos utilizados en los artículos extraídos.....                                    | 41  |
| <b>Figura 11.</b> Protocolo de investigación. ....                                                           | 42  |
| <b>Figura 12.</b> Logo de Aquafit S.A. ....                                                                  | 44  |
| <b>Figura 13.</b> Protocolo final de investigación. ....                                                     | 47  |
| <b>Figura 14.</b> Procedimiento metodológico.....                                                            | 48  |
| <b>Figura 15.</b> Diagrama analítico del proceso (DAP) de embotellado de agua.....                           | 59  |
| <b>Figura 16.</b> Mapa de procesos de Aquafit S.A. ....                                                      | 61  |
| <b>Figura 17.</b> SIPOC del proceso de embotellado.....                                                      | 64  |
| <b>Figura 18.</b> Distribución de la muestra por día. ....                                                   | 70  |
| <b>Figura 19.</b> Diagrama de Pareto de los defectos. ....                                                   | 71  |
| <b>Figura 20.</b> Modelo de simulación del estado actual del proceso de embotellado.....                     | 78  |
| <b>Figura 21.</b> Priorización de defectos mediante Pareto. ....                                             | 80  |
| <b>Figura 22.</b> Diagrama de Ishikawa de primer nivel : alta incidencia de defectos en el proceso. ....     | 81  |
| <b>Figura 23.</b> Diagrama de Ishikawa de segundo nivel : Falta de mantenimiento preventivo en equipos. .... | 82  |
| <b>Figura 24.</b> Flujograma propuesto para el proceso de tapado. ....                                       | 107 |
| <b>Figura 25.</b> Plantilla Poka Yoke.....                                                                   | 110 |
| <b>Figura 26.</b> Carta de control P para monitoreo de fugas. ....                                           | 116 |
| <b>Figura 27.</b> Simulación propuesta del proceso de embotellado. ....                                      | 122 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Anexo 1.</b> Hoja de registro de defectos.....                                         | 148 |
| <b>Anexo 2.</b> Matriz de recolección de datos (Check Sheet por subgrupos racionales).... | 148 |
| <b>Anexo 3.</b> Matriz de recopilación de datos de producción. ....                       | 149 |
| <b>Anexo 4.</b> Proceso de envasado de botellones de 20L.....                             | 149 |
| <b>Anexo 5.</b> Inspección de botellones defectuosos. ....                                | 150 |
| <b>Anexo 6.</b> Vaciado de producto no conforme.....                                      | 150 |
| <b>Anexo 7.</b> Registro de baja de producto no conforme. ....                            | 151 |
| <b>Anexo 8.</b> Inspección del proceso de embotellado. ....                               | 151 |
| <b>Anexo 9.</b> Aplicación de observación directa. ....                                   | 152 |
| <b>Anexo 10.</b> Plantilla de etiquetado.....                                             | 152 |

# **“PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA LA REDUCCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE EMBOTELLADO EN AQUAFIT S.A., SANTA ELENA, ECUADOR”**

**Autor:** Elvis Alexander Parrales Briones

**Tutor:** Ing. David Alejandro Paredes Aguilar, Mgtr.

## **RESUMEN**

La mejora continua y la reducción de defectos constituyen aspectos fundamentales para incrementar la calidad, la eficiencia y la competitividad de los procesos productivos en la industria manufacturera. En este contexto, la metodología Six Sigma representa una alternativa para analizar la variabilidad de los procesos mediante herramientas estadísticas y de gestión de la calidad orientadas a la mejora continua. La presente investigación tuvo como objetivo diseñar una propuesta de la metodología Six Sigma, mediante el ciclo DMAIC (del inglés *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), orientada a la reducción de defectos en el proceso de embotellado de agua de la empresa Aquafit S.A., ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental. En la fase *Define* se caracterizó el sistema productivo mediante el mapa de procesos, diagramas de flujo y Project Charter; posteriormente, en la fase *Measure* se inspeccionaron 834 botellones de 20 litros durante cinco días consecutivos de producción, identificándose 172 defectos. Mediante hojas de verificación, diagrama de Pareto, cálculo del DPMO (del inglés *Defects Per Million Opportunities*) y nivel Sigma, se determinó que los defectos de sellado defectuoso, nivel de llenado incorrecto, tapa mal colocada, etiqueta mal colocada y fugas de agua concentraron el 80,23 % de las no conformidades. Con base en estos resultados, se formuló una propuesta sustentada en TPM, SOP, Poka Yoke y SPC, estimándose una reducción del 60 % de los defectos, con mejoras en la eficiencia operativa, la estabilidad del proceso, el control de calidad y la disminución de las pérdidas económicas asociadas al proceso de embotellado.

**Palabras clave:** *Six Sigma, DMAIC, reducción de defectos, DPMO, proceso de embotellado.*

# **“PROPOSAL FOR THE SIX SIGMA METHODOLOGY TO REDUCE DEFECTS IN THE BOTTLING PROCESS AT AQUAFIT S.A., SANTA ELENA, ECUADOR”**

**Author:** Elvis Alexander Parrales Briones

**Tutor:** Ing. David Alejandro Paredes Aguilar, Mgtr.

## **ABSTRACT**

Continuous improvement and defect reduction are essential for increasing the quality, efficiency, and competitiveness of manufacturing processes. In this context, the Six Sigma methodology provides an effective approach for analyzing process variability through statistical and quality management tools focused on continuous improvement. The objective of this research was to design a Six Sigma methodology proposal through the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) cycle aimed at reducing defects in the water bottling process of Aquafit S.A., located in Santa Elena Province, Ecuador. The study adopted a quantitative approach with a non-experimental. During the *Define* phase, the production system was characterized using the process map, flowcharts, and the Project Charter. Subsequently, in the *Measure* phase, 834 twenty-liter water containers were inspected over five consecutive production days, identifying 172 defects. Using check sheets, Pareto charts, DPMO (Defects Per Million Opportunities), and sigma level analysis, it was determined that defective sealing, incorrect filling level, improperly placed caps, incorrectly positioned labels, and water leaks accounted for 80.23% of all recorded nonconformities. Based on these findings, an improvement proposal was developed using TPM, SOP, Poka-Yoke, and SPC, estimating a 60% reduction in defects, together with improvements in operational efficiency, process stability, quality control, and a decrease in the economic losses associated with the bottling process.

**Keywords:** *Six Sigma, DMAIC, defect reduction, DPMO, bottling process.*

## INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de globalización y alta competitividad, las organizaciones industriales enfrentan una creciente presión por mejorar la calidad de sus productos y optimizar sus procesos productivos, con el fin de responder a las exigencias del mercado y fortalecer su competitividad (Proskurnina & Bilousko, 2023). En este sentido, la gestión de la calidad se ha consolidado como un elemento estratégico, ya que mediante la aplicación de herramientas de control y mejora continua permite reducir la variabilidad de los procesos, minimizar los defectos e incrementar la eficiencia operativa (Rogalewicz et al., 2023). Asimismo, Oluwajinmi & Longe (2024) señalaron que la implementación de metodologías estructuradas, como Six Sigma, contribuye al análisis sistemático de los procesos productivos mediante el uso de herramientas estadísticas y de mejora continua, permitiendo identificar oportunidades de mejora para disminuir costos.

En América Latina, se ha observado una adopción gradual de metodologías avanzadas de control de calidad, como Six Sigma, con el propósito de enfrentar problemas relacionados con la variabilidad en la producción y las pérdidas ocasionadas por procesos poco eficientes. De acuerdo con Velasquez-Vasquez (2022), la implementación de este enfoque permitió optimizar la eficiencia operativa y disminuir los desperdicios en más de un 15 %, demostrando su viabilidad incluso en organizaciones de tamaño mediano. También, el autor resalta que Six Sigma no solo debe entenderse como una herramienta estadística, sino como una filosofía de gestión encaminada a la mejora continua y al involucramiento del talento humano en todos los niveles organizacionales.

En Ecuador, el sector del agua embotellada ha mostrado un crecimiento sostenido durante los últimos años, impulsado por el incremento en el consumo de agua purificada y por las mayores exigencias sanitarias de los usuarios. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2024), más del 70 % de la población urbana consume este producto de forma habitual, lo que ha incrementado la demanda y ha impulsado el fortalecimiento de los sistemas de producción y control de calidad. Este crecimiento, no obstante, dejó al descubierto una falla estructural en el segmento de las pequeñas y medianas plantas embotelladoras: la falta de estandarización. Mantener la calidad en este escenario exige adoptar metodologías capaces de estabilizar los procesos y acotar su variabilidad.

En la provincia de Santa Elena, la industria del agua purificada es un motor clave para el consumo local y la dinámica turística. Garantizar la inocuidad y la eficiencia en el embotellado no es opcional: exige estandarizar operaciones y aplicar controles rigurosos alineados con la normativa sanitaria. Sin embargo, la realidad de varias embotelladoras locales dista de este ideal. Aún prevalecen fallas en la detección de defectos en línea, métodos empíricos de trabajo y una marcada falta de herramientas analíticas.

En este contexto, en la empresa Aquafit S.A., ubicada en la provincia de Santa Elena, se evidencia la falta de estudios sistemáticos orientados a analizar las causas de los defectos presentes en el proceso de embotellado, así como la ausencia de metodologías estructuradas que permitan evaluar la variabilidad y mejorar la calidad del producto. Además, no se ha profundizado en la aplicación de herramientas estadísticas ni en el uso de enfoques como Six Sigma para la identificación de causas raíz y el control de los procesos productivos, lo que limita la toma de decisiones basada en datos y la optimización de la eficiencia operativa.

En función de esta brecha, la presente investigación se orienta a proponer la aplicación de la metodología Six Sigma en el proceso de embotellado de Aquafit S.A., con el propósito de analizar los defectos existentes, identificar sus causas principales y establecer acciones de mejora mediante el ciclo DMAIC. Para ello, se incorporan herramientas estadísticas y de control de calidad que permitan evaluar el desempeño del proceso y sustentar la toma de disposiciones asentada en datos.

A pesar de los avances alcanzados por la metodología Six Sigma en diferentes sectores industriales, su aplicación en empresas embotelladoras de agua de la provincia de Santa Elena continúa siendo limitada, especialmente en estudios orientados al análisis de la variabilidad del proceso de embotellado y la reducción sistemática de defectos mediante herramientas estadísticas. En el caso de Aquafit S.A., no se dispone de investigaciones que identifiquen las principales causas de las no conformidades presentes en el proceso, ni de un diagnóstico sustentado en indicadores como el defecto por millón de oportunidades (DPMO) y el nivel Sigma que permita establecer el desempeño actual del sistema productivo. Asimismo, no se han desarrollado propuestas estructuradas basadas en el ciclo DMAIC que orienten la toma de decisiones para mejorar la calidad del producto y reducir la variabilidad del proceso.

## **Alcance de la investigación**

El presente estudio se enfoca en la propuesta de la metodología Six Sigma, mediante el ciclo DMAIC, aplicada al proceso de embotellado de agua en la empresa Aquafit S.A., ubicada en la provincia de Santa Elena. La metodología combina una revisión bibliométrica y teórica con un diagnóstico in situ del proceso productivo, apoyado en herramientas directas de levantamiento de información. Con esta base, el alcance se enfoca en formular un plan de mejora puntual: recortar los niveles de DPMO, estabilizar la variabilidad de la línea y minimizar la tasa de defectos para consolidar la calidad del producto final.

## **Formulación del problema de investigación**

¿Que analizar de la literatura científica mediante un estudio bibliométrico para el sustento teórico de las variables de investigación?

¿Cómo establecer el marco metodológico mediante la aplicación de técnicas e instrumentos de recolección de datos para la evaluación del proceso de embotellado de la empresa?

¿Cuándo formular un plan de mejora basado en la metodología Six Sigma, mediante las fases del ciclo DMAIC, orientado a la reducción del DPMO, la variabilidad del proceso y al incremento de la calidad del producto final?

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Proponer la metodología Six Sigma para la reducción de defectos en el proceso de embotellado de la empresa Aquafit S.A., Santa Elena, Ecuador.

### **Objetivos específicos**

OE1. Analizar la literatura científica mediante un estudio bibliométrico para el sustento teórico de las variables de investigación.

OE2. Establecer el marco metodológico mediante la aplicación de técnicas e instrumentos de recolección de datos para la evaluación del proceso de embotellado de la empresa.

OE3. Formular un plan de mejora basada en la metodología Six Sigma, mediante las fases del ciclo DMAIC orientada a la reducción del DPMO, la variabilidad y contribución al incremento de la calidad del producto final.

### **Justificación**

La presente investigación adquiere importancia debido a que la metodología Six Sigma se ha consolidado como una de las estrategias más utilizadas para el mejoramiento de la calidad y la reducción de la variabilidad en procesos industriales. Investigaciones desarrolladas por Mittal et al., (2023) evidencian que la aplicación de esta metodología, mediante el ciclo DMAIC, permite identificar las causas raíz de los defectos, optimizar el desempeño de los procesos y disminuir los costos asociados al reproceso y al desperdicio. Bajo este enfoque, el presente estudio propone una metodología Six Sigma adaptada al proceso de embotellado de Aquafit S.A., con el propósito de identificar las principales fuentes de defectos, reducir el DPMO y fortalecer el control de calidad del proceso productivo, contribuyendo a una gestión basada en datos y orientada a la mejora continua.

La trascendencia de esta investigación radica en que la reducción de defectos constituye uno de los principales factores para incrementar la competitividad y sostenibilidad de las empresas manufactureras. Alshurideh et al., (2023) señalan que las organizaciones que implementan metodologías estructuradas de mejora continua logran incrementar la productividad, optimizar la utilización de los recursos y elevar la satisfacción del cliente al ofrecer productos con mayores estándares de calidad. En este contexto, la propuesta metodológica desarrollada trasciende el ámbito empresarial, ya que puede servir como referente para otras empresas del sector de bebidas de la provincia de Santa Elena y del país que busquen fortalecer sus procesos mediante herramientas de gestión de la calidad fundamentadas en Six Sigma.

La investigación es viable debido a que se dispone de la información necesaria para evaluar el proceso de embotellado mediante registros de producción, reportes de defectos, observación directa del proceso e instrumentos técnicos de diagnóstico, lo que permitirá desarrollar las fases *Define* y *Measure* del ciclo DMAIC. El valor de la propuesta radica en un modelo técnico respaldado por literatura científica consolidada. Su alcance, por ende, no busca una ejecución inmediata en planta, sino entregar un diseño

metodológico riguroso y fundamentado en evidencia. Por otro lado, la viabilidad del estudio queda garantizada: se dispone de acceso a la información operativa necesaria, acervo bibliográfico especializado y el tiempo requerido para cumplir los objetivos.

La originalidad del estudio se fundamenta en el desarrollo de una propuesta metodológica basada en Six Sigma aplicada específicamente al proceso de embotellado de agua de Aquafit S.A. Aunque la literatura reporta numerosas investigaciones relacionadas con Six Sigma en sectores manufactureros, son limitados los estudios enfocados en empresas embotelladoras de agua de la provincia de Santa Elena que integren herramientas como el Project Charter, diagramas de flujo, DPMO, diagrama de Pareto, análisis causa-raíz y propuestas de mejora estructuradas mediante el ciclo DMAIC. En consecuencia, esta investigación aporta una metodología adaptada al contexto operativo de la empresa, generando un referente técnico y metodológico para futuras investigaciones y para organizaciones con características productivas similares.

Los beneficiarios directos de la investigación fueron la empresa Aquafit S.A. y el personal involucrado en el proceso de embotellado, quienes dispondrán de una propuesta metodológica orientada a reducir los defectos del proceso, disminuir la variabilidad, optimizar el uso de los recursos y fortalecer el sistema de control de calidad. El impacto indirecto del estudio abarca tres frentes clave. En primer lugar, los consumidores finales obtendrán un producto con mayores garantías de inocuidad y control de calidad. Por otro lado, la industria de bebidas tanto local en Santa Elena como a escala nacional dispondrá de un marco de referencia práctico para aplicar dinámicas de mejora continua. Por último, la propuesta nutre al entorno académico: aporta evidencia empírica reciente sobre la integración de herramientas Six Sigma en plantas embotelladoras, sirviendo como insumo para futuras investigaciones en optimización de procesos.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

El estudio de Dewi et al., (2022) desarrolló una investigación con el objetivo de mejorar el proceso de producción y reducir la cantidad de productos defectuosos mediante la aplicación de la metodología Six Sigma, utilizando el ciclo DMAIC. Para ello, identificó las características críticas para la calidad (CTQ), calculó los indicadores DPMO y nivel Sigma para evaluar el desempeño inicial del proceso, analizó las causas de los defectos mediante el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) y planteó acciones de mejora apoyadas en el ciclo PDCA. El estudio logró elevar el nivel Sigma del proceso a 3,1 un incremento de 0,4 puntos respecto a la línea base, confirmando la estabilización de la línea y la contención de mermas. Este resultado valida la eficacia de Six Sigma como marco estadístico de control y sirve como referente directo para la propuesta de mejora en el proceso de embotellado de Aquafit S.A.

Según el estudio desarrollado sobre la aplicación de Lean Six Sigma en el proceso de producción de botellas de polietileno tereftalato (PET) en una empresa de agua mineral empleado por León-Castro et al., (2025), se planteó como objetivo mejorar la calidad del proceso productivo mediante la reducción de defectos en la etapa de soplado de preformas. La investigación se desarrolló bajo un enfoque preexperimental, utilizando la metodología DMAIC e incorporando herramientas como el diagrama SIPOC para la caracterización del proceso, el VSM (del inglés *Value Stream Mapping*) para la visualización del flujo productivo, el diagrama de Pareto para la priorización de problemas y los diagramas de Ishikawa y los 5 porqués para la identificación de causas raíz. Los hallazgos evidenciaron que el 55 % de los defectos se originaban en el proceso de soplado, determinándose que la principal causa estaba asociada a la falta de control de temperatura y humedad en el almacenamiento de las preformas. A partir de ello, se propuso la implementación de un sistema de control ambiental con deshumidificadores y climatización, así como un sistema inteligente de monitoreo de temperatura, estimándose una reducción del 50 % de los defectos, una mejora del nivel Sigma de 4.13 a 4.35 y un incremento en la calidad del proceso de 99,57 % a 99,79 %, evidenciando la efectividad de la metodología para optimizar procesos productivos.

Finalmente, el estudio de Deepak et al., (2025) tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la metodología Six Sigma en la reducción de defectos y mejora de la calidad en la fabricación de cigüeñales dentro del sector industrial. A través del ciclo DMAIC, la investigación diagnosticó las fallas críticas en la línea de forja, caracterizada por defectos recurrente de picaduras, llenado incompleto, cotas fuera de tolerancia y deformaciones. Las medidas correctivas adoptadas permitieron contraer la tasa de rechazo en el cigüeñal M2W del 3,04 % al 1,88 %. Este descenso no solo estabilizó la calidad de la pieza, sino que redujo mermas e impactó favorablemente en la rentabilidad de la planta.

La evidencia acumulada ratifica la efectividad de Six Sigma para contener variaciones, recortar desperdicios y elevar el rendimiento operativo en líneas de manufactura y embotellado. Partiendo de este precedente, resulta clave estructurar una revisión bibliográfica que identifique las herramientas estadísticas y las etapas del ciclo DMAIC con mayor solidez para su transferencia al proceso de embotellado de agua.

## **1.2. Estado del arte**

La construcción del estado del arte se basa en una revisión y análisis sistemático del conocimiento previamente desarrollado en relación con el objeto de estudio (Vargas-Grande, 2024). En este sentido, Corzo-Domínguez et al., (2022) señalan que constituye un elemento fundamental en toda investigación, dado que permite comprender los avances derivados de estudios previos orientados a la generación de conocimiento en un área específica. Del mismo modo, facilita la organización de la información en un compendio bibliográfico que evidencia las principales tendencias y enfoques en la producción científica dentro del campo de estudio.

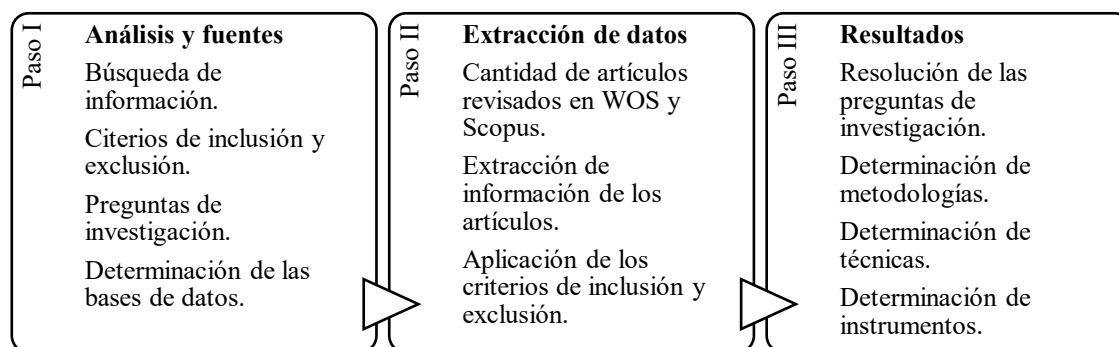
### **Análisis bibliométrico**

De esta manera, el método que facilitó la búsqueda de información para la presente investigación fue el análisis bibliométrico, el cual constituye una herramienta que integra diversos recursos estadísticos y cualitativos basados en la conceptualización de la producción científica a nivel mundial sobre la metodología Six Sigma y la reducción de defectos en procesos productivos. Este enfoque permitió examinar el contexto de la investigación, identificar tendencias relevantes y localizar estudios similares relacionados con la mejora del proceso de embotellado.

El análisis bibliométrico de la presente investigación se desarrolló mediante la aplicación de criterios de inclusión y exclusión basados en Guerrero-Velástegui et al., (2024), el cual integra información mediante herramientas como RStudio y Bibliometrix con el fin de procesar y analizar datos de manera conjunta obtenidas de las bases de datos.

### Figura 1.

*Pasos del análisis bibliométrico.*



*Nota.* Elaborado por el autor en base a (Guerrero-Velástegui et al., 2024).

### Paso I: análisis y fuentes

La información bibliográfica fue recopilada a partir de bases de datos científicas de alto reconocimiento internacional, principalmente Scopus, la cual es considerada una de las plataformas más relevantes para la indexación de literatura académica a nivel mundial (Zhu & Liu, 2020).

De manera complementaria, la base de datos Web of Science contribuyó al proceso de búsqueda mediante el uso de indicadores bibliométricos, permitiendo identificar tendencias, alcances y limitaciones en la producción científica relacionada con la metodología Six Sigma y la reducción de defectos en procesos productivos (Gregorio-Chaviano et al., 2022).

### Búsqueda de información

Para la recopilación de información se consideraron diversos criterios de análisis, entre los que destacan la participación por países, las revistas científicas, los autores más relevantes, el tipo de publicación y el año de publicación. La Tabla 1 muestra los criterios de inclusión y exclusión definidos en función del periodo de publicación, el tipo de documento, la pertinencia temática y el idioma, los cuales fueron aplicados en las bases de datos seleccionadas con el fin de obtener información relevante para el estudio.

**Tabla 1.***Criterios de inclusión y exclusión para la búsqueda y selección.*

| <b>Criterio</b>    | <b>Inclusión</b>                                                                                  | <b>Exclusión</b>                                                          |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Periodo.           | Publicaciones entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de marzo de 2026.                               | Publicaciones anteriores al 2022 y posteriores a marzo de 2026.           |
| Tipo de documento. | Artículos científicos.                                                                            | Ponencias, revisiones, libros, tesis, cartas o publicaciones editoriales. |
| Pertinencia.       | Tratamiento directo de la metodología Six Sigma y reducción de defectos en el proceso productivo. | Otras temáticas no relacionadas.                                          |
| Idioma.            | Publicaciones en los idiomas inglés y español.                                                    | Publicaciones que no pertenezcan a los idiomas inglés y español.          |

*Nota.* Elaborado por el autor.**Preguntas de investigación**

Con el propósito de orientar el desarrollo del análisis bibliométrico se definieron preguntas enfocadas en las principales características de la producción científica relacionada con Six Sigma y la reducción de defectos. Las preguntas en la Tabla 2 permitieron organizar de manera sistemática la búsqueda, clasificación e interpretación de los documentos seleccionados, facilitando el análisis de indicadores bibliométricos asociados a autores, revistas, palabras clave, áreas de conocimiento, tendencias de publicación y países con mayor producción científica.

**Tabla 2.***Preguntas orientadas a Six Sigma y reducción de defectos.*

| <b>Análisis bibliométrico de Six Sigma y reducción de defectos</b> |                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Pregunta de investigación 1                                        | ¿Cuál es el número de palabras clave encontradas en los artículos?                   |
| Pregunta de investigación 2                                        | ¿Cuál es la participación de los autores en relación con el número de publicaciones? |
| Pregunta de investigación 3                                        | ¿Cuál es la proporción de revistas en relación con el número de publicaciones?       |
| Pregunta de investigación 4                                        | ¿Cuáles son las áreas de conocimiento en relación con el número de publicaciones?    |

|                             |                                                                              |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Pregunta de investigación 5 | ¿Cuál es la tendencia de publicaciones de artículos por año?                 |
| Pregunta de investigación 6 | ¿Cuál es la proporción de países en relación con el número de publicaciones? |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### Determinación de las bases de datos

Para la búsqueda de información, como se muestra en la Tabla 3 se consideraron a la metodología Six Sigma y la reducción de defectos en procesos productivos, en las bases de datos previamente seleccionadas. La estrategia de búsqueda combinó términos clave como “Six Sigma”, “DMAIC” y “defect reduction” en el título, resumen y palabras clave de publicaciones indexadas entre 2022 y 2026. La depuración del corpus bibliográfico aplicó los criterios de inclusión y exclusión sistematizados por (Guerrero-Velástegui et al., 2024). Tras esta selección, los datos se procesaron en RStudio con el paquete Bibliometrix, garantizando la trazabilidad y el rigor en el mapeo científico.

**Tabla 3.**

*Ecuación de búsqueda en Web of Science y Scopus.*

| Ecuación de búsqueda en WOS y Scopus                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ecuación de búsqueda en WOS                                                                                                                                                                                            | Cadena de búsqueda en Scopus                                                                                                                                                                                         |
| (TITTLE-ABS-KEYWORDS (“Six Sigma”)<br>OR TITTLE-ABS-KEYWORDS (“Defect<br>reduction”)) AND DOCTYPE (art) AND<br>OPEN ACCESS (limited to all open access)<br>AND PUBYEAR (2020-2025) AND<br>LANGUAGE (English y Spanish) | (TITLE-ABS-KEYWORDS (“Six Sigma”)<br>OR TITLE-ABS-KEYWORDS (“Defect<br>reduction”)) AND DOCTYPE (art) AND<br>LANGUAGE (English y Spanish) AND<br>OPEN ACCESS (limited to all open access)<br>AND PUBYEAR (2020-2025) |

*Nota.* Elaborado por el autor.

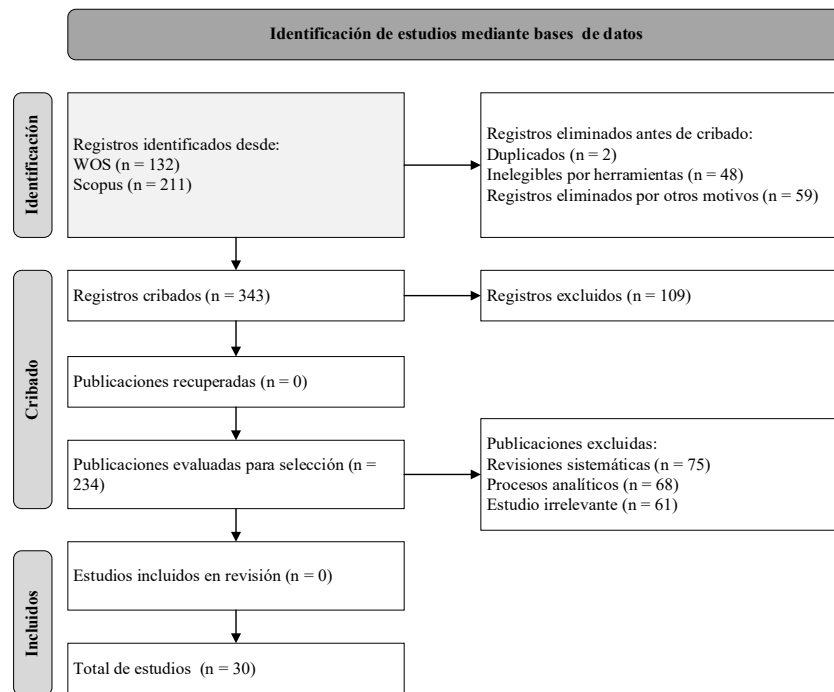
### Paso 2: extracción de datos

De igual manera en la Figura 2, se estableció la cantidad de documentos excluidos por duplicidad y por no cumplir con los criterios de elegibilidad relacionados con el tema de estudio. En este proceso, se identificaron 211 artículos provenientes de la base de datos Scopus y 132 de Web of Science, obteniendo un total de 343 documentos para la fase inicial de extracción de datos. Posteriormente, se detectaron 2 registros duplicados, lo que permitió depurar la base a 341 artículos para su respectiva revisión. Finalmente, tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos, se descartaron

311 estudios, quedando un total de 30 artículos pertinentes que cumplieron con los requisitos establecidos para el desarrollo de la investigación.

**Figura 2.**

*Selección de artículos de investigación.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

### Paso 3: resultados

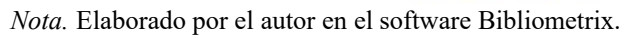
Este apartado se orientó a dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas para el análisis bibliométrico, con el propósito de interpretar los resultados obtenidos a partir de la producción científica relacionada con el tema de estudio con el fin de iniciar la resolución de las preguntas de investigación.

### Resolución de preguntas de investigación

**Pregunta de investigación 1. ¿Cuál es el número de palabras clave encontradas en los artículos?**

En la Figura 3 se presentó la nube de palabras clave donde se evidenció las palabras más frecuentes dentro del campo de estudio. Para este caso, las palabras más frecuentes dentro de la investigación resultaron “Six Sigma”, “Lean Six Sigma” y “monitoreo de procesos” con una frecuencia de 161, 104 y 47 respectivamente en los artículos hallados.

*Nube de palabras clave.*



En la Tabla 4 se observa que Antonio J destaca como el autor con mayor producción científica, con 15 artículos, seguido por Garza-Reyes J con 7 publicaciones. Incluso, autores como Bilik P registran 6 artículos, mientras que los demás autores presentan una participación de 5 publicaciones cada uno.

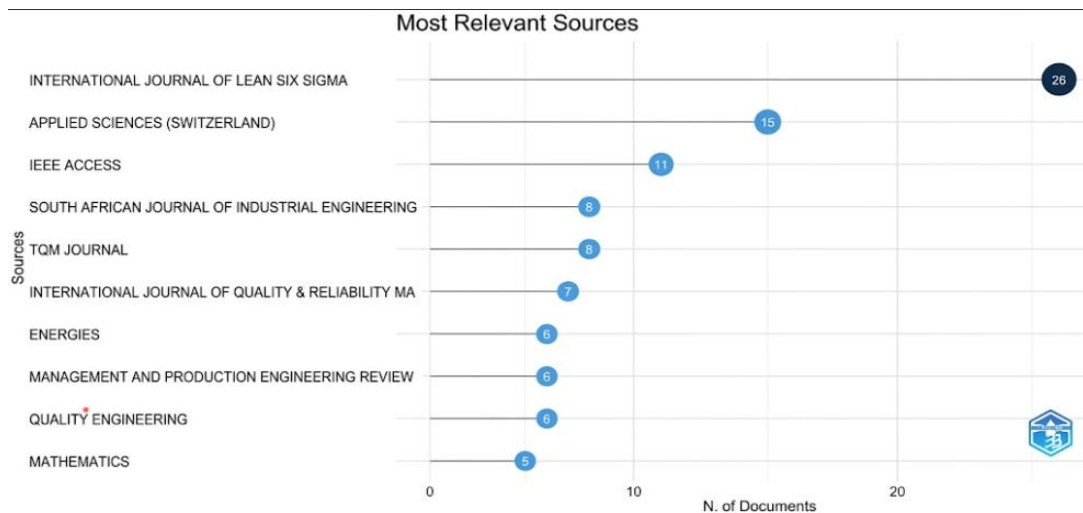
*Autores más relevantes dentro de los estudios extraídos.*

*Nota.* Elaborado por el autor.

La Figura 4 presenta las revistas más relevantes con mayor número de publicaciones relacionadas con la metodología Six Sigma y la reducción de defectos en procesos productivos.

**Figura 4.**

*Revistas más relevantes en base al tema de estudio.*



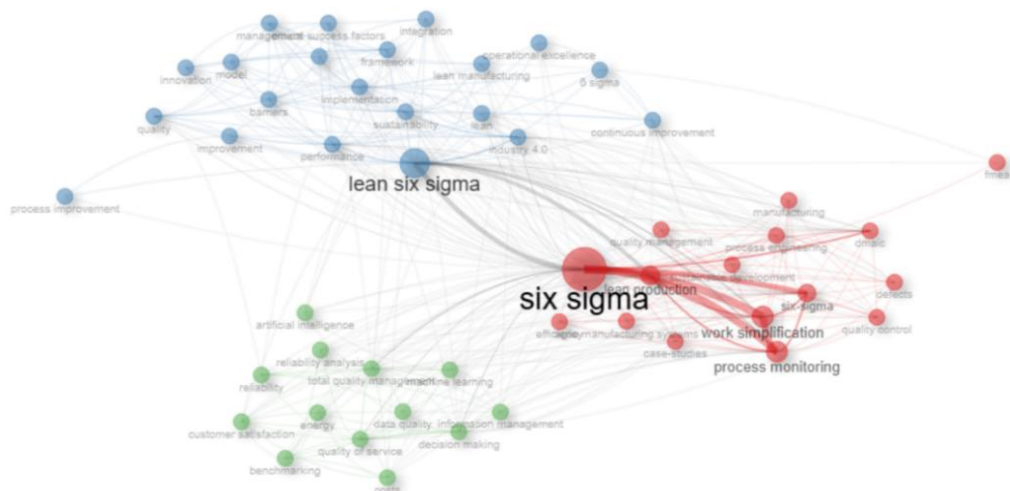
*Nota.* Elaborado por el autor en el software Bibliometrix.

**Pregunta de investigación 4. ¿Cuáles son las áreas de conocimiento en relación con el número de publicaciones?**

La Figura 5 representa el mapa de coocurrencia de palabras clave en función de las áreas de conocimiento y su frecuencia en las publicaciones relacionadas con la mejora de procesos y la calidad. El mapa de coocurrencia estructura la literatura en agrupaciones temáticas bien definidas. El primer conglomerado (rojo), articulado en torno a Six Sigma. Por su parte, el segundo núcleo (azul), encabezado por Lean Six Sigma, abarca la integración operacional e innovación tecnológica.

**Figura 5.**

*Áreas de conocimiento en base al tema de estudio.*



*Nota.* Elaborado por el autor en el software Bibliometrix.

**Pregunta de investigación 5. ¿Cuál es la tendencia de publicaciones de artículos por año?**

La evolución temporal de las publicaciones permite identificar el nivel de desarrollo que ha experimentado la investigación relacionada con Six Sigma y la reducción de defectos durante el período analizado. Con el propósito de comprender esta tendencia, la Tabla 5 presenta el número de publicaciones registradas por las principales revistas científicas entre 2022 y 2026. Esta información permite determinar qué fuentes han incrementado su producción científica y evidenciar el creciente interés por las metodologías de mejora continua en los procesos productivos. Esta dinámica expansiva ratifica la vigencia de Lean Six Sigma como marco metodológico para estabilizar procesos productivos.

**Tabla 5.**

*Número de publicaciones por año de las principales revistas científicas.*

| <b>Año</b> | <b>International<br/>Journal of Lean Six<br/>Sigma</b> | <b>Applied Sciences<br/>(Switzerland)</b> | <b>IEEE<br/>Access</b> | <b>South African Journal<br/>of Industrial<br/>Engineering</b> | <b>TQM<br/>Journal</b> |
|------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|
| 2022       | 0                                                      | 1                                         | 1                      | 2                                                              | 1                      |
| 2023       | 0                                                      | 5                                         | 3                      | 6                                                              | 1                      |
| 2024       | 2                                                      | 6                                         | 7                      | 8                                                              | 1                      |
| 2025       | 14                                                     | 14                                        | 11                     | 8                                                              | 5                      |
| 2026       | 26                                                     | 15                                        | 11                     | 8                                                              | 8                      |

*Nota.* Elaborado por el autor.

**Pregunta de investigación 6. ¿Cuál es la proporción de países en relación con el número de publicaciones?**

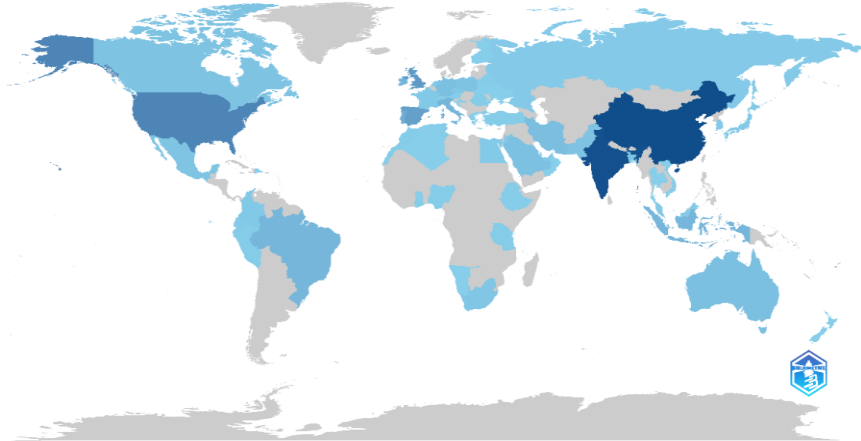
En la Figura 6 se muestra la distribución geográfica de la producción científica a nivel mundial, donde la intensidad del color azul indica los países con mayor número de publicaciones relacionadas con la gestión de la calidad, la mejora de procesos y la aplicación de metodologías como Six Sigma. En la distribución geográfica, China encabeza la producción científica con 116 publicaciones, seguida de cerca por India (114) y Estados Unidos (64). La concentración del volumen documental en estos tres países ratifica el peso de sus sectores de manufactura e innovación en el desarrollo de investigación aplicada a Six Sigma. En el ámbito europeo, la producción se distribuye

entre Reino Unido (45 publicaciones), España (40), Portugal (27), Irlanda (23) e Italia (22), reflejando una agenda consolidada en eficiencia operacional.

**Figura 6.**

*Producción científica de los países en base al tema de investigación.*

Country Scientific Production



*Nota.* Elaborado por el autor en el software Bibliometrix.

Finalmente, tras el proceso de aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, de un total de 343 artículos evaluados se seleccionaron 30 estudios directamente relacionados con las variables de investigación y las palabras clave establecidas. Estos artículos se presentan en la Tabla 6, en la cual se detalla el análisis de los distintos enfoques y metodologías empleadas por los autores en sus respectivas investigaciones.

**Tabla 6.**

*Documentos obtenidos en el análisis bibliométrico.*

| Nº | Relación  | Autores                    | Metodología | Técnicas                             | Instrumentos                     |
|----|-----------|----------------------------|-------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1  | Six Sigma | (Sadorsky, 2024)           | DMAIC       | Análisis estadístico de datos        | Registros del proceso productivo |
| 2  | Six Sigma | (Pinto-Condé et al., 2023) | DMAIC       | Análisis estadístico de datos        | Registros del proceso productivo |
| 3  | Six Sigma | (Dewi et al., 2022)        | DMAIC       | Cálculo de DPMO.                     | Registros del proceso productivo |
| 4  | Six Sigma | (Muchew, 2023)             | DMAIC       | Análisis del tiempo de ciclo         | Registros del proceso productivo |
| 5  | Six Sigma | (Pinto-Condé et al., 2023) | DMAIC       | Evaluación del desempeño del proceso | Registros del proceso productivo |

|    |                       |                                           |                                       |                                   |                                  |
|----|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 6  | Six Sigma             | (Wongtong et al., 2025)                   | DMAIC                                 | Análisis del tiempo de ciclo      | Registros del proceso productivo |
| 7  | Six Sigma             | (Setiawan, 2025)                          | DMAIC                                 | Análisis de datos de producción   | Gráficos de control estadístico  |
| 8  | Six Sigma             | (Adil et al., 2023)                       | DMAIC                                 | Identificación de defectos        | Índices de capacidad del proceso |
| 9  | Six Sigma             | (Deepak et al., 2025)                     | DMAIC                                 | Identificación de defectos        | Registros del proceso productivo |
| 10 | Six Sigma             | (Godinho-Antunes et al., 2022)            | Gestión de la calidad total (GCT)     | Análisis estadístico multivariado | Cuestionario                     |
| 11 | Six Sigma             | (Touma-Faytong et al., 2024)              | Gestión de la calidad total (GCT)     | Encuesta                          | Cuestionario                     |
| 12 | Six Sigma             | (Fadli, 2024)                             | Gestión de la calidad total (GCT)     | Análisis estadístico inferencial  | Registros del proceso productivo |
| 13 | Six Sigma             | (Guleria et al., 2022)                    | Lean manufacturing (LM)               | Identificación de defectos        | Registros del proceso productivo |
| 14 | Six Sigma             | (Barrientos-Ramos & Tapia-Cayetano, 2022) | Lean manufacturing (LM)               | Identificación de defectos        | Registros del proceso productivo |
| 15 | Six Sigma             | (Nur-Ramadhan & Prima-Waluyowati, 2025)   | DMAIC                                 | Cálculo de DPMO                   | Registros del proceso productivo |
| 16 | Reducción de defectos | (Deepak-Ravindra & Kasi-Raja, n.d.)       | Control estadístico de procesos (SPC) | Modelos de regresión (MR)         | Gráficos de control estadístico  |
| 17 | Reducción de defectos | (Nusantara & Purwanto, 2024)              | Gestión de la calidad total (GCT)     | Identificación de defectos        | Cuestionario                     |
| 18 | Reducción de defectos | (Marín-Calderón et al., 2022)             | DMAIC                                 | Modelado matemático               | Registros del proceso productivo |

|    |                       |                                           |                        |                                      |                                      |
|----|-----------------------|-------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 19 | Reducción de defectos | (Felizzola-Jimenez et al., 2023)          | DMAIC                  | Identificación de defectos           | Herramientas de análisis estadístico |
| 20 | Reducción de defectos | (Liu et al., 2025)                        | Análisis de causa raíz | Cálculo de flujo de información      | Registros del proceso productivo     |
| 21 | Reducción de defectos | (Álvarez-Del Valle et al., 2025)          | Modelo Kaisen          | Evaluación del desempeño del proceso | Evaluación de indicadores de calidad |
| 22 | Reducción de defectos | (Coronel-Reyes & Balladares-Atoche, 2026) | Modelo Kaisen          | Revisión documental                  | Bases de datos                       |
| 23 | Reducción de defectos | (Pietsch et al., 2024)                    | Análisis de causa raíz | Revisión documental                  | Bases de datos                       |
| 24 | Reducción de defectos | (Guanotuña-Toaquiza et al., 2024)         | Mejora continua        | Análisis de correlación              | Cuestionario                         |
| 25 | Reducción de defectos | (Joño-Macetas et al., 2024)               | Modelo Kaisen          | Evaluación del desempeño del proceso | Herramientas de análisis estadístico |
| 26 | Reducción de defectos | (Martínez-Mendoza et al., 2023)           | Mejora continua        | Análisis de correlación              | Cuestionario                         |
| 27 | Reducción de defectos | (Siregar & Elvira, 2022)                  | DMAIC                  | BPM                                  | Registros del proceso productivo     |
| 28 | Reducción de defectos | (Husaini et al., 2023)                    | DMAIC                  | Cálculo de DPMO                      | Registros del proceso productivo     |
| 29 | Reducción de defectos | (Imaroh & Mustofa, 2022)                  | DMAIC                  | Evaluación del desempeño del proceso | Gráficos de control estadístico      |
| 30 | Reducción de defectos | (Farhangi et al., 2024)                   | Mejora continua        | Análisis de correlación              | Cuestionario                         |

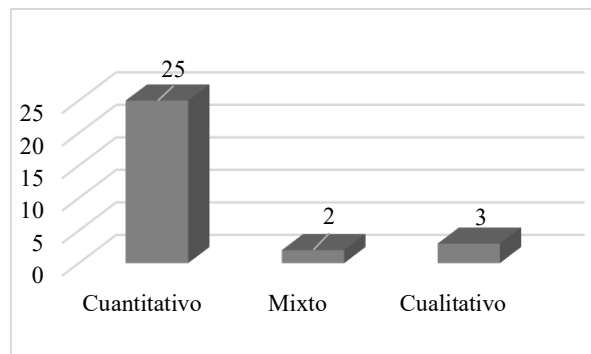
*Nota.* Elaborado por el autor.

Del total de los 30 artículos seleccionados para la revisión de la literatura en esta investigación, se identificaron diversas metodologías, herramientas y enfoques investigativos, lo cual respalda que el presente estudio cuenta con una base metodológica clara y pertinente en relación con la reducción de defectos y la aplicación de Six Sigma.

En la muestra de 30 artículos seleccionados, en Figura 7 el enfoque cuantitativo predomina de forma contundente con 25 publicaciones (83,33 %), confirmando la dependencia de la literatura de Six Sigma del análisis estadístico y la métrica objetiva de defectos. Por su parte, la aproximación cualitativa abarca 3 estudios (10,00 %) enfocados, mientras que el diseño mixto representa solo 2 investigaciones (6,67 %), integrando la medición empírica con la evaluación procedimental.

**Figura 7.**

*Enfoques utilizados en los artículos extraídos.*

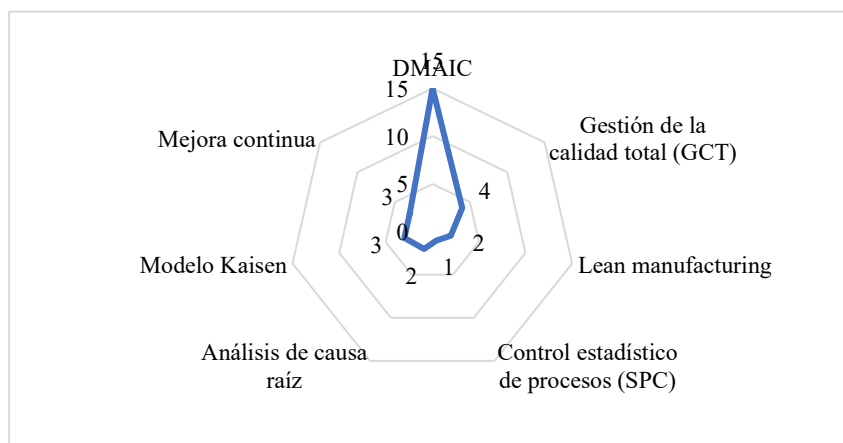


*Nota.* Elaborado por el autor.

La Figura 8 presenta la distribución de las principales metodologías empleadas en los 30 artículos analizados sobre Six Sigma y reducción de defectos. Entre las más predominantes el ciclo DMAIC se posiciona como el eje metodológico predominante, estructurando el 50 % (n = 15) de las investigaciones analizadas. La gestión de la calidad total (GCT) ocupa el segundo lugar con 4 estudios (13,33 %), seguida de las filosofías Kaizen y mejora continua, representadas con 3 trabajos cada una (10 %).

**Figura 8.**

*Metodologías utilizadas en los artículos extraídos.*

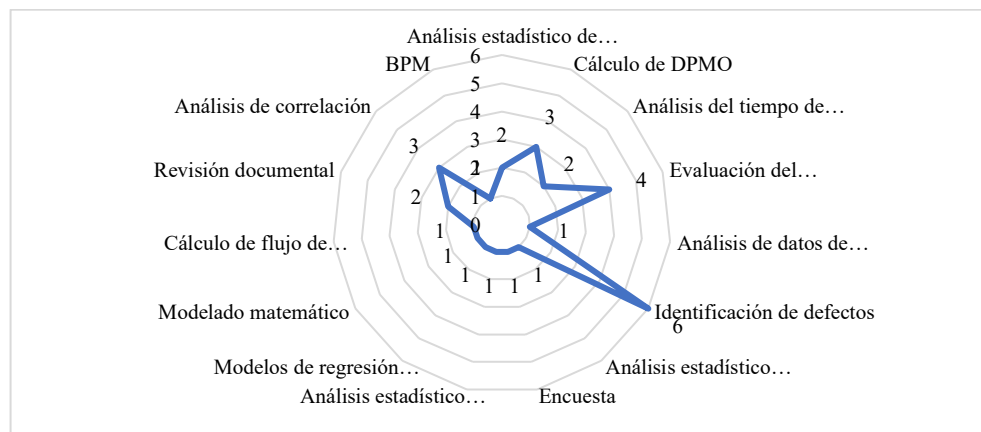


*Nota.* Elaborado por el autor.

En cuanto a las técnicas operativas, en la Figura 9 la identificación de defectos encabeza la caracterización del proceso con 6 investigaciones (20 %). La evaluación del desempeño del sistema se posiciona en segundo lugar con 4 estudios (13,33 %), mientras que métricas cuantitativas clave como la determinación del DPMO y el análisis de correlación de variables registran 3 publicaciones cada una (10 %). De esta manera, el análisis estadístico de datos, el análisis del tiempo de ciclo y la revisión documental se identificaron en 2 artículos (6,67 %) respectivamente. Finalmente, técnicas como el análisis de datos de producción, análisis estadístico multivariado, análisis estadístico inferencial, modelos de regresión, modelado matemático, cálculo de flujo de información, Business Process Management (BPM) y la encuesta registraron 1 publicación cada una (3,33 %).

**Figura 9.**

*Técnicas utilizadas en los artículos extraídos.*

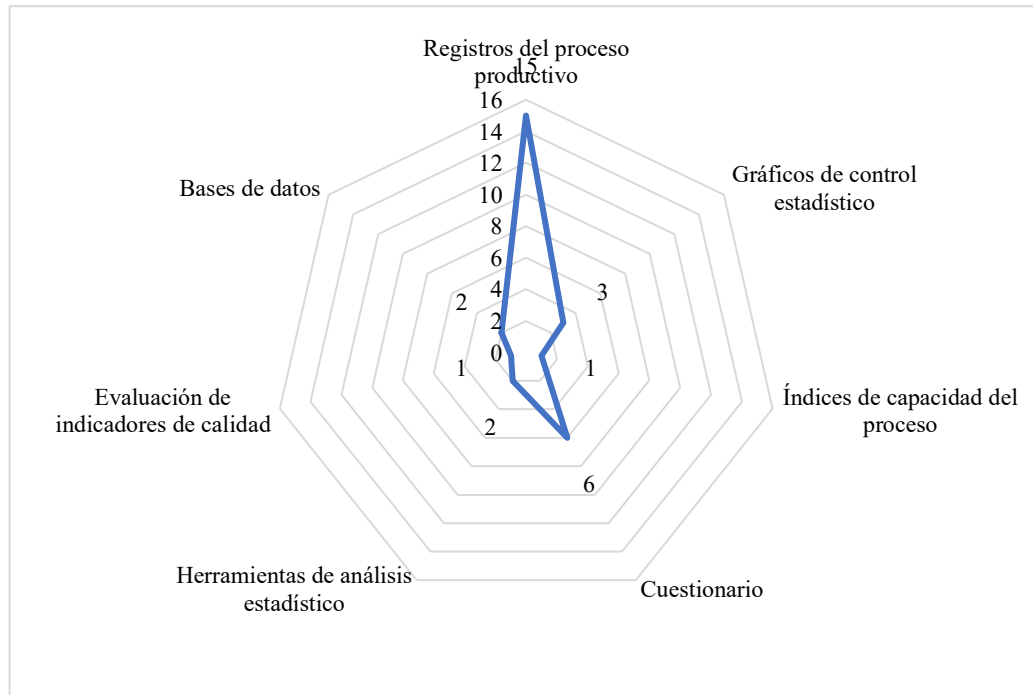


*Nota.* Elaborado por el autor.

La Figura 10 presenta la distribución de los principales instrumentos utilizados en los 30 artículos analizados para la mejora de procesos y la gestión de la calidad. Se observa que los registros del proceso productivo constituyen el instrumento más empleado, al estar presentes en 15 investigaciones (50,00 %), lo que evidencia la importancia de utilizar información generada directamente durante la operación para evaluar el desempeño de los procesos e identificar oportunidades de mejora. En segundo lugar, los cuestionarios fueron utilizados en 6 estudios (20,00 %) considerando ambas denominaciones registradas en la base de datos, reflejando su utilidad para recopilar información del personal involucrado en los procesos.

**Figura 10.**

*Instrumentos utilizados en los artículos extraídos.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

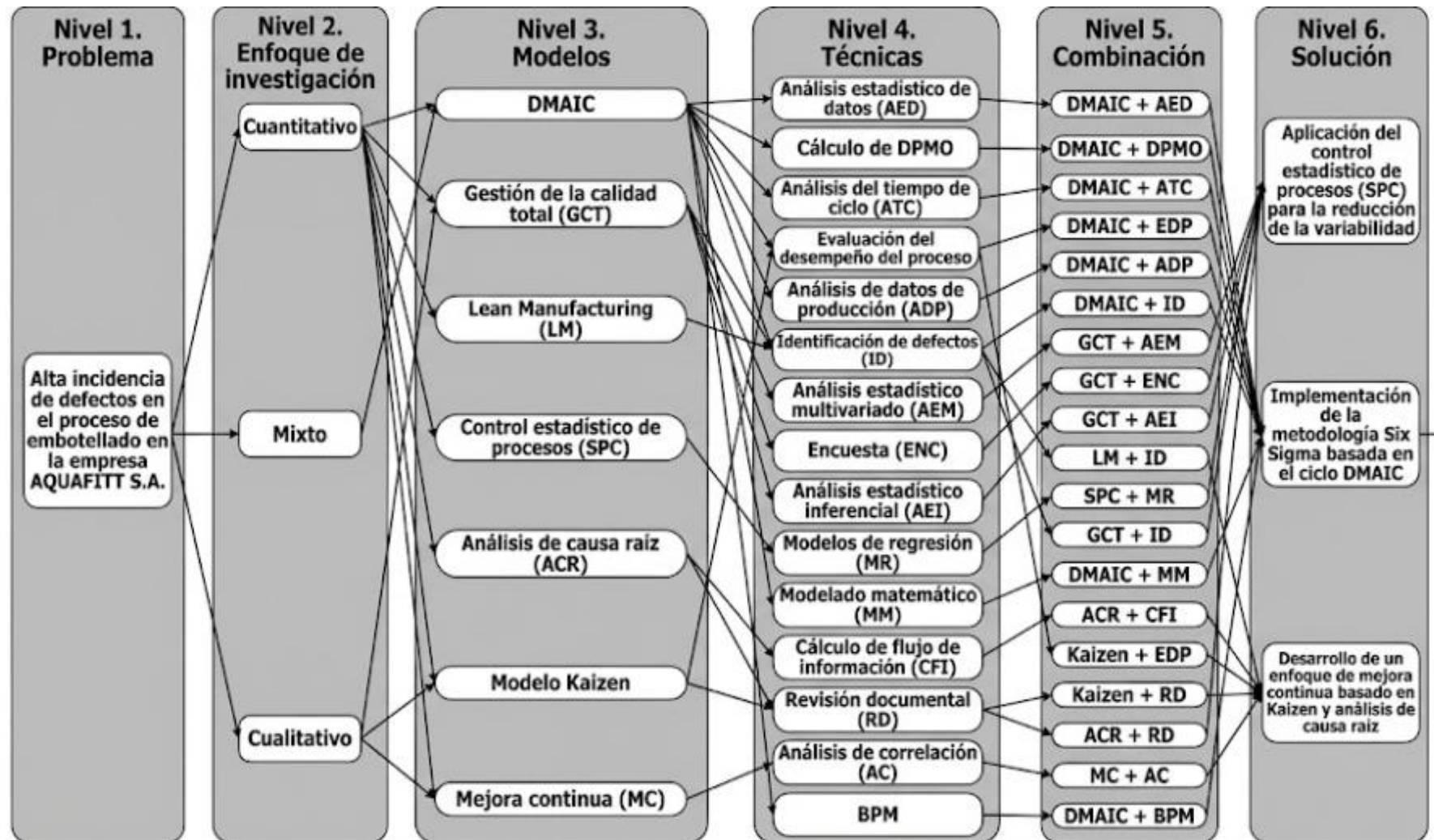
La síntesis metodológica ratifica la hegemonía del enfoque cuantitativo alineado al ciclo DMAIC. La literatura prioriza la medición empírica y el diagnóstico de capacidad del proceso mediante la cuantificación de defectos, estableciendo el marco técnico necesario para sustentar el diagnóstico operativo de la planta embotelladora. En cuanto a los instrumentos, predominan los registros del proceso productivo y los cuestionarios, los cuales permiten obtener información clave para el análisis. Estos elementos consolidan una base metodológica coherente que sustenta el desarrollo de la presente investigación orientada a la reducción de defectos.

### **Protocolo de investigación**

Para Tunal-Santiago (2022), la elaboración del protocolo de investigación permite estructurar un esquema organizado en niveles, en el cual se identifican el problema, los enfoques, las metodologías, las técnicas, sus combinaciones y, finalmente, las posibles soluciones al problema planteado.

**Figura 11.**

*Protocolo de investigación.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

En el nivel 1 se identifica como problemática la alta incidencia de defectos en el proceso de embotellado de Aquafit S.A., situación que afecta la calidad, incrementa los costos operativos y disminuye la satisfacción del cliente. En el nivel 2 se consideran los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto, destacando el primero por permitir medir indicadores como DPMO, nivel Sigma y variabilidad, mientras que los enfoques cualitativo y mixto contribuyen a comprender las causas y obtener una visión integral del problema. En el nivel 3 se identifican metodologías como Six Sigma mediante DMAIC, gestión de la calidad total, SPC, análisis de causa raíz, Kaizen y mejora continua, orientadas a mejorar el desempeño y reducir defectos.

En el nivel 4 se agrupan las técnicas para la recopilación y análisis de datos, entre ellas DPMO, análisis estadístico, regresión, correlación, tiempo de ciclo y gestión por procesos. El nivel 5 analiza la relación entre metodologías y técnicas, evidenciando que DMAIC presenta la mayor diversidad de aplicaciones, principalmente con herramientas cuantitativas. Finalmente, en el nivel 6 se plantean alternativas como DMAIC, SPC y Kaizen; sin embargo, el análisis bibliométrico determinó que DMAIC fue la metodología más utilizada, con un 50 % de frecuencia.

### **1.3. Marco conceptual**

**Six Sigma:** es una metodología de gestión de la calidad orientada a la mejora continua de los procesos, cuyo objetivo es reducir la variabilidad y minimizar los defectos en productos y servicios, basada en el análisis estadístico y la desviación estándar, buscando alcanzar un nivel de desempeño de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), lo que permite mejorar la capacidad de los procesos, incrementar la productividad y fortalecer la competitividad (Malpartida-Gutierrez et al., 2021).

**DMAIC:** es un enfoque estructurado de la metodología Six Sigma que se compone de cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, el cual permite identificar problemas en los procesos productivos, analizar sus causas, implementar acciones de mejora y controlar los resultados, con el fin de incrementar la productividad, reducir defectos y optimizar el desempeño organizacional (Córdor-Chano, 2022).

**Nivel Sigma:** según Martínez-Zárate et al., (2024), el nivel Sigma es un indicador estadístico utilizado en la metodología Six Sigma que permite medir el desempeño y la capacidad de un proceso en función de su variabilidad y la cantidad de defectos

generados, siendo una referencia clave para evaluar la calidad, mejorar la eficiencia operativa y reducir reprocesos en las organizaciones.

**Reducción de defectos:** la reducción de defectos es un enfoque fundamental en la gestión de la calidad que busca minimizar errores en los procesos productivos mediante la aplicación de metodologías y buenas prácticas, con el fin de mejorar la calidad del producto, incrementar la satisfacción del cliente y optimizar la eficiencia operativa en las organizaciones (Mukti-Ali, 2023).

**DPMO:** (defectos por millón de oportunidades) es un indicador clave dentro de la metodología Six Sigma que permite cuantificar el número de defectos presentes en un proceso en relación con el total de oportunidades de error, siendo fundamental para evaluar el nivel de calidad, medir el desempeño del proceso productivo y verificar la efectividad de las mejoras implementadas orientadas a la reducción de la variabilidad y los defectos (Marín-Calderón et al., 2022).

**Diagrama de Pareto:** es una herramienta de calidad utilizada para identificar y priorizar las causas principales de un problema, basándose en el principio 80/20, el cual establece que un pequeño número de causas genera la mayor parte de los efectos, permitiendo enfocar los esfuerzos de mejora en aquellos factores críticos que tienen mayor impacto en la reducción de fallas y optimización de los (García-Martínez, 2023).

#### 1.4. Descripción general de la empresa

Aquafit S.A., constituida el 19 de agosto de 2005 y operativa comercialmente desde 2010, se dedica al tratamiento, purificación y envasado de agua no carbonatada para su distribución en la provincia de Santa Elena. Su operación abarca la cobertura del mercado cantonal mediante líneas de envasado dedicadas al abastecimiento local.

#### Figura 12.

*Logo de Aquafit S.A.*



*Nota.* Elaborado por Aquafit S.A.

Los datos corporativos y la ficha técnica de la organización se resumen en la Tabla 7. La planta ha consolidado su posición en el mercado de la provincia de Santa Elena mediante el cumplimiento de estándares sanitarios y operativos, orientando su capacidad instalada al abastecimiento sostenido de los canales de distribución locales.

**Tabla 7.**

*Datos generales de la empresa.*

| <b>Tipo de información</b>              | <b>Datos</b>                                                        |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Razón social.                           | Aquafit S.A.                                                        |
| Actividad económica.                    | Purificadora y envasadora de agua sin gas.                          |
| Registro único del contribuyente (RUC). | 0992426578001.                                                      |
| Centro de trabajo.                      | Santa Elena.                                                        |
| Sector.                                 | Privado.                                                            |
| Dirección.                              | Santa Elena km 2 vía El Tambo, Santa Elena.                         |
| Teléfono.                               | 0968684841.                                                         |
| Página web.                             | <a href="http://www.aquafit.com.ec">http://www.aquafit.com.ec</a> . |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La empresa Aquafit S.A., se dedica al procesamiento, purificación y comercialización de agua purificada para consumo humano. Su sistema productivo comprende las etapas de tratamiento del agua, lavado de botellones, llenado, tapado, colocación del sello de seguridad, etiquetado, inspección final y almacenamiento. La presente investigación se desarrolla exclusivamente en la línea de embotellado de botellones de 20 litros, debido a que representa una de las principales líneas de producción de la empresa, con un promedio de 4500 unidades producidas por día.

Los registros históricos de producción reflejan una tasa media de producto no conforme del 2,3 %, lo que representa aproximadamente 104 botellones defectuosos por jornada laboral. La tipología de fallas se concentra en varias no conformidades recurrentes: defectos de hermeticidad (fugas de agua y sellado deficiente), variabilidad en el volumen de llenado, colocación incorrecta de tapas y fallas de etiquetado. Estas desviaciones generan cuellos de botella por reprocesamiento, merma directa de insumos y degradación de los indicadores de rendimiento de la planta (OEE).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Enfoque de investigación**

Los resultados obtenidos en el análisis bibliométrico desarrollado en el capítulo I evidenciaron que el enfoque cuantitativo fue el más utilizado en las investigaciones relacionadas con la aplicación de la metodología Six Sigma para la reducción de defectos, al encontrarse presente en 25 de los 30 artículos analizados (83,33 %). También, se identificó un predominio de metodologías basadas en el ciclo DMAIC y de técnicas orientadas al análisis estadístico de datos, el cálculo del DPMO y la identificación de defectos, lo que permitió establecer el protocolo metodológico de la presente investigación y fundamentar la selección del enfoque más adecuado para el desarrollo del estudio.

La investigación adopta un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo-explicativo. Este diseño fundamenta la recolección sistemática de datos y de control muestral en la línea de llenado, permitiendo caracterizar la tasa de defectos mediante métricas estadísticas. De acuerdo con Haro-Sarango et al., (2025), el rigor del enfoque cuantitativo radica en la captura sistemática de variables empíricas para su procesamiento estadístico.

En concordancia con los hallazgos del análisis bibliométrico y con el protocolo de investigación definido en el capítulo anterior, la presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que requiere medir objetivamente el comportamiento del proceso de embotellado mediante indicadores de calidad como el porcentaje de defectos, el DPMO y el nivel Sigma.

#### **2.2. Diseño y tipo de investigación**

El diseño de investigación constituye la estrategia metodológica que orienta el desarrollo del estudio y establece la forma en que se obtiene y analiza la información necesaria para responder al problema de investigación. De acuerdo con Valladares-Guamán et al., (2026), el diseño no experimental se caracteriza por observar los fenómenos en su contexto natural, sin manipular deliberadamente las variables objeto de estudio, permitiendo describir y analizar su comportamiento en la realidad.

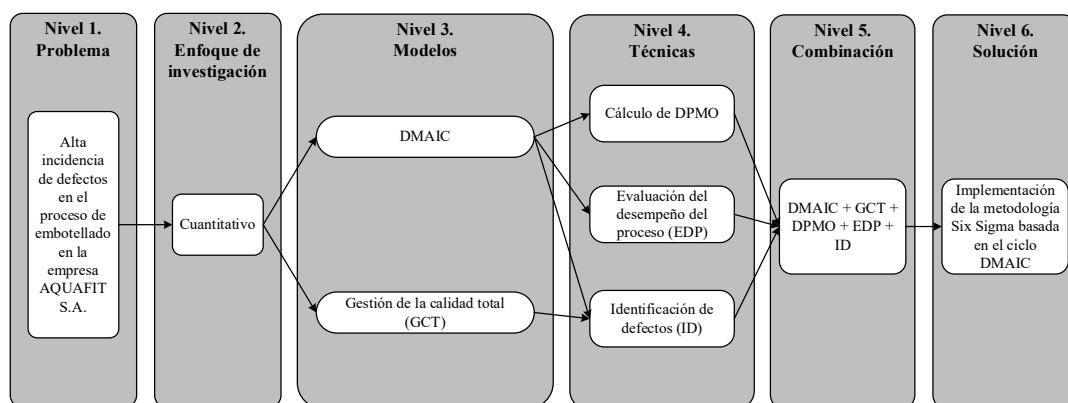
En este sentido, la presente investigación se desarrolla bajo un diseño no experimental, debido a que la información será obtenida directamente del proceso de estudio, sin intervenir ni modificar las condiciones en las que se generan los datos. Esto permite recopilar evidencia objetiva para el análisis del comportamiento de las variables y sustentar la propuesta metodológica. Además, la investigación corresponde al tipo aplicada, ya que busca generar una propuesta sustentada en la metodología Six Sigma orientada a la solución de un problema específico, mediante la utilización de conocimientos científicos, herramientas de calidad y procedimientos metodológicos que contribuyan al mejoramiento del proceso objeto de estudio.

### 2.3. Protocolo final de investigación

La revisión exhaustiva de la literatura desarrollada en el capítulo 1 evidencia que el enfoque cuantitativo es el más predominante, debido a que los estudios analizados se centran en la aplicación de metodologías orientadas a la medición y reducción de defectos en procesos productivos. Asimismo, se identificó que una proporción significativa de las investigaciones utiliza la metodología Six Sigma mediante el ciclo DMAIC, debido a su capacidad para estructurar el análisis y mejora continua de los procesos industriales. En función de estos hallazgos, la presente investigación adopta la metodología Six Sigma como base del estudio, articulada con herramientas de gestión de la calidad y técnicas estadísticas para el análisis del proceso de embotellado. El protocolo metodológico se estructura en seis niveles secuenciales, los cuales se presentan de manera resumida en la Figura 13.

**Figura 13.**

*Protocolo final de investigación.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

En el nivel 1 se establece como problemática la alta incidencia de defectos en el proceso de embotellado de Aquafit S.A., identificada mediante observación directa y revisión de registros. El nivel 2 define un enfoque cuantitativo, orientado a medir las no conformidades. En el nivel 3 se establece el ciclo DMAIC como modelo principal, complementado con principios de Gestión de la Calidad Total.

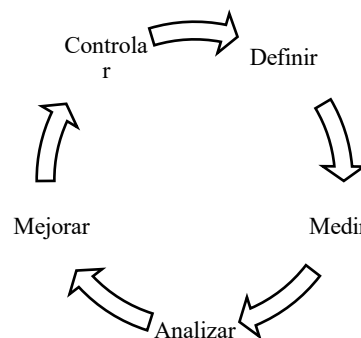
El nivel 4 contempla técnicas como el cálculo del DPMO, la evaluación del desempeño del proceso y la identificación estadística de defectos. En el nivel 5 se integran los indicadores obtenidos dentro de las etapas de DMAIC para priorizar las causas y establecer acciones de mejora con base en la frecuencia y severidad de los defectos. Esta estructura permite mantener la trazabilidad entre el problema identificado y la solución propuesta, asegurando que las decisiones de mejora respondan a los resultados obtenidos durante el análisis del proceso de embotellado de Aquafit S.A.

### **Procedimiento metodológico**

El procedimiento metodológico de la presente investigación se desarrolla en correspondencia con el nivel 6 del protocolo de investigación presentado en el apartado anterior, correspondiente a la solución del problema identificado mediante la aplicación de la metodología Six Sigma a través del ciclo DMAIC. En este sentido, la Figura 14 presenta las fases metodológicas que orientan el desarrollo de la investigación, las cuales se fundamentan en los aportes de Setiawan (2025) y Deepak et al., (2025), permitiendo estructurar de manera secuencial el diagnóstico, análisis, formulación de propuestas de mejora y establecimiento de control para fortalecer la calidad del proceso productivo.

**Figura 14.**

*Procedimiento metodológico.*



*Nota. Elaborado por el autor basado en Setiawan (2025) y Deepak et al., (2025).*

### **Fase: definir**

En la fase *definir* se establece el problema que afecta el proceso de embotellado, delimitando el alcance de la investigación y las características críticas para la calidad (CTQ) del producto. Esta etapa se desarrolla mediante la aplicación de herramientas como el Project Charter, el mapa de procesos, el macroproceso, los diagramas de flujo y la identificación de los CTQ, las cuales permiten caracterizar el sistema productivo, comprender la secuencia de actividades e identificar preliminarmente los puntos donde se originan los defectos. Estas herramientas delimitan el problema, establecen los objetivos del proyecto y estructuran el desarrollo de las siguientes fases del ciclo DMAIC.

### **Fase: medir**

En la fase *medir* se establece la línea base del proceso recopilando y cuantificando las no conformidades. La información se levanta mediante hojas de verificación, observación en planta, revisión documental y estudios de tiempos, para luego calcular el \$DPMO\$ y el nivel Sigma. Estas herramientas permiten obtener datos objetivos sobre el comportamiento del proceso, establecer la línea base del desempeño e identificar la magnitud de la variabilidad existente para sustentar las etapas posteriores del ciclo DMAIC.

### **Fase: analizar**

En la fase *analizar* se examinan los datos obtenidos durante la medición con el propósito de identificar las causas que originan los defectos presentes en el proceso de embotellado. Este análisis se realiza mediante herramientas como el diagrama de Pareto, el diagrama de Ishikawa (causa-efecto) y la técnica de los Cinco Porqués, las cuales permiten priorizar los defectos de mayor incidencia y determinar las causas raíz que afectan el desempeño del proceso. El uso de estas herramientas permite tomar decisiones respaldadas por datos y enfocar las mejoras en los factores realmente críticos.

### **Fase: mejorar**

La fase *mejorar* define las acciones para corregir las causas raíz del proceso. Se aplica TPM en los problemas de sellado y llenado, SOP para la colocación de tapas, Poka-Yoke en la línea de etiquetado y SPC para controlar las fugas de agua. La aplicación de estas herramientas busca disminuir la variabilidad del proceso, reducir el DPMO, minimizar la ocurrencia de defectos y fortalecer la calidad del producto final.

## **Fase: controlar**

En la fase *controlar* se establecen mecanismos de seguimiento que permitan mantener los resultados esperados tras la implementación de las mejoras propuestas. Para ello, se emplean herramientas como indicadores de desempeño, cartas de control, procedimientos estandarizados, registros de seguimiento, los cuales facilitan el monitoreo continuo del proceso y la detección oportuna de desviaciones. La aplicación de estos mecanismos tiene como finalidad asegurar la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas, mantener la estabilidad del proceso y promover la mejora continua dentro del sistema productivo.

### **2.4. Población y muestra**

#### **2.4.1. Población**

Según Mejía-Benavides et al., (2021), la población corresponde al conjunto total de elementos o unidades de análisis que comparten características comunes y sobre las cuales se pretende obtener información para responder al problema de investigación. La correcta delimitación de la población permite establecer el universo de estudio y definir el procedimiento de muestreo más adecuado.

De acuerdo con Pulido (2009), cuando se evalúa el desempeño de un proceso productivo mediante herramientas de calidad y Six Sigma, la población debe definirse a partir del volumen real de producción, ya que las unidades fabricadas representan el universo sobre el cual se analizan la variabilidad, los defectos y los indicadores de calidad.

En la presente investigación, la población presentada en la Tabla 8 está conformada por los botellones de agua de 20 litros producidos diariamente en el proceso de embotellado. Con base en los registros de producción de Aquafit S.A., se estableció que la empresa mantiene una producción promedio de 4500 botellones diarios, valor que se considera como población de estudio para determinar el tamaño de la muestra.

**Tabla 8.**

*Población de estudio.*

| Elemento      | Descripción                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------------------|
| Población (N) | 4500 botellones de agua de 20 litros producidos diariamente |

*Nota.* Población requerida para la investigación.

### 2.4.2. Muestra

La muestra es un subconjunto de la población seleccionado para el estudio, el cual debe ser representativo del universo de interés, de modo que permita obtener información válida y confiable para realizar inferencias y generalizar resultados, siempre que su selección garantice igualdad de oportunidades para los elementos y considere criterios adecuados de inclusión y exclusión que aseguren la calidad de los datos obtenidos (Otzen & Manterola, 2017).

Considerando que la población del presente estudio es finita y conocida, el tamaño de la muestra se determinó mediante la fórmula para poblaciones finitas (Ecuación 1), propuesta por Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres (2018), criterio que además es recomendado por Pulido (2009) para estudios donde se conoce el volumen de producción y se requiere evaluar el comportamiento de la calidad mediante técnicas estadísticas, los parámetros para el cálculo se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.**

*Parámetros de muestreo.*

| Parámetro | Descripción                   | Valor |
|-----------|-------------------------------|-------|
| N         | Tamaño de la población        | 4500  |
| Z         | Nivel de confianza (95 %)     | 1,96  |
| P         | Probabilidad de ocurrencia    | 0,50  |
| Q         | Probabilidad de no ocurrencia | 0,50  |
| e         | Error máximo permitido        | 0,03  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Donde:

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

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$n = \frac{4500(1,96)^2(0,5)(0,5)}{(0,03)^2(4500-1) + (1,96)^2(0,5)(0,5)}$$

$$n = 833.6 \approx 834 \text{ Botellones}$$

Posteriormente, en la Tabla 10 la muestra, el proceso de selección se realizó mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple, garantizando que cada botellón producido durante la jornada tuviera la misma probabilidad de ser inspeccionado. La evaluación de 834 botellones proporciona un nivel adecuado de representatividad para determinar la frecuencia de defectos, calcular el DPMO y establecer la línea base del desempeño del proceso, resultados que sirven como fundamento para el desarrollo de las fases Measure, Analyze, Improve y Control de la metodología Six Sigma.

**Tabla 10.**

*Muestra de estudio.*

| Elemento              | Cantidad        |
|-----------------------|-----------------|
| Población (N)         | 4500 botellones |
| Muestra calculada (n) | 834 botellones  |
| Muestra aplicada      | 834 botellones  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

## **2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **2.5.1. Métodos de recolección de los datos**

Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres (2018) señalan que el método inductivo, bajo un enfoque descriptivo-correlacional, permite recopilar información a partir de la observación de la realidad empírica para posteriormente contrastarla con los fundamentos teóricos y generar inferencias sustentadas. En la presente investigación, este método facilita el análisis del proceso de embotellado en Aquafit S.A., permitiendo identificar patrones de comportamiento entre la aplicación de la metodología Six Sigma y la reducción de defectos, así como su impacto en la calidad del producto.

### **2.5.2. Técnicas de recolección de los datos**

La recolección de datos es una etapa fundamental en el desarrollo de la investigación, ya que permite obtener información precisa y confiable para el análisis del objeto de estudio. De acuerdo con Schenk & Reus, (2024), las técnicas de recolección de datos corresponden a procedimientos sistemáticos que facilitan la obtención de información relevante para comprender y evaluar una determinada situación. En la presente investigación, orientada a la reducción de defectos en el proceso de embotellado

de Aquafit S.A., mediante la metodología Six Sigma, se emplearon técnicas enfocadas en la observación y análisis del proceso productivo.

#### **A) Observación directa**

La observación directa permitió examinar las actividades que conforman el proceso de embotellado, desde la preparación de materiales hasta el almacenamiento del producto terminado. Esta técnica facilitó la identificación de defectos, reprocesos, tiempos muertos, demoras operativas, fallas en equipos y otras situaciones que afectan el desempeño del proceso. Además, aportó información de campo sobre el funcionamiento real del proceso y la ejecución de las actividades productivas.

#### **B) Revisión documental**

La revisión documental abarcó el análisis de registros de producción, reportes de calidad, historiales de fallas y procedimientos operativos del área de envasado. Con esta información se consolidaron los datos cuantitativos para calcular la tasa de defectos, el DPMO, el nivel Sigma y otros indicadores clave de la línea.

#### **C) Análisis de datos**

Esta técnica se utilizó para procesar y evaluar la información obtenida mediante los registros operativos de la empresa. A través del análisis de datos se determinaron tendencias, niveles de variabilidad, frecuencia de defectos y oportunidades de mejora dentro del proceso de embotellado. Los resultados obtenidos constituyeron la base para el desarrollo de las etapas de medición, análisis y mejora propuestas por la metodología Six Sigma.

### **2.5.3. Instrumentos de recolección de los datos**

Con la finalidad de obtener información objetiva sobre el desempeño del proceso de embotellado de Aquafit S.A., se emplearon instrumentos de recolección de datos orientados al análisis de las operaciones productivas y al control de calidad. Estos instrumentos permitieron identificar las principales causas de defectos y evaluar las condiciones actuales del proceso para el posterior desarrollo de la propuesta de mejora basada en la metodología Six Sigma.

#### **A) Hoja de registro de defectos**

Se utilizó la hoja de registro de defectos (Anexo 1), elaborada según los requerimientos de Six Sigma, para tabular las no conformidades del proceso de embotellado. Este instrumento facilitó la cuantificación de fallas, la identificación de los defectos principales y el cálculo del porcentaje de no conformidades y del DPMO.

### **B) Matriz de recopilación de datos de producción**

La matriz de recopilación de datos de producción (Anexo 2) fue elaborada por el autor para organizar la información proveniente de los registros internos de la empresa, correspondiente a volúmenes de producción, productos defectuosos, reprocesos y tiempos de operación. Este instrumento permitió consolidar la información necesaria para el cálculo de los indicadores de desempeño del proceso y la aplicación de las herramientas estadísticas propuestas por la metodología Six Sigma.

### **C) Ficha de observación**

La ficha de observación (Anexo 3) fue elaborada por el autor con el propósito de registrar de manera sistemática la información obtenida durante la observación directa del proceso de embotellado. Mediante este instrumento se documentaron las actividades desarrolladas, tiempos de operación, demoras, inspecciones, reprocesos y demás situaciones relevantes para el análisis del desempeño del proceso, proporcionando información objetiva para la identificación de oportunidades de mejora.

## **2.6. Variables del estudio**

De acuerdo con Coronel-Carvajal (2023), a variable independiente corresponde al factor o fenómeno sobre el cual se realiza el análisis dentro de una investigación, mientras que la variable dependiente representa el elemento cuya aplicación o efecto permite generar cambios sobre la variable independiente. La definición de las variables debe guardar correspondencia con el problema de investigación, los objetivos planteados y el modelo metodológico adoptado.

En la presente investigación, la variable independiente corresponde a la metodología Six Sigma, considerada como la estrategia de mejora propuesta para analizar la variabilidad del proceso. Por su parte, la variable dependiente corresponde al proceso de embotellado, debido a que constituye el objeto de estudio sobre el cual se identifican los defectos, la variabilidad y las oportunidades de mejora

**Variables independientes:** Six Sigma.

**Variable dependiente:** proceso de embotellado.

**Tabla 11.**

*Operacionalización de variables.*

| Variable                                    | Dimensión                  | Aspecto de evaluación | Indicador                             | Técnica                           | Instrumento                                                    |
|---------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Variable Independiente:</b><br>Six Sigma | Aplicación del ciclo DMAIC | Definir               | Identificación del problema y CTQ     | Revisión documental y observación | Ficha de observación                                           |
|                                             |                            | Medir                 | Número de defectos registrados        | Observación directa               | Hoja de registro de defectos                                   |
|                                             |                            |                       | DPMO                                  | Análisis estadístico              | Hoja de registro de defectos y Matriz de recopilación de datos |
|                                             |                            |                       | Nivel Sigma                           | Análisis estadístico              | Matriz de recopilación de datos                                |
|                                             |                            | Analizar              | Defectos priorizados mediante Pareto, | Análisis estadístico              | Hoja de registro de defectos                                   |
|                                             |                            |                       | Identificación de causas raíz         | Análisis causa-efecto             | Ficha de observación                                           |
|                                             |                            |                       | Propuestas de mejora                  | Análisis técnico                  | Matriz de priorización                                         |
|                                             |                            | Controlar             | Indicadores de seguimiento            | Análisis de indicadores           | Registros de seguimiento                                       |
|                                             | Desempeño del proceso      | Calidad del proceso   | Número de defectos                    | Observación directa               | Registro de defectos                                           |
|                                             |                            | Productividad         | Unidades inspeccionadas               | Revisión documental               | Matriz de recopilación de datos                                |

|  |                                                |                                      |                        |                         |
|--|------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|
|  | Características<br>críticas para la<br>calidad | Oportunidades<br>de defecto<br>(CTQ) | Observación<br>directa | Ficha de<br>observación |
|  | Eficiencia<br>operativa                        | Tiempo de<br>operación               | Estudio de<br>tiempos  | Ficha de<br>observación |

*Nota.* Elaborado por el autor.

## 2.7. Procedimiento para la recolección de los datos

El proceso de recolección de datos representa una etapa clave dentro de la investigación, ya que garantiza la obtención de información pertinente, confiable y válida en relación con el objeto de estudio. Este procedimiento se estructura en una serie de fases ordenadas que guían de manera sistemática el desarrollo del estudio, tal como se presenta en la Tabla 12.

**Tabla 12.**

*Plan de procedimiento para la recolección de datos.*

| N.º | Etapas                          | Acciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Diseño de instrumentos          | <p>Elaborar la ficha de observación en función de las variables.</p> <p>Diseñar criterios de evaluación orientados a identificar defectos, variabilidad del proceso, incumplimientos de calidad y oportunidades de mejora en las etapas del embotellado.</p> <p>Aplicar la observación directa a las unidades a inspeccionar durante el estudio y en las actividades que conforman el proceso de embotellado de Aquafit S.A.</p> <p>Utilizar el formato de registro de defectos basado en los requisitos de calidad establecidos para evaluar el cumplimiento de las actividades del proceso.</p> |
| 2   | Recolección y análisis de datos | <p>Recopilar registros documentales relacionados con producción, control de calidad, defectos, reprocesos y reportes operativos de la empresa.</p> <p>Analizar la información obtenida mediante herramientas de la metodología Six Sigma para identificar defectos, calcular indicadores de desempeño, determinar causas potenciales de variabilidad y establecer oportunidades de mejora.</p>                                                                                                                                                                                                    |

*Nota.* Elaborado por el autor.

# **CAPÍTULO III**

## **MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Marco de resultados**

Una vez establecido el sustento teórico mediante el análisis bibliométrico desarrollado en el capítulo I y definido el marco metodológico en el capítulo II, en el presente capítulo se desarrolla el estudio de la metodología Six Sigma a través del ciclo DMAIC al proceso de embotellado de la empresa Aquafit S.A. La ejecución de cada una de sus fases permite cumplir los objetivos específicos de la investigación, partiendo del diagnóstico de la situación actual, la evaluación del desempeño del proceso y la identificación de las principales causas que generan defectos.

En este contexto, se presentan los resultados obtenidos durante las fases DMAIC, empleando las herramientas metodológicas seleccionadas en el protocolo de investigación, tales como el Project Charter, mapa de procesos, hojas de verificación, cálculo del DPMO, nivel Sigma, diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa, técnica de los Cinco Porqués y las propuestas de mejora basadas en Mantenimiento Productivo Total (TPM), Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP), Poka-Yoke y Control Estadístico de Procesos (SPC).

### **3.2. Diagnóstico de la situación actual**

#### **3.2.1. Descripción del proceso de embotellado**

Con el propósito de comprender el funcionamiento del proceso objeto de estudio, se presenta una descripción técnica de las principales operaciones que conforman la línea de producción. Esta descripción resume las actividades desarrolladas desde la preparación de los materiales hasta el almacenamiento del producto terminado, permitiendo identificar las operaciones que posteriormente son analizadas mediante la metodología Six Sigma. La Tabla 13 presenta las etapas principales del proceso y sus características técnicas.

**Tabla 13.***Descripción técnica del proceso de embotellado.*

| <b>Etapas del proceso</b> | <b>Descripción técnica</b>                                                                                 | <b>Entrada</b>                       | <b>Salida</b>         |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Preparación de materiales | Verificación y disponibilidad de botellones, tapas, etiquetas e insumos necesarios para la producción.     | Botellones vacíos e insumos          | Materiales preparados |
| Lavado de botellones      | Limpieza y desinfección de los botellones para eliminar impurezas y garantizar las condiciones de higiene. | Botellones vacíos                    | Botellones limpios    |
| Llenado                   | Dosificación automática de agua purificada hasta el volumen establecido para el producto.                  | Botellones limpios y agua purificada | Botellones llenos     |
| Tapado y sellado          | Colocación y ajuste de la tapa, seguido del sellado de seguridad para garantizar el cierre hermético.      | Botellones llenos                    | Botellones sellados   |
| Etiquetado                | Colocación de la etiqueta de identificación del producto conforme a las especificaciones de la empresa.    | Botellones sellados                  | Producto etiquetado   |
| Inspección final          | Verificación de las características críticas para la calidad (CTQ) antes de liberar el producto.           | Producto etiquetado                  | Producto conforme     |
| Almacenamiento            | Organización y ubicación temporal del producto terminado para su posterior distribución.                   | Producto conforme                    | Producto almacenado   |

*Nota.* Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por Aquafit S.A.

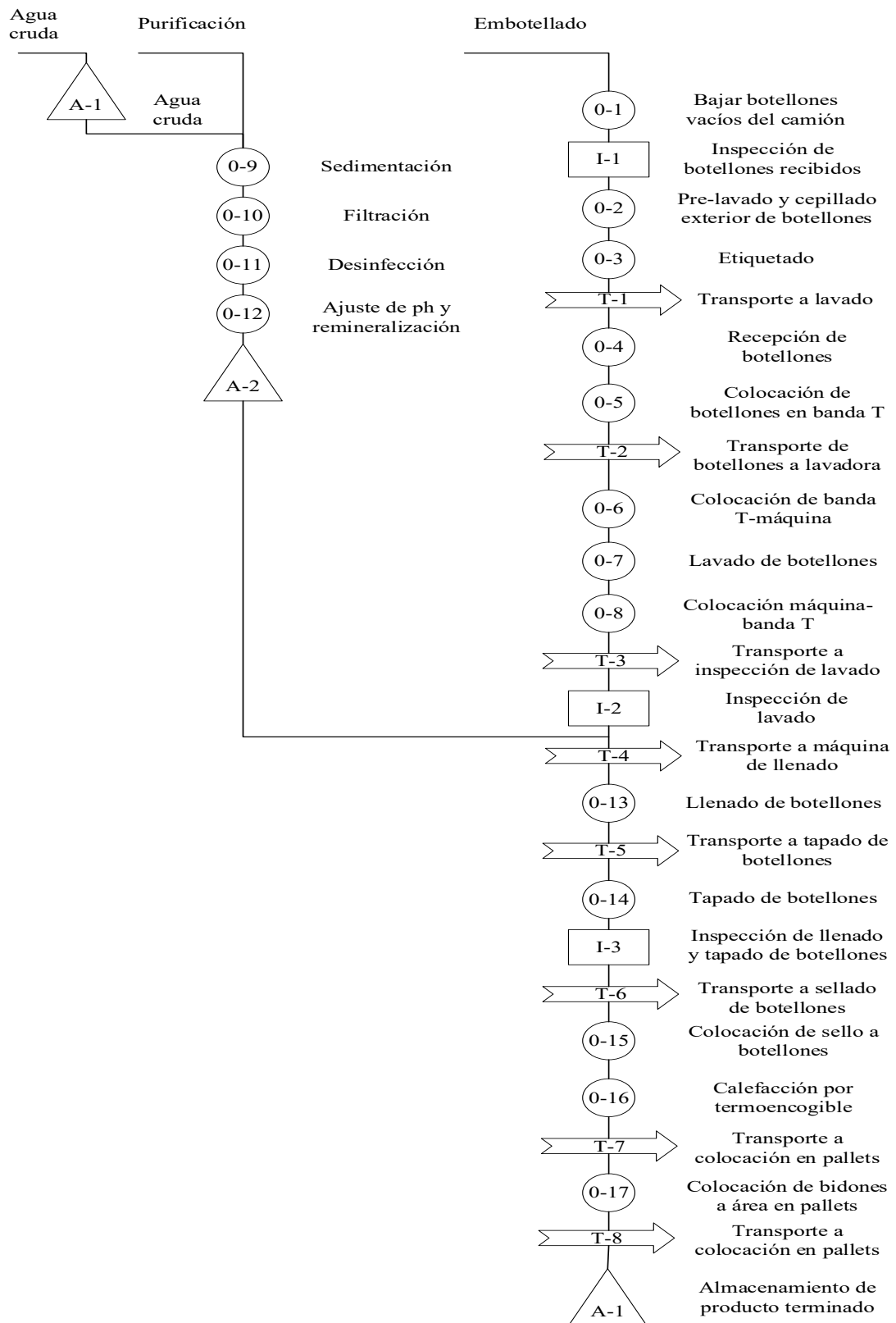
La descripción técnica presentada permite identificar las operaciones que integran el proceso de embotellado y constituye la base para el diagnóstico desarrollado en las fases *Definir* y *Medir* de la metodología Six Sigma. A partir de estas operaciones se evaluó el comportamiento del proceso, la ocurrencia de defectos y las oportunidades de mejora.

### **3.2.2. Diagrama analítico del proceso**

El diagrama representa de forma secuencial todas las actividades que conforman el proceso productivo, empleando la simbología ASME para identificar operaciones, inspecciones, transportes y almacenamientos. Su elaboración permitió visualizar el flujo del proceso, identificar los puntos de inspección y los desplazamientos entre actividades.

**Figura 15.**

*Diagrama analítico del proceso (DAP) de embotellado de agua.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

El proceso inicia con la recepción del agua cruda, la cual es sometida a una etapa de purificación compuesta por operaciones de sedimentación, filtración, desinfección y ajuste de pH, garantizando el cumplimiento de los parámetros de calidad requeridos para el consumo humano. Posteriormente, el agua tratada es transferida al área de embotellado, donde se desarrollan actividades relacionadas con la recepción, preparación y lavado de botellones, acompañadas de inspecciones destinadas a verificar las condiciones de limpieza y aptitud de los envases.

Una vez finalizada la etapa de lavado, los botellones pasan al proceso de llenado, seguido de las operaciones de tapado, sellado y termo encogido, incorporándose inspecciones intermedias que permiten verificar la correcta ejecución de cada actividad y detectar posibles no conformidades antes de continuar con el flujo productivo. Finalmente, los botellones son colocados en pallets y trasladados al área de almacenamiento de producto terminado para su posterior distribución.

Con 17 operaciones y 3 inspecciones distribuidas en purificación y embotellado, el DAP delimita las etapas críticas de lavado, llenado, tapado y sellado. Esto proporciona la información de entrada para el ciclo DMAIC y la reducción de la variabilidad del proceso.

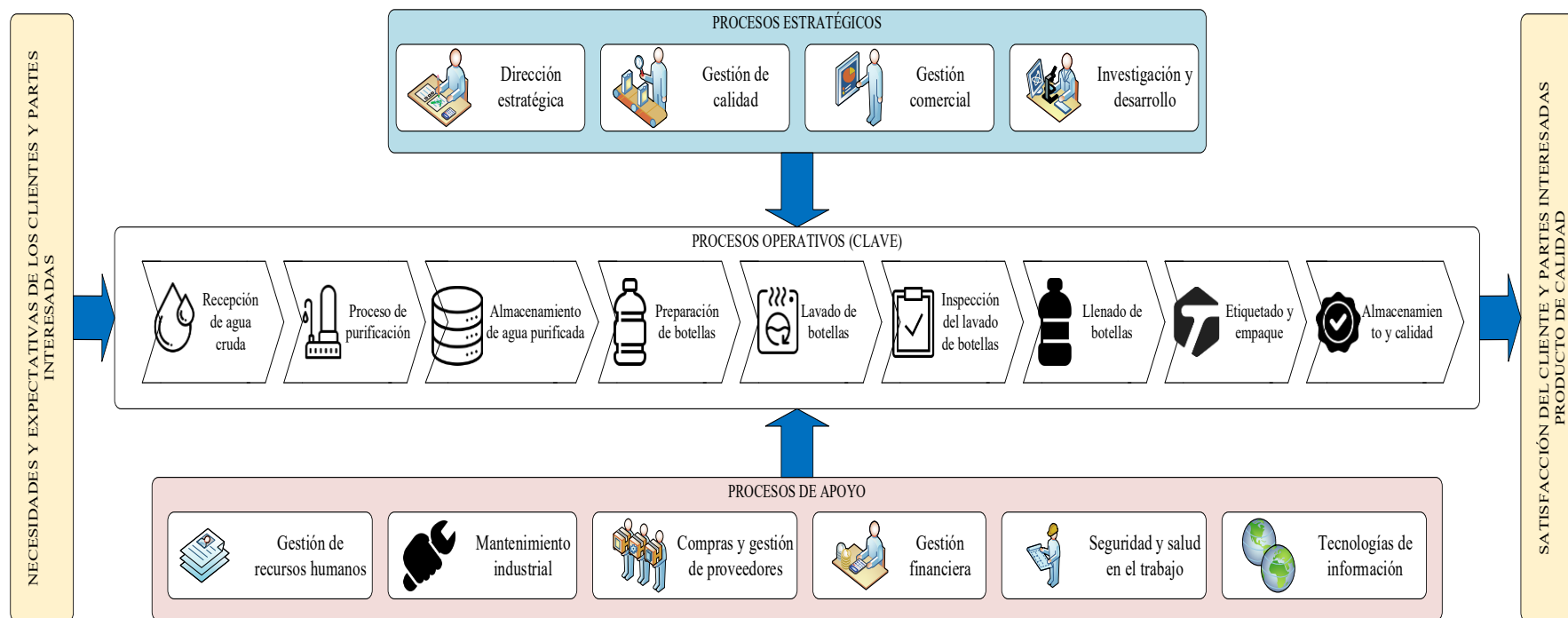
### **3.2.3. Mapa de procesos de la empresa**

El mapa de procesos de Aquafit S.A., representa la estructura general del sistema productivo de la empresa, permitiendo visualizar la interacción entre los procesos estratégicos, operativos y de apoyo que intervienen en la producción de agua purificada embotellada. Esta herramienta facilita la comprensión integral del funcionamiento organizacional y permite identificar la relación existente entre las actividades administrativas y productivas dentro de la empresa.

Posteriormente en la Figura 16, se presentan los procesos operativos o clave, donde se desarrolla la transformación del producto mediante actividades como la recepción de agua cruda, proceso de purificación, almacenamiento de agua purificada, preparación y lavado de botellas, inspección, llenado, etiquetado, empaque y almacenamiento final.

**Figura 16.**

*Mapa de procesos de Aquafit S.A.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

Dentro de este conjunto de actividades, el proceso de embotellado constituye una etapa crítica del sistema productivo, debido a que en él pueden originarse defectos, reprocesos, demoras o variaciones que afectan la calidad del producto final y el desempeño operativo de la empresa. Finalmente, los procesos de apoyo proporcionan soporte a las operaciones principales mediante áreas como gestión de recursos humanos, mantenimiento industrial, compras, gestión financiera, seguridad y salud ocupacional y tecnologías de información, garantizando la disponibilidad de recursos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema productivo.

### 3.3. Propuesta de aplicación de la metodología Six Sigma

La presente propuesta se desarrolla en cumplimiento del objetivo específico 3, el cual consiste en formular un plan de mejora basado en la metodología Six Sigma, mediante las fases del ciclo DMAIC, orientado a la reducción del DPMO, la variabilidad del proceso y al incremento de la calidad del producto final.

### 3.4. Aplicación de la fase definir

#### 3.4.1. Antecedentes históricos del proceso

Con el propósito de conocer la situación inicial del proceso de embotellado, se revisó información histórica proporcionada por la empresa correspondiente a la producción de botellones de 20 litros. Esta revisión permitió identificar la presencia recurrente de productos no conformes dentro de las operaciones productivas. Según los registros de calidad suministrados por la organización, el porcentaje de productos no conformes en la línea de botellones de 20 litros se encuentra generalmente entre el 1,7 % y el 3,0 % de la producción diaria.

#### 3.4.2. Project Charter

El Project Charter presentado en la tabla 14 constituye una herramienta utilizada dentro de la metodología Six Sigma para definir de manera estructurada los aspectos principales del proyecto de mejora, permitiendo establecer el problema identificado, los objetivos, el alcance y los indicadores que orientarán el desarrollo de la investigación.

**Tabla 14.**

*Project charter del proceso de embotellado de Aquafit S.A.*

| Elemento            | Descripción                                                                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proyecto            | Propuesta de aplicación de la metodología Six Sigma para la reducción de defectos en el proceso de embotellado de botellones de 20 litros en Aquafit S.A. |
| Problema            | El proceso de embotellado presenta defectos recurrentes que generan productos no conformes, reprocesos y afectaciones a la calidad del producto final.    |
| Situación actual    | Los registros históricos muestran porcentajes de producto no conforme que fluctúan entre 1,7 % y 3,0 % de la producción anual de botellones de 20 litros. |
| Producción promedio | Aproximadamente 4500 botellones de 20 litros por día.                                                                                                     |

|                      |                                                                                                                              |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivo             | Proponer la metodología Six Sigma mediante el ciclo DMAIC orientada a la reducción de defectos en el proceso de embotellado. |
| Alcance              | Comprende las actividades de lavado, llenado, tapado, sellado y almacenamiento de botellones de 20 litros.                   |
| Beneficios esperados | Reducción de defectos, disminución de reprocesos, mejora de la calidad y fortalecimiento de la eficiencia operativa.         |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La aplicación del Project Charter permitió estructurar de forma clara los elementos fundamentales del proyecto, definiendo el problema de investigación, el objetivo, el alcance, las variables de estudio y los indicadores preliminares que servirán como base para el desarrollo de las siguientes etapas de la metodología Six Sigma.

### 3.4.3. SIPOC del proceso de embotellado

Con el propósito de delimitar el proceso objeto de estudio e identificar los elementos que intervienen en la generación del producto final, se elaboró un diagrama SIPOC (del inglés *Supplier, Input, Process, Output, Customer*). Esta herramienta permite representar de manera general la relación existente entre los proveedores, las entradas requeridas, las principales actividades del proceso, las salidas obtenidas y los clientes que reciben el producto o servicio. Los datos presentados en la Tabla 15 permiten complementar el SIPOC con información cuantitativa del proceso de embotellado, que evidencia el volumen de unidades que atraviesan las diferentes etapas del proceso productivo. Para evaluar su desempeño, durante cinco jornadas de operación.

**Tabla 15.**

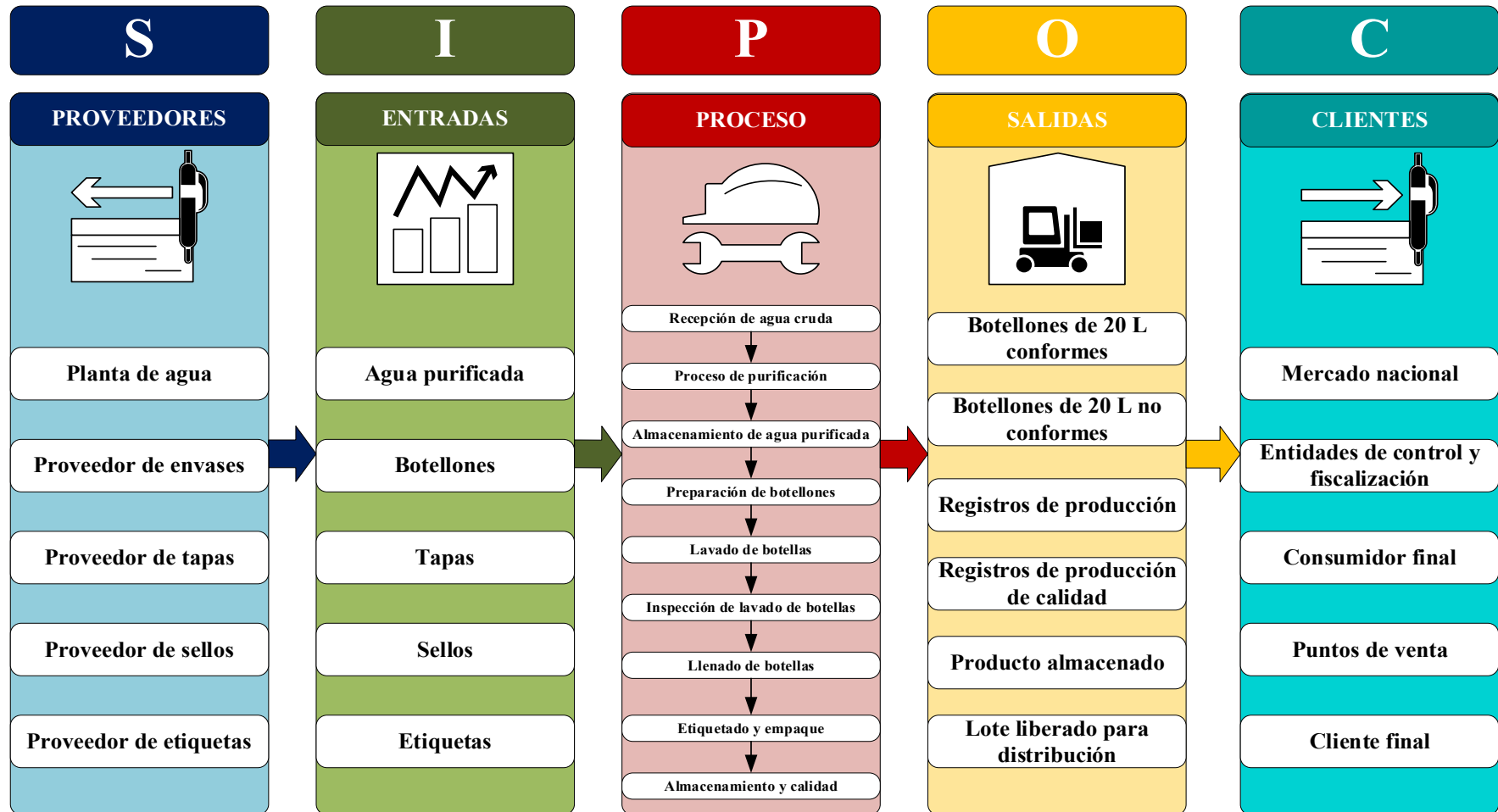
*Datos cuantitativos asociados al proceso representado en el SIPOC.*

| Elemento evaluado          | Indicador                                      | Resultado                   |
|----------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|
| Producción                 | Producción promedio de botellones de 20 litros | <b>4.500 botellones/día</b> |
| Evaluación del proceso     | Jornadas de operación evaluadas                | <b>5 días</b>               |
| Producto inspeccionado     | Muestra efectiva                               | <b>834 botellones</b>       |
| Características de calidad | CTQ evaluadas por unidad                       | <b>8 CTQ</b>                |
| No conformidades           | Defectos identificados                         | <b>172</b>                  |
| Desempeño de calidad       | DPMO                                           | <b>25.779</b>               |
| Antecedentes históricos    | Producto no conforme                           | <b>1,7 % – 3,0 %</b>        |
| Antecedentes históricos    | Promedio referencial                           | <b>2,3 %</b>                |

*Nota.* Elaborado por el autor.

**Figura 17.**

*SIPOC del proceso de embotellado.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

Como resultado del proceso se obtienen botellones de 20 litros conformes y no conformes, además de registros de producción y registros de producción y calidad que permiten realizar el seguimiento de las condiciones del proceso. Finalmente, los productos obtenidos se destinan al mercado nacional, entidades de control y fiscalización, consumidores finales, puntos de venta y clientes finales, constituyendo estos los principales receptores de las salidas generadas.

#### 3.4.4. Voz del cliente

Como parte de la fase *Definir* de la metodología Six Sigma, se realizó la identificación de la voz del cliente (Voice of the Customer, VOC), entendida como el conjunto de necesidades, expectativas y requisitos que los clientes consideran indispensables para aceptar un producto como conforme, los mismos expresados como hallazgos en la Tabla 16. Dentro de la metodología Six Sigma, la VOC permite transformar las necesidades expresadas por los clientes en requisitos técnicos verificables, los cuales posteriormente se establecen como características críticas para la calidad (CTQ).

**Tabla 16.**

*Hallazgos de la voz del cliente.*

| Fuente de información               | Hallazgo identificado                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área de Control de Calidad          | Se identifican botellones con sellos de seguridad defectuosos, desprendidos o colocados de manera inadecuada.                                                        |
| Área de Producción                  | Se presentan variaciones en el nivel de llenado de algunos botellones durante la operación.                                                                          |
| Supervisor de Producción            | Se detectan tapas mal ajustadas que requieren corrección o reproceso.                                                                                                |
| Área de Calidad                     | Se registran etiquetas mal colocadas, inclinadas, desalineadas o con deficiencias de adherencia.                                                                     |
| Registros de productos no conformes | Se evidencian fugas de agua durante la inspección del producto terminado.                                                                                            |
| Registros de inspección             | Se presentan botellones con suciedad visible, daños físicos o condiciones inadecuadas de presentación.                                                               |
| Reportes históricos de producción   | El porcentaje histórico de productos no conformes se encuentra entre 1,7 % y 3 %, por tener alguno de estos hallazgos, con un valor referencial aproximado de 2,3 %. |

*Nota.* Elaborado por el autor.

En este sentido, los criterios de cumplimiento establecidos en la Tabla 17 sirven como parámetros de referencia para evaluar el desempeño del proceso de embotellado y facilitar la identificación de desviaciones que posteriormente serán analizadas mediante la metodología Six Sigma.

**Tabla 17.**

*Voz del cliente (VOC).*

| <b>Voz o requerimiento del cliente interno</b>        | <b>Necesidad del cliente</b>          | <b>Especificación técnica verificable</b>                                                 | <b>Indicador de control</b>                   | <b>Meta de cumplimiento</b> |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Tener la cantidad correcta de agua por botellón       | Volumen adecuado del producto         | Botellón con 20 litros, dentro de la tolerancia establecida por la empresa                | % de botellones con nivel de llenado conforme | ≥ 98 %                      |
| Producir botellones sin pérdidas de agua              | Hermeticidad del envase               | No deben existir pérdidas de agua luego del tapado y sellado                              | % de botellones sin fugas                     | 100 %                       |
| Tener botellones correctamente cerrados               | Seguridad y conservación del producto | Tapa colocada, ajustada y sin inclinación                                                 | % de botellones con tapado conforme           | ≥ 99 %                      |
| Ajuste correcto del del sello al producto final       | Garantía de seguridad                 | Sello termo encogible íntegro, correctamente ubicado y sin desprendimientos               | % de botellones con sello conforme            | ≥ 99 %                      |
| Tener el etiquetado adecuado del producto             | Información comercial visible         | Etiqueta completa, legible, adherida y alineada                                           | % de botellones con etiquetado conforme       | ≥ 98 %                      |
| Procesar un envase limpio                             | Higiene y buena presentación          | Envase libre de manchas, residuos, polvo o suciedad visible                               | % de botellones limpios                       | 100 %                       |
| Asegurar un envase en buen estado                     | Integridad física del producto        | Botellón sin grietas, fisuras, deformaciones ni daños físicos                             | % de botellones íntegros                      | 100 %                       |
| Elaborar un producto apto y seguro para el consumidor | Inocuidad del producto                | Cumplimiento de requisitos sanitarios y condiciones de inocuidad definidas por la empresa | % de cumplimiento de requisitos sanitarios    | 100 %                       |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La información obtenida permitió identificar que los clientes internos, dentro de los departamentos de calidad y producción priorizan que aspectos como el correcto nivel de llenado, el adecuado tapado, el sellado de seguridad, la ausencia de fugas y la correcta colocación de las etiquetas constituyen requisitos indispensables para garantizar la conformidad del producto. La relación entre la VOC y los CTQ, que se muestra en la Tabla 18, permitió convertir los requerimientos expresados por los clientes en criterios verificables durante la inspección del producto terminado.

**Tabla 18.**

*Relación entre VOC y CTQ.*

| Voz del cliente                                       | CTQ asociado           |
|-------------------------------------------------------|------------------------|
| Tener la cantidad correcta de agua por botellón       | Nivel de llenado       |
| Tener botellones correctamente cerrados               | Tapado correcto        |
| Ajuste correcto del del sello al producto final       | Sellado de seguridad   |
| Producir botellones sin pérdidas de agua              | Ausencia de fugas      |
| Tener el etiquetado adecuado del producto             | Etiquetado correcto    |
| Procesar un envase limpio                             | Limpieza del botellón  |
| Asegurar un envase en buen estado                     | Integridad del envase  |
| Elaborar un producto apto y seguro para el consumidor | Inocuidad del producto |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Cada CTQ representa una oportunidad de defecto por botellón, por lo que durante la fase *Medir* se evaluaron ocho oportunidades de incumplimiento en cada unidad inspeccionada. Posteriormente, mediante el análisis de Pareto, se priorizaron los CTQ asociados a los defectos de mayor frecuencia para orientar las acciones de mejora sobre los aspectos que concentran la mayor proporción de no conformidades.

### **3.4.5. Identificación del problema mediante la herramienta 4W + 1H**

Con el propósito de delimitar claramente la problemática objeto de estudio, se aplicó la herramienta 4W + 1H (What, Where, When, How Much y How do we know), utilizada en la fase Definir de la metodología Six Sigma. Esta herramienta permitió describir el problema de forma estructurada, identificando su naturaleza, ubicación, periodo de ocurrencia, magnitud y la evidencia que sustenta su existencia dentro del proceso productivo. La aplicación de esta metodología expresada en la Tabla 19 facilita la comprensión del problema y establece una base objetiva para el impulso de las siguientes fases del ciclo.

**Tabla 19.**

*Identificación del problema mediante la herramienta 4W + 1H.*

| Pregunta       | Descripción                                                                                                                                                      |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Qué?          | Presencia de no conformidades (defectos) durante el proceso de embotellado de botellones de 20 litros.                                                           |
| ¿Dónde?        | En la línea de embotellado de agua purificada de la empresa Aquafit S.A.                                                                                         |
| ¿Cuándo?       | Durante las jornadas normales de producción, evidenciado en los registros históricos y confirmado durante el período de 5 días de evaluación del estudio.        |
| ¿Qué tanto?    | Históricamente el porcentaje de productos no conformes oscila entre 1,7 % y 3,0 %, con un promedio aproximado del 2,3 %, afectando la calidad del proceso.       |
| ¿Cómo se sabe? | Mediante los registros de producción, reportes de control de calidad, hojas de inspección y datos recopilados durante la fase Medir de la metodología Six Sigma. |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### **3.4.6. Declaración del problema**

Se evidencian que el proceso de embotellado presenta defectos recurrentes relacionados con el llenado, sellado, colocación de tapas, etiquetado y condiciones físicas del envase. Estas no conformidades representan entre el 1,7 % y el 3,0 % de la producción, con un promedio aproximado del 2,3 %. Esta situación genera reprocesos, pérdidas de productividad y variabilidad operativa, lo que compromete los estándares de calidad.

### **3.5. Aplicación de la fase medir**

La fase *Medir* tiene como finalidad cuantificar el desempeño actual del proceso mediante la recopilación de datos objetivos relacionados con la producción y los defectos presentes en el proceso de embotellado. Esta etapa permite establecer una línea base que servirá como punto de referencia para evaluar posteriormente el impacto de las acciones de mejora propuestas mediante la metodología Six Sigma. Para la ejecución de esta fase se utilizaron instrumentos de recopilación de información que permitieron registrar defectos, consolidar datos de producción y analizar el comportamiento del proceso.

#### **3.5.1. Plan de recopilación de datos**

La recopilación de información se realizó mediante la aplicación de una hoja de registro de defectos, una ficha de observación y una matriz de recopilación de datos de producción. Estos instrumentos permitieron registrar de manera sistemática las no conformidades identificadas durante las jornadas de producción y consolidar la

información necesaria para el cálculo de los indicadores Six Sigma. Los datos obtenidos fueron organizados y clasificados de acuerdo con las características críticas para la calidad (CTQ) previamente definidas, garantizando la trazabilidad de la información y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

### 3.5.2. Evaluación de producción

Con el propósito de conocer el comportamiento del proceso de embotellado de botellones de 20 litros, se efectuó una inspección durante cinco jornadas consecutivas de operación en Aquafit S.A. Como se muestra en la tabla 20 La evaluación se desarrolló mediante la selección aleatoria de unidades producidas en distintos momentos de cada jornada, considerando el tamaño muestral efectivo de 834 botellones.

**Tabla 20.**

*Resumen de la muestra inspeccionada durante el período de estudio.*

| Concepto                          | Cantidad                                 |
|-----------------------------------|------------------------------------------|
| Jornadas de operación evaluadas   | 5 días                                   |
| Muestra efectiva inspeccionada    | 834 botellones                           |
| Tipo de selección                 | Muestreo probabilístico aleatorio simple |
| Unidad de análisis                | Botellón de agua de 20 litros            |
| Características evaluadas         | 8 CTQ                                    |
| Total de oportunidades de defecto | 6.672 oportunidades                      |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Se permitió capturar la variabilidad en distintas condiciones operativas, asegurando la representatividad del desempeño habitual del proceso. La Tabla 21 presenta la distribución de los botellones inspeccionados según cada jornada de evaluación.

**Tabla 21.**

*Distribución de la muestra inspeccionada por jornada de evaluación.*

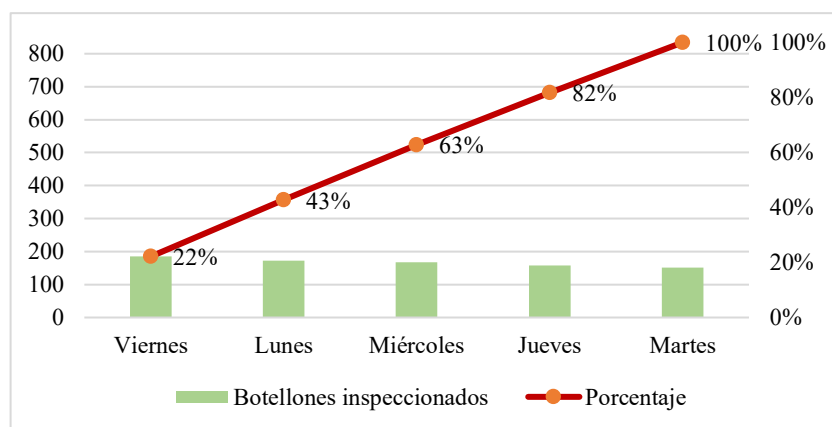
| Día de evaluación | Botellones inspeccionados | Participación (%) |
|-------------------|---------------------------|-------------------|
| Lunes             | 172                       | 20,62 %           |
| Martes            | 152                       | 18,23 %           |
| Miércoles         | 167                       | 20,02 %           |
| Jueves            | 158                       | 18,94 %           |
| Viernes           | 185                       | 22,18 %           |
| <b>Total</b>      | <b>834</b>                | <b>100,00 %</b>   |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Esta distribución permitió obtener observaciones en diferentes días y momentos operativos, reduciendo la posibilidad de que los resultados dependan únicamente de una condición particular de producción. Con el propósito de complementar la interpretación de estos resultados, la Figura 18 presenta la representación gráfica de la distribución porcentual de la muestra inspeccionada durante las cinco jornadas de evaluación.

**Figura 18.**

*Distribución de la muestra por día.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

Del total de 834 botellones inspeccionados, el mayor número de unidades evaluadas correspondió al viernes, con 185 botellones (22,18 %), seguido del lunes, con 172 unidades (20,62 %), y del miércoles, con 167 unidades (20,02 %). Por su parte, el jueves representó 158 botellones (18,94 %), mientras que el martes registró la menor cantidad inspeccionada, con 152 unidades (18,23 %).

### 3.5.3. Registro de defectos observados

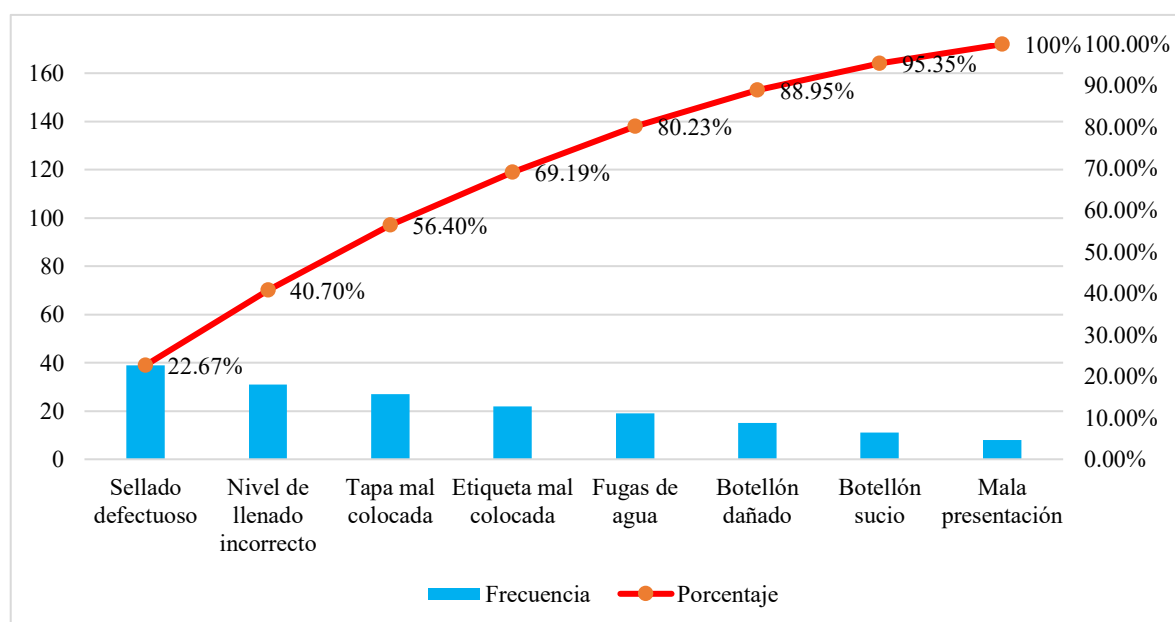
Durante la inspección se registraron no conformidades vinculadas a las características críticas para la calidad (CTQ) de la línea. Como muestra la Tabla 22, las mayores incidencias corresponden al sellado defectuoso (22,67 %), el nivel de llenado incorrecto (18,02 %) y la tapa mal colocada (15,70 %), seguidos por fallas en etiquetado (12,79 %) y fugas (11,05 %). En menor proporción se presentaron defectos de integridad, limpieza e inocuidad. Los datos confirman que la variabilidad se concentra en las operaciones de llenado, tapado y sellado, estableciendo la base para priorizar las causas en la fase *Analizar*.

**Tabla 22.***Frecuencia de defectos identificados.*

| Tipo de defecto             | Frecuencia | % Individual   | % Acumulado |
|-----------------------------|------------|----------------|-------------|
| Sellado defectuoso          | 39         | 22.67%         | 22.67%      |
| Nivel de llenado incorrecto | 31         | 18.02%         | 40.70%      |
| Tapa mal colocada           | 27         | 15.70%         | 56.40%      |
| Etiqueta mal colocada       | 22         | 12.79%         | 69.19%      |
| Fugas de agua               | 19         | 11.05%         | 80.23%      |
| Botellón dañado             | 15         | 8.72%          | 88.95%      |
| Botellón sucio              | 11         | 6.40%          | 95.35%      |
| Inocuidad                   | 8          | 4.65%          | 100%        |
| <b>Total</b>                | <b>172</b> | <b>100.00%</b> |             |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La Figura 19 presenta el diagrama de Pareto correspondiente a los defectos identificados durante la inspección del proceso de embotellado. Los resultados evidencian que los defectos relacionados con el sellado defectuoso (22,67 %), el nivel de llenado incorrecto (18,02 %), la tapa mal colocada (15,7 %), la etiqueta mal colocada (12,79 %) y las fugas de agua (11,05 %) concentran aproximadamente el 80,23 % de los problemas detectados.

**Figura 19.***Diagrama de Pareto de los defectos.**Nota.* Elaborado por el autor.

El análisis de frecuencia permitió identificar los defectos que presentan una mayor ocurrencia dentro del proceso productivo. Los resultados muestran que los problemas asociados al sellado defectuoso, nivel de llenado incorrecto y etiquetado representan la mayor proporción de defectos observados durante la inspección

#### 3.5.4. Determinación de oportunidades de defecto

A partir de las características críticas para la calidad (CTQ) de la fase definir, se fijaron las oportunidades de defecto a inspeccionar en cada botellón de 20 litros. La Tabla 23 detalla las ocho variables verificadas. Cada variable se consideró una oportunidad independiente de no conformidad para el cálculo estandarizado del DPMO.

**Tabla 23.**

*Oportunidades por unidad.*

| CTQ                     | Oportunidad |
|-------------------------|-------------|
| Sellado                 | 1           |
| Nivel de llenado        | 1           |
| Tapa                    | 1           |
| Etiqueta                | 1           |
| Integridad del botellón | 1           |
| Fugas                   | 1           |
| Limpieza                | 1           |
| Inocuidad               | 1           |
| <b>Total</b>            | <b>8</b>    |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Así, cada unidad de la muestra (n = 834) se evaluó frente a las ocho oportunidades de defecto, consolidando un total de 6.672 oportunidades inspeccionadas. Este volumen de datos sirvió de base para calcular el DPMO y el nivel Sigma de línea base, cuantificando la capacidad inicial del proceso de embotellado.

#### 3.5.5. Cálculo del DPO

El indicador DPO mide la frecuencia de defectos en relación con las oportunidades totales evaluadas. Su determinación, que fundamenta el cálculo posterior del DPMO, se realizó mediante la ecuación (2). Este resultado indica que existe una probabilidad de defecto del 2,53 % por cada oportunidad evaluada dentro del proceso. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$DPO = \frac{\text{Numero de defectos}}{\text{Unidades inspeccionadas} * \text{Oportunidades por unidad}} \quad (2)$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$DPO = \frac{172}{834 * 8} = 0,0258$$

### 3.5.6. Cálculo del DPMO

Posteriormente se calculó el indicador Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), mediante la ecuación (3) el cual constituye uno de los principales indicadores utilizados por la metodología Six Sigma para evaluar el desempeño de los procesos.

La ecuación utilizada fue:

$$DPMO = \frac{\text{Numero de defectos}}{\text{Unidades inspeccionadas} * \text{Oportunidades por unidad}} * 1000000 \quad (3)$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$DPMO = \frac{172}{834 * 8} * 1000000$$

$$DPMO = 25779$$

A partir del DPO, se determinaron los Defects per Million Opportunities (DPMO) mediante la ecuación (2) para estandarizar la tasa de fallas a escala de un millón de oportunidades. Los resultados consolidados se presentan en la Tabla 24. El resultado evidencia un valor de 25.779 DPMO, lo que significa que, si el comportamiento actual del proceso se mantuviera constante, estadísticamente podrían presentarse aproximadamente 25.779 no conformidades por cada millón de oportunidades evaluadas.

**Tabla 24.**

*Resultado del DPMO.*

| Indicador                | Valor |
|--------------------------|-------|
| Defectos encontrados     | 172   |
| Muestra evaluada         | 834   |
| Oportunidades por unidad | 8     |
| DPMO                     | 25779 |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Este resultado refleja la existencia de variabilidad en el proceso de embotellado y evidencia oportunidades de mejora. En consecuencia, el valor obtenido constituye la línea base del desempeño del proceso y sirve como referencia para evaluar el efecto de las acciones de mejora propuestas mediante las fases posteriores del ciclo DMAIC.

### 3.5.7. Determinación del nivel Sigma

En la Tabla 25 se muestra el nivel Sigma obtenido, lo que indica que el proceso presenta oportunidades de mejora significativas, debido a que aún se encuentra distante del nivel de desempeño considerado de clase mundial por la metodología Six Sigma. Con base en el valor obtenido para el DPMO, el proceso presenta un nivel de desempeño aproximado de:

**Tabla 25.**

*Nivel Sigma actual.*

| Indicador   | Valor         |
|-------------|---------------|
| DPMO        | 25779         |
| Nivel Sigma | 3,45 $\sigma$ |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### 3.5.8. Línea base del proceso

Esta línea base representa la situación inicial del proceso respecto a la cantidad de defectos identificados y los indicadores Six Sigma calculados, como se muestra en la Tabla 26, constituyéndose como referencia para evaluar el impacto esperado de las acciones de mejora.

**Tabla 26.**

*Línea base del proceso.*

| Indicador                | Resultado      |
|--------------------------|----------------|
| Producción evaluada      | 834 botellones |
| Defectos encontrados     | 172            |
| Oportunidades por unidad | 8              |
| DPO                      | 0,0258         |
| DPMO                     | 25779          |
| Nivel Sigma              | 3,45 $\sigma$  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### 3.5.9. Simulación de la situación actual

Con el propósito de representar el comportamiento operativo del proceso de embotellado de botellones de 20 litros, se desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos. La simulación reprodujo la secuencia operacional de la línea, identificando las interacciones entre recursos, y el desempeño del sistema bajo las condiciones actuales.

El modelo se estructuró a partir de las etapas operativas de la línea: recepción de botellones vacíos, lavado y desinfección, llenado, tapado, sellado de seguridad, etiquetado e inspección final. Cada botellón fue representado como una entidad que avanza secuencialmente a través de las operaciones, mientras que las máquinas y operarios fueron incorporados como recursos necesarios para ejecutar cada actividad. La simulación no tuvo como finalidad reemplazar la evaluación de calidad realizada mediante los indicadores Six Sigma, sino complementar el análisis del proceso mediante la representación de su flujo operativo.

#### Delimitación del modelo de simulación

El modelo de simulación se delimitó desde el ingreso de los botellones vacíos al área de producción hasta la inspección final del producto embotellado. Tal como se muestra en la Tabla 27, se excluyeron las actividades externas al proceso, tales como distribución, comercialización y entrega al cliente, debido a que no forman parte directa del alcance de la investigación.

**Tabla 27.**

*Alcance del modelo de simulación.*

| Elemento              | Descripción                                                                                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inicio del modelo     | Ingreso de botellones vacíos al proceso de embotellado.                                                               |
| Fin del modelo        | Inspección final de los botellones de 20 litros.                                                                      |
| Producto analizado    | Botellones de agua purificada de 20 litros.                                                                           |
| Tipo de simulación    | Simulación de eventos discretos.                                                                                      |
| Unidad de análisis    | Botellón de 20 litros.                                                                                                |
| Período de simulación | Jornada de producción definida para el modelo.                                                                        |
| Variables observadas  | Botellones procesados, tiempos de espera, utilización de recursos, acumulación entre procesos y defectos registrados. |
| Actividades excluidas | Distribución, almacenamiento externo y comercialización.                                                              |

*Nota.* Elaborado por el autor.

## Descripción del flujo modelado

Con el propósito de analizar el comportamiento del proceso de embotellado de botellones de 20 litros, se desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos utilizando el software FlexSim 2026. El modelo representa el flujo actual de producción desde el ingreso de los botellones vacíos hasta la inspección final del producto. Al finalizar, expresados en la Tabla 28, los botellones pasan a un punto de inspección, donde se determina si cumplen con las características críticas para la calidad (CTQ). Los productos conformes continúan el flujo normal del proceso, mientras que aquellos que presentan algún defecto son registrados para efectos del análisis estadístico del modelo.

**Tabla 28.**

*Variables empleadas en la simulación del proceso actual.*

| Proceso           | Variables consideradas                                | Descripción                                                                               |
|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lavado            | Tiempo de lavado, operario, capacidad del equipo.     | Determina el tiempo requerido para limpiar y desinfectar cada botellón antes del llenado. |
| Llenado           | Tiempo de llenado, capacidad de producción, operario. | Controla el volumen de agua suministrado a cada botellón.                                 |
| Tapado            | Tiempo de colocación de tapa, operario.               | Representa el cierre del envase mediante la colocación de la tapa.                        |
| Sellado hermético | Tiempo de sellado, equipo termo encogible, operario.  | Modela la colocación del sello de seguridad.                                              |
| Etiquetado        | Tiempo de etiquetado manual, operario.                | Representa la colocación manual de la etiqueta del producto.                              |
| Inspección final  | Número de defectos detectados.                        | Clasifica los productos como conformes o defectuosos.                                     |

*Nota.* Elaborado por el autor.

## Recursos utilizados en la simulación

Los recursos incorporados de la Tabla 29, representan los equipos y el personal que intervienen directamente en el proceso de embotellado. Su inclusión permite determinar la disponibilidad de cada elemento durante la ejecución del modelo y observar su nivel de utilización.

**Tabla 29.***Recursos considerados en el modelo de simulación.*

| <b>Recurso</b>                        | <b>Cantidad</b> | <b>Función dentro del modelo</b>                                 |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|
| Operario de recepción                 | 1               | Recibir los botellones vacíos hacia el área de lavado.           |
| Lavadora de botellones                | 1               | Ejecutar el lavado y la desinfección de los envases.             |
| Llenadora de botellones               | 1               | Dosificar el agua purificada en los botellones de 20 litros.     |
| Operario de llenado                   | 1               | Supervisar el proceso de llenado y verificar el nivel de agua.   |
| Tapadora                              | 1               | Colocar y ajustar la tapa de seguridad en el botellón.           |
| Operario de tapado                    | 1               | Supervisar el ajuste de la tapa y atender posibles desviaciones. |
| Equipo termo encogible                | 1               | Colocar el sello de seguridad alrededor de la tapa.              |
| Operario de sellado                   | 1               | Verificar la correcta colocación del sello de garantía.          |
| Etiquetadora o estación de etiquetado | 1               | Colocar la etiqueta de identificación del producto.              |
| Operario de etiquetado                | 1               | Revisar la posición, legibilidad y adherencia de la etiqueta.    |

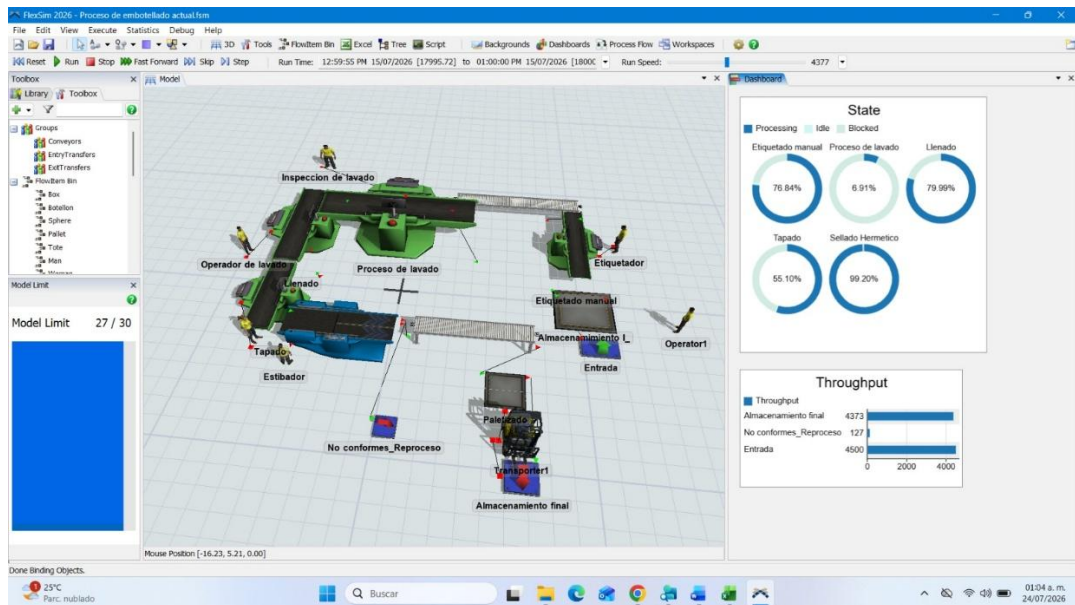
*Nota.* Elaborado por el autor.**Funcionamiento del modelo**

El modelo de simulación representa el comportamiento actual del proceso de embotellado de agua en botellones de 20 litros de la empresa Aquafit S.A. El sistema inicia con el ingreso de 4500 botellones a la línea de producción, los cuales avanzan secuencialmente por las operaciones de lavado, llenado, tapado, sellado hermético, etiquetado manual y almacenamiento del producto terminado.

Durante la ejecución de la simulación se registran automáticamente indicadores relacionados con el desempeño operativo, entre ellos el número de unidades procesadas, productos no conformes, utilización de los recursos, estados de operación (procesando, inactivo y bloqueado). Estos resultados permiten representar el comportamiento actual del proceso, identificar restricciones operativas y establecer una línea base que sirve para comparar posteriormente el escenario mejorado propuesto mediante la metodología Six Sigma. La Figura 20 presenta el modelo de simulación correspondiente al estado actual del proceso de embotellado.

**Figura 20.**

*Modelo de simulación del estado actual del proceso de embotellado.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

Con el propósito de evaluar el desempeño del proceso de embotellado bajo las condiciones actuales de operación, se ejecutó el modelo de simulación durante una jornada equivalente a 18 000 segundos (5 horas), considerando una producción de 4500 botellones. Los resultados obtenidos constituyen la línea base sobre la cual posteriormente se evaluará el impacto de la propuesta de mejora basada en la metodología Six Sigma. La Tabla 30 presenta los principales indicadores obtenidos durante la simulación del estado actual.

**Tabla 30.**

*Resultados obtenidos en la simulación del estado actual.*

| Indicador                  | Resultado |
|----------------------------|-----------|
| Tiempo de simulación       | 18000 seg |
| Botellones procesados      | 4500      |
| Unidades no conformes (3%) | 127       |
| OEE actual                 | 43.02%    |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Los resultados obtenidos evidencian que, durante la jornada simulada de 18 000 segundos, ingresaron 4500 botellones al proceso de embotellado, de los cuales 4373

finalizaron correctamente el recorrido hasta el almacenamiento final, mientras que 127 unidades fueron enviadas a reproceso por presentar alguna condición de no conformidad. De esta manera, el modelo estimó un total de 927 defectos, valor coherente con el diagnóstico realizado durante la fase *Measure*, donde se identificó la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de defectos presentes en la línea de producción.

De igual manera, el modelo determinó un OEE de 43,02 %, indicador que refleja oportunidades importantes de mejora en la eficiencia global del proceso. El panel de estados de la simulación muestra que el sellado hermético presenta una utilización cercana al 99,20 %, constituyéndose en uno de los recursos con mayor carga de trabajo. Asimismo, las etapas de llenado (79,99 %), etiquetado manual (76,84 %) y tapado (55,10 %) presentan diferentes niveles de utilización que permiten identificar posibles restricciones y oportunidades de optimización. En conjunto, estos resultados justifican la implementación de la propuesta basada en Six Sigma para reducir la variabilidad del proceso, disminuir la cantidad de defectos y mejorar el desempeño global de la línea de embotellado.

### **3.6. Aplicación de la fase analizar**

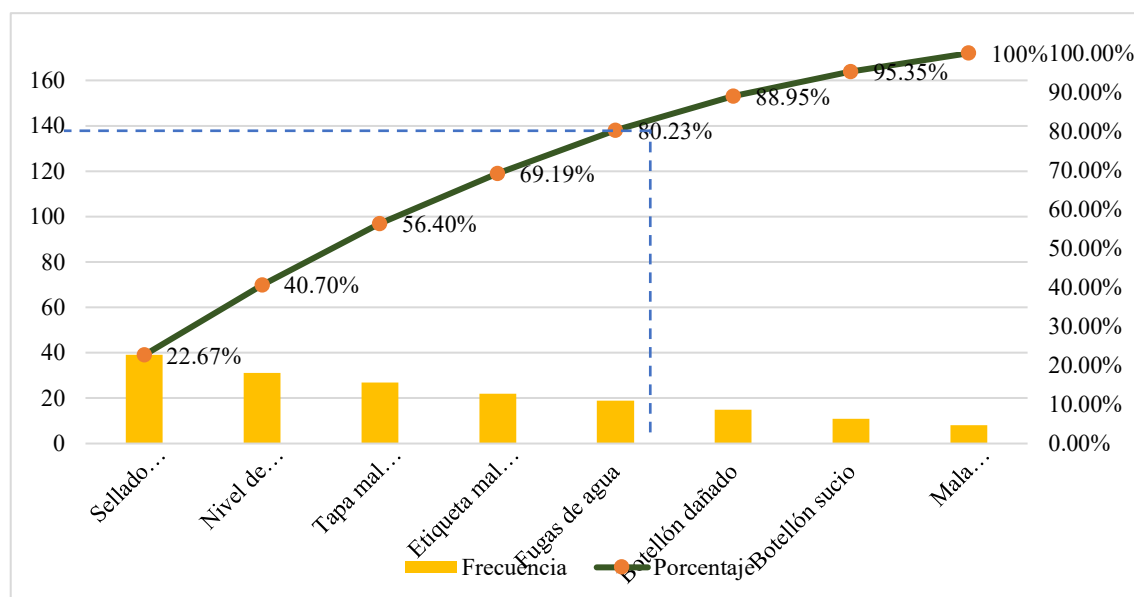
La fase *Analizar* tiene como propósito identificar las causas que originan los defectos detectados durante la fase *Medir*, permitiendo comprender los factores que generan variabilidad en el proceso de embotellado de botellones de 20 litros de Aquafit S.A. Para ello, se emplearon herramientas de análisis de calidad como el diagrama de Pareto, el diagrama causa-efecto (Ishikawa) y la técnica de los 5 porqués, con la finalidad de determinar las causas raíz responsables de las principales no conformidades registradas en el proceso productivo.

#### **3.6.1. Priorización de defectos mediante análisis de Pareto**

El análisis de Pareto permite identificar los defectos que generan el mayor impacto dentro del proceso productivo, basándose en el principio 80/20, el cual establece que una pequeña cantidad de causas suele generar la mayor parte de los problemas. Su aplicación facilita la priorización de esfuerzos de mejora hacia aquellos defectos que presentan una mayor frecuencia de ocurrencia.

**Figura 21.**

*Priorización de defectos mediante Pareto.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

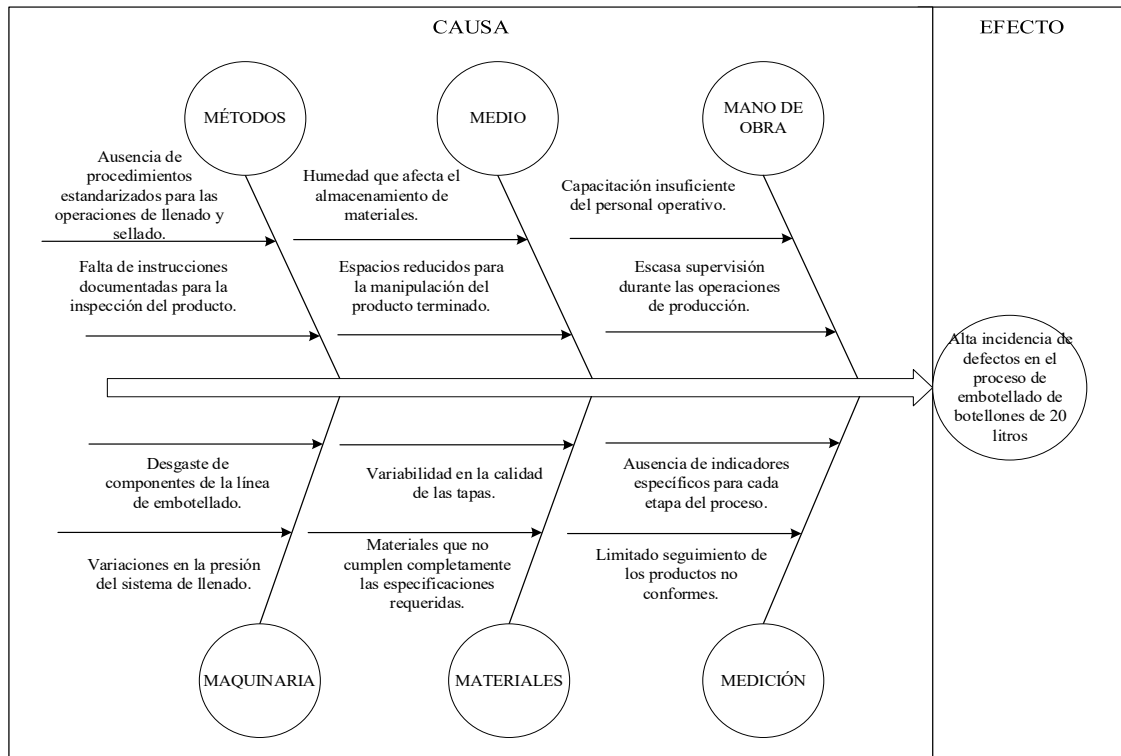
A partir del diagrama de Pareto observado en la Figura 21 se evidenciaron los defectos identificados durante la inspección del proceso de embotellado. Los resultados evidencian que los defectos relacionados con el sellado defectuoso (22,67 %), el nivel de llenado incorrecto (18,02 %), la tapa mal colocada (15,70 %), la etiqueta mal colocada (12,79 %) y las fugas de agua (11,05 %) concentran aproximadamente el 80,23 % de las no conformidades detectadas. Esto demuestra que la mayor parte de los problemas se origina en 5 causas, de acuerdo con el principio de Pareto.

### 3.6.2. Análisis de causas mediante diagrama de Ishikawa

Con la finalidad de determinar las causas que generan la alta incidencia de defectos en el proceso de embotellado, se aplicó el diagrama Ishikawa basado en el enfoque de las 6M: mano de obra, maquinaria, método, material, medio ambiente y medición. Esta herramienta permitió organizar las posibles fuentes de variabilidad presentes en el proceso y establecer una relación entre los factores operativos y la generación de defectos. La Figura 22 presenta el diagrama de Ishikawa correspondiente al problema general identificado durante la fase analizar: alta incidencia de defectos en el proceso de embotellado.

**Figura 22.**

*Diagrama de Ishikawa de primer nivel: alta incidencia de defectos en el proceso.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

Posteriormente, las causas identificadas fueron evaluadas mediante una matriz de priorización considerando la frecuencia de ocurrencia y el impacto sobre la calidad del producto, como se muestra en la Tabla 30. Esta valoración permitió determinar las causas con mayor influencia sobre el problema analizado.

**Tabla 31.**

*Priorización de causas identificadas mediante diagrama de Ishikawa.*

| Causa identificada                         | Frecuencia | Impacto | Nivel de prioridad |
|--------------------------------------------|------------|---------|--------------------|
| Falta de mantenimiento preventivo.         | 5          | 5       | 25                 |
| Ausencia de procedimientos estandarizados. | 5          | 4       | 20                 |
| Falta de capacitación del personal.        | 4          | 4       | 16                 |
| Parámetros operativos no controlados.      | 3          | 4       | 12                 |
| Inspección insuficiente.                   | 3          | 3       | 9                  |

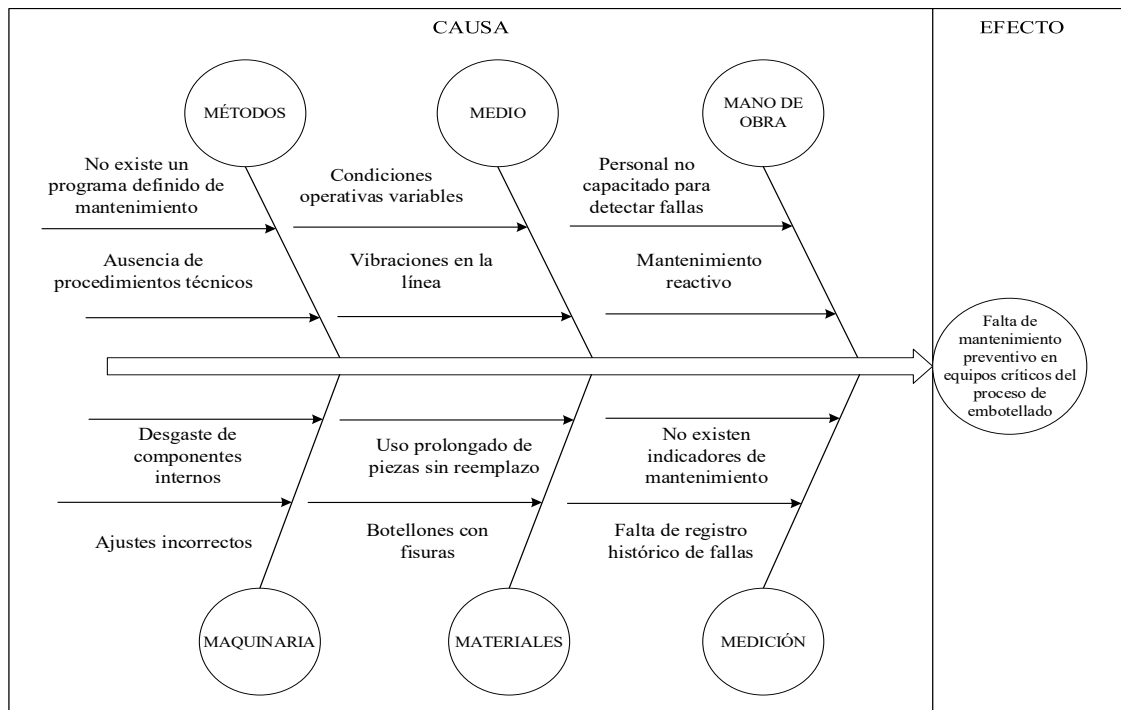
*Nota.* Elaborado por el autor.

Los resultados evidenciaron que las principales causas asociadas al problema corresponden a la falta de mantenimiento preventivo de los equipos, ausencia de

procedimientos estandarizados y deficiencias en la capacitación del personal. A partir de esta causa prioritaria se desarrolló un segundo nivel de análisis mediante un diagrama de Ishikawa específico, orientado a identificar las causas raíz relacionadas con el mantenimiento de los equipos, como se muestra en la figura 23.

**Figura 23.**

*Diagrama de Ishikawa de segundo nivel Falta de mantenimiento preventivo en equipos.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

### 3.6.3. Aplicación de la técnica de los 5 porqués

Con el propósito de profundizar en las causas identificadas mediante el diagrama de Ishikawa, se aplicó la técnica de los 5 porqués a los defectos que presentaron mayor frecuencia de ocurrencia. Esta herramienta permite identificar la causa raíz de un problema mediante una secuencia de preguntas orientadas a descubrir el origen real de las no conformidades. Para determinar la causa raíz del sellado defectuoso el problema de mayor incidencia, se aplicó la técnica de los 5 porqués. Este análisis estructurado permitió trazar la secuencia causal del problema hasta identificar sus factores primarios, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 32 a continuación.

**Tabla 32.***Defecto 1: sellado defectuoso.*

| Pregunta                                           | Respuesta                                                                        |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Por qué ocurre el sellado defectuoso?             | Porque algunos botellones presentan sellos de seguridad mal colocados o sueltos. |
| ¿Por qué los sellos se colocan incorrectamente?    | Porque existen variaciones durante la operación de sellado.                      |
| ¿Por qué existen variaciones durante la operación? | Porque el procedimiento no se ejecuta de manera uniforme.                        |
| ¿Por qué no se ejecuta de manera uniforme?         | Porque existen variaciones en el funcionamiento del equipo.                      |
| ¿Por qué no se realizan calibraciones?             | Porque no existe un programa formal de mantenimiento preventivo.                 |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Tras analizar el sellado defectuoso, se aplicó la técnica de los 5 porqués al nivel de llenado incorrecto. El análisis aisló las desviaciones operativas en la dosificación del producto hasta determinar su causa raíz junto con la respuesta, cuya secuencia de evaluación se resume en la Tabla 33.

**Tabla 33.***Defecto 2: nivel de llenado incorrecto,*

| Pregunta                                         | Respuesta                                                              |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| ¿Por qué ocurre el nivel de llenado incorrecto?  | Porque algunas unidades contienen más o menos agua de la especificada. |
| ¿Por qué ocurre esta variación?                  | Porque el sistema de llenado no mantiene una dosificación constante.   |
| ¿Por qué no mantiene una dosificación constante? | Porque los parámetros operativos no están definidos.                   |
| ¿Por qué no están definidos?                     | Porque no existen rangos de control establecidos.                      |
| ¿Por qué no existen rangos de control?           | Porque no se dispone de procedimientos estandarizados para el llenado. |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Para determinar el origen de las fallas en el tapado, se evaluó este defecto mediante la técnica de los 5 porqués. El análisis identificó los factores operacionales que impiden el asentamiento correcto de la tapa, ya sean mal colocadas o variaciones en las operaciones, cuya secuencia causal se detalla en la Tabla 34.

**Tabla 34.***Defecto 3: tapa mal colocada.*

| Pregunta                                           | Respuesta                                                                                            |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Por qué algunas tapas quedan mal colocadas?       | Porque no se ajustan correctamente al botellón.                                                      |
| ¿Por qué no se ajustan correctamente?              | Porque el equipo de tapado presenta variaciones en su operación.                                     |
| ¿Por qué presenta variaciones en su operación?     | Porque los parámetros de ajuste no se verifican periódicamente.                                      |
| ¿Por qué no se verifican periódicamente?           | Porque no existe un procedimiento estandarizado de inspección y calibración del equipo.              |
| ¿Por qué no existe un procedimiento estandarizado? | Porque no se ha establecido un programa formal de control y mantenimiento para el sistema de tapado. |

*Nota.* Elaborado por el autor.

El defecto de etiquetado se evaluó mediante la técnica de los 5 porqués para determinar las causas de la desalineación en el envase, ya sean colocadas incorrectamente o exista alguna desalineación. Este análisis identificó como causa raíz la falta de estandarización en la operación, según se detalla en la Tabla 35.

**Tabla 35.***Defecto 4: etiqueta mal colocada.*

| Pregunta                                           | Respuesta                                                      |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| ¿Por qué las etiquetas se colocan incorrectamente? | Porque presentan desalineación respecto al envase.             |
| ¿Por qué existe desalineación?                     | Porque no hay una guía de referencia para su colocación.       |
| ¿Por qué no existe una guía?                       | Porque el procedimiento no está estandarizado.                 |
| ¿Por qué no está estandarizado?                    | Porque no se han definido criterios específicos de etiquetado. |
| ¿Por qué no se han definido dichos criterios?      | Porque no existe un instructivo formal para esta operación.    |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Finalmente, el defecto por fugas de agua se analizó mediante los 5 porqués. El estudio evidenció deficiencias en los controles e inspecciones de la línea como son las fugas de agua, que no estén sellados correctamente, que no sean detectados, identificando la causa raíz que se detalla en la Tabla 36.

**Tabla 36.***Defecto 5: fugas de agua.*

| Pregunta                                  | Respuesta                                                             |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| ¿Por qué se presentan fugas de agua?      | Porque algunas unidades no sellan correctamente.                      |
| ¿Por qué no sellan correctamente?         | Porque ciertos defectos no son detectados durante la inspección.      |
| ¿Por qué no son detectados?               | Porque la revisión se realiza únicamente de forma visual.             |
| ¿Por qué se realiza solo de forma visual? | Porque no existe un procedimiento de verificación definido.           |
| ¿Por qué no existe dicho procedimiento?   | Porque no se ha implementado un sistema formal de control de calidad. |

*Nota.* Elaborado por el autor.**3.6.4. Identificación de causas raíz**

Como resultado del análisis efectuado, se identificaron las causas raíz asociadas a los defectos de sellado, llenado, tapado, etiquetado y fugas, los cuales representan el 80,23 % de las no conformidades del proceso, presentadas en la Tabla 37.

**Tabla 37.***Causas raíz identificadas.*

| Defecto crítico              | Causa raíz identificada                                        |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Sellado defectuoso.          | Ausencia de mantenimiento preventivo y calibración de equipos. |
| Nivel de llenado incorrecto. | Variaciones en válvulas, sensores y parámetros de llenado.     |
| Tapa mal colocada.           | Falta de estandarización en la operación de tapado.            |
| Etiqueta mal colocada.       | Errores en el posicionamiento y orientación de la etiqueta.    |
| Fugas de agua.               | Falta de monitoreo y detección temprana de variaciones.        |

*Nota.* Elaborado por el autor.**3.6.5. Priorización de causas raíz**

Con base en el impacto que generan sobre la calidad del producto y la frecuencia con que se presentan dentro del proceso, en la Tabla 38 se muestra que las causas raíz fueron priorizadas para orientar las acciones de mejora que serán desarrolladas en la siguiente fase de la metodología DMAIC.

**Tabla 38.***Priorización de causas raíz.*

| Causa raíz                                                  | Impacto | Frecuencia | Prioridad |
|-------------------------------------------------------------|---------|------------|-----------|
| Ausencia de mantenimiento preventivo y calibración          | Alta    | Alta       | Alta      |
| Variaciones en válvulas, sensores y parámetros de llenado.  | Alta    | Alta       | Alta      |
| Falta de estandarización en la operación de tapado.         | Alta    | Media      | Alta      |
| Errores en el posicionamiento y orientación de la etiqueta. | Media   | Media      | Media     |
| Falta de monitoreo y detección temprana de variaciones.     | Alta    | Media      | Alta      |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### 3.6.6. Conclusión de la fase analizar

La fase *Analizar* permitió determinar que el 80,23 % de los defectos identificados en el proceso de embotellado de botellones de 20 litros se concentra en cinco categorías principales: sellado defectuoso, nivel de llenado incorrecto, tapa mal colocada, etiqueta mal colocada y fugas de agua. Mediante la aplicación del diagrama de Ishikawa y la técnica de los 5 porqués se identificaron como causas raíz la ausencia de mantenimiento preventivo y calibración de equipos, la falta de estandarización de parámetros operativos, las deficiencias en la capacitación del personal, la inexistencia de procedimientos estandarizados para el etiquetado y las debilidades en los mecanismos de inspección y control de calidad.

### 3.7. Aplicación de la fase mejorar

La fase *Mejorar* tiene como finalidad diseñar acciones correctivas orientadas a excluir o reducir las causas raíz identificadas en la fase *Analizar*. Estas acciones se enfocan en los defectos que representan el 80,23 % de las no conformidades detectadas en el proceso de embotellado de botellones de 20 litros de Aquafit S.A., específicamente: sellado defectuoso, nivel de llenado incorrecto, tapa mal colocada, etiqueta mal colocada y fugas de agua. Las mejoras propuestas buscan disminuir la variabilidad del proceso, reducir el número de productos no conformes, mejorar el desempeño operativo e incrementar la calidad del producto final, siguiendo los principios de la metodología Six Sigma y el ciclo DMAIC.

### 3.7.1. Diseño del plan de mejora

Con base en los resultados obtenidos durante las fases Definir, Medir y Analizar de la metodología DMAIC, se identificaron cinco defectos prioritarios que concentran la mayor incidencia de no conformidades en el proceso de embotellado de Aquafit S.A.: sellado defectuoso, nivel de llenado incorrecto, tapa mal colocada, etiqueta mal colocada y fugas de agua. La selección de estos defectos se sustentó en el análisis de Pareto, mediante el cual se determinó que estos cinco problemas representan el 80,23 % del total de defectos registrados durante el período de estudio. Por tanto, su intervención permite concentrar los recursos de mejora en las causas que generan mayor impacto sobre la calidad del producto terminado. En la Tabla 39, Para la valoración se utilizó una escala de uno a cinco.

**Tabla 39.**

*Criterios de selección de las propuestas de mejora.*

| <b>Criterio</b>                      | <b>Descripción</b>                                                                       | <b>Ponderación</b> |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impacto en la reducción de defectos. | Capacidad de la herramienta para disminuir la frecuencia del defecto.                    | 30 %               |
| Factibilidad de implementación.      | Disponibilidad de recursos, personal y condiciones operativas para aplicar la propuesta. | 25 %               |
| Costo de implementación.             | Nivel de inversión requerido para ejecutar la propuesta                                  | 15 %               |
| Tiempo de implementación.            | Rapidez con la que puede aplicarse la mejora dentro del proceso.                         | 15 %               |
| Sostenibilidad de la mejora.         | Capacidad de mantener los resultados mediante control y estandarización.                 | 15 %               |
| <b>Total</b>                         |                                                                                          | <b>100 %</b>       |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La ponderación asignada prioriza el impacto sobre la reducción de defectos, debido a que el objetivo principal de la investigación consiste en reducir las no conformidades del proceso de embotellado. Además, se consideró la factibilidad de implementación como un criterio relevante, ya que las propuestas deben adaptarse a las condiciones reales de operación de Aquafit S.A. Posteriormente en la Tabla 40, se evaluaron las alternativas de mejora para cada defecto prioritario. La calificación se realizó mediante una escala de 1 a 5, considerando la relación entre la causa raíz identificada y la capacidad de cada herramienta para intervenir sobre dicha causa.

**Tabla 40.***Escala de valoración para la matriz de selección.*

| Calificación | Interpretación |
|--------------|----------------|
| 1            | Muy baja       |
| 2            | Baja           |
| 3            | Media          |
| 4            | Alta           |
| 5            | Muy alta       |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Para el defecto de sellado defectuoso se analizaron alternativas como mantenimiento correctivo, capacitación operativa, inspección final y Mantenimiento Productivo Total (TPM). La herramienta TPM obtuvo la mayor valoración debido a que permite intervenir directamente sobre las causas relacionadas con desgaste, desajuste, falta de calibración y fallas del sistema de sellado, tal como se muestra en la Tabla 41.

**Tabla 41.***Matriz de selección de propuesta para sellado defectuoso.*

| Alternativa de mejora        | Impacto<br>30 % | Factibilidad<br>25 % | Costo<br>15 % | Tiempo<br>15 % | Sostenibilidad<br>15 % | Puntaje ponderado |
|------------------------------|-----------------|----------------------|---------------|----------------|------------------------|-------------------|
| Mantenimiento correctivo.    | 3               | 4                    | 3             | 4              | 2                      | 3,30              |
| Capacitación operativa.      | 3               | 5                    | 4             | 5              | 3                      | 3,95              |
| Inspección final reforzada.  | 3               | 4                    | 4             | 4              | 3                      | 3,55              |
| TPM y calibración periódica. | 5               | 4                    | 3             | 3              | 5                      | <b>4,20</b>       |

*Nota.* Elaborado por el autor.

En la Tabla 42, para el defecto de nivel de llenado incorrecto se consideraron alternativas como inspección manual, capacitación del personal, ajuste ocasional de parámetros y TPM aplicado a la llenadora. La alternativa seleccionada fue TPM, complementada con calibración y estandarización de parámetros de llenado, debido a su mayor capacidad para reducir variaciones generadas por válvulas, sensores y componentes mecánicos.

**Tabla 42.***Matriz de selección de propuesta para nivel de llenado incorrecto.*

| <b>Alternativa de mejora</b>        | <b>Impacto<br/>30 %</b> | <b>Factibilidad<br/>25 %</b> | <b>Costo<br/>15 %</b> | <b>Tiempo<br/>15 %</b> | <b>Sostenibilidad<br/>15 %</b> | <b>Puntaje<br/>ponderado</b> |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Inspección manual de llenado.       | 3                       | 5                            | 4                     | 4                      | 2                              | 3,55                         |
| Capacitación operativa.             | 3                       | 5                            | 4                     | 5                      | 3                              | 3,95                         |
| Ajuste ocasional de parámetros.     | 4                       | 4                            | 4                     | 4                      | 3                              | 3,85                         |
| TPM, calibración y estandarización. | 5                       | 4                            | 3                     | 3                      | 5                              | <b>4,20</b>                  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Para la tapa mal colocada se analizaron opciones como inspección visual, capacitación, controles finales y procedimientos operativos estandarizados. En la Tabla 43, muestra que se seleccionó la estandarización del trabajo mediante SOP, debido a que permite definir una secuencia clara de operación, criterios de aceptación, responsabilidades y controles de verificación durante el proceso de tapado.

**Tabla 43.***Matriz de selección de propuesta para tapa mal colocada.*

| <b>Alternativa de mejora</b>  | <b>Impacto<br/>30 %</b> | <b>Factibilidad<br/>25 %</b> | <b>Costo<br/>15 %</b> | <b>Tiempo<br/>15 %</b> | <b>Sostenibilidad<br/>15 %</b> | <b>Puntaje<br/>ponderado</b> |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Inspección visual final.      | 3                       | 5                            | 4                     | 4                      | 2                              | 3,55                         |
| Capacitación aislada.         | 3                       | 5                            | 4                     | 5                      | 3                              | 3,95                         |
| Aumento de supervisión.       | 3                       | 4                            | 3                     | 3                      | 3                              | 3,25                         |
| SOP de tapado y verificación. | 5                       | 5                            | 4                     | 4                      | 5                              | <b>4,75</b>                  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Para el defecto de etiqueta mal colocada expresada en la Tabla 44, se consideraron alternativas como capacitación, inspección visual, señalización de la estación y Poka Yoke. La propuesta Poka Yoke obtuvo la mayor puntuación debido a que permite

prevenir el error antes de que ocurra, mediante guías de posicionamiento, referencias visuales y mecanismos que aseguren la correcta orientación de la etiqueta.

**Tabla 44.**

*Matriz de selección de propuesta para etiqueta mal colocada.*

| <b>Alternativa de mejora</b>  | <b>Impacto<br/>30 %</b> | <b>Factibilidad<br/>25 %</b> | <b>Costo<br/>15 %</b> | <b>Tiempo<br/>15 %</b> | <b>Sostenibilidad<br/>15 %</b> | <b>Puntaje ponderado</b> |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Capacitación operativa.       | 3                       | 5                            | 4                     | 5                      | 3                              | 3,95                     |
| Inspección visual.            | 3                       | 5                            | 4                     | 4                      | 2                              | 3,55                     |
| Señalización visual.          | 4                       | 5                            | 4                     | 5                      | 4                              | 4,35                     |
| Poka Yoke de posicionamiento. | 5                       | 4                            | 3                     | 4                      | 5                              | <b>4,35</b>              |

*Nota.* Elaborado por el autor.

En este caso, aunque la señalización visual y el Poka Yoke presentan una valoración similar, se seleccionó el Poka Yoke como propuesta principal porque incorpora la señalización visual como parte de su diseño, pero además permite prevenir físicamente la colocación incorrecta de la etiqueta.

Finalmente, para las fugas de agua se analizaron alternativas como inspección final, capacitación, mantenimiento correctivo y control estadístico de procesos, tal como se muestra en la Tabla 45. Se seleccionó SPC debido a que permite monitorear de manera continua la variación del proceso, detectar tendencias anormales y aplicar acciones correctivas antes de que las fugas se conviertan en un problema recurrente.

**Tabla 45.**

*Matriz de selección de propuesta para fugas de agua.*

| <b>Alternativa de mejora</b> | <b>Impacto<br/>30 %</b> | <b>Factibilidad<br/>25 %</b> | <b>Costo<br/>15 %</b> | <b>Tiempo<br/>15 %</b> | <b>Sostenibilidad<br/>15 %</b> | <b>Puntaje ponderado</b> |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Inspección final reforzada.  | 3                       | 5                            | 4                     | 4                      | 2                              | 3,55                     |
| Capacitación operativa.      | 3                       | 5                            | 4                     | 5                      | 3                              | 3,95                     |
| Mantenimiento correctivo.    | 4                       | 4                            | 3                     | 3                      | 3                              | 3,55                     |

|                                   |   |   |   |   |   |             |
|-----------------------------------|---|---|---|---|---|-------------|
| SPC mediante<br>carta de control. | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | <b>4,25</b> |
|-----------------------------------|---|---|---|---|---|-------------|

*Nota.* Elaborado por el autor.

A partir de la aplicación de las matrices de selección, se definieron las propuestas de mejora que presentan mayor puntuación ponderada y mejor relación con las causas raíz identificadas, resumidas en la Tabla 46.

**Tabla 46.**

*Plan de mejora seleccionado para los defectos prioritarios.*

| <b>Defecto prioritario</b>   | <b>Causa raíz principal</b>                                             | <b>Herramienta seleccionada</b> | <b>Justificación de selección</b>                                                       | <b>Responsable</b>        |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Sellado defectuoso.          | Falta de mantenimiento preventivo y calibración del sistema de sellado. | TPM                             | Permite reducir fallas mecánicas, desajustes y variaciones del equipo de sellado.       | Jefe de Producción.       |
| Nivel de llenado incorrecto. | Variaciones en válvulas, sensores y parámetros de llenado.              | TPM y calibración               | Permite mantener estables los parámetros de operación de la llenadora.                  | Supervisor de Producción. |
| Tapa mal colocada.           | Falta de estandarización en la operación de tapado.                     | SOP                             | Define pasos, criterios de aceptación y controles de verificación.                      | Supervisor de Producción. |
| Etiqueta mal colocada.       | Errores en el posicionamiento y orientación de la etiqueta.             | Poka Yoke                       | Previene la colocación incorrecta mediante guías y referencias de posicionamiento.      | Supervisor de Producción. |
| Fugas de agua.               | Falta de monitoreo y detección temprana de variaciones.                 | SPC                             | Permite controlar estadísticamente la ocurrencia de fugas y detectar causas especiales. | Responsable de Calidad.   |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La aplicación de este criterio de selección permite justificar técnicamente que las propuestas planteadas no fueron elegidas únicamente por criterio subjetivo, sino mediante una evaluación ponderada de alternativas. De esta manera, las herramientas seleccionadas presentan una relación directa con las causas raíz identificadas y con los defectos prioritarios que concentran la mayor proporción de no conformidades dentro del proceso.

### 3.7.2. Propuesta (TPM) para el sellado defectuoso y nivel de llenado incorrecto

La implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) se focalizó en los equipos críticos de la línea de embotellado de Aquafit S.A., con el objetivo de asegurar la disponibilidad operacional y la confiabilidad del proceso. Para su ejecución se desarrollaron las siguientes acciones:

#### **Evaluación OEE inicial**

El desempeño de los equipos críticos en la línea de embotellado de Aquafit S.A. se evaluó mediante el indicador de Eficiencia Global de los Equipos (OEE). El análisis cuantificó las pérdidas operativas a partir de sus tres dimensiones: disponibilidad, rendimiento y calidad.

**Disponibilidad:** la disponibilidad evalúa mediante la ecuación (4) la proporción del tiempo programado en que el equipo permaneció efectivamente en funcionamiento. Para su cálculo se utilizaron los datos obtenidos mediante la observación directa de la línea de embotellado y el registro de tiempos aplicado durante la jornada evaluada.

El tiempo programado de operación corresponde a 8 horas, restando el tiempo de 0,5 horas en que se prepara el equipo para iniciar la producción y 1 hora libre de almuerzo para los operadores, el tiempo programado de las 8 horas se reduce a 6,5 horas, valor establecido de acuerdo con la duración total de la jornada laboral destinada a las actividades de embotellado. Este tiempo representa el período planificado por la empresa para que la línea opere durante el día de producción.

Por su parte, el tiempo real de operación fue de 5 horas, valor determinado a partir del registro de observación realizado durante la jornada. Este tiempo corresponde exclusivamente a las horas en las que los equipos de la línea permanecieron produciendo botellones. La diferencia de 1,5 horas se atribuyó a paradas e interrupciones registradas durante el proceso, tales como ajustes de equipos, abastecimiento de materiales, limpieza, inspecciones, esperas operativas y otras detenciones que redujeron el tiempo efectivo de producción.

La disponibilidad se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo real de operación}}{\text{Tiempo programado de operación}} \quad (4)$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$Disponibilidad = \frac{5 \text{ horas}}{6,5 \text{ horas}}$$

$$Disponibilidad = 0,77 * 100 = 77\%$$

El factor de disponibilidad resultante fue del 77 %, registrando un 23 % de tiempo no productivo por paradas no programadas e interrupciones del proceso. Esta ineficiencia se atribuye principalmente a deficiencias en la gestión del mantenimiento, falta de control en las paradas y tiempos excesivos en las labores de preparación y abastecimiento.

**Rendimiento:** evalúa la velocidad real de la línea frente a su capacidad teórica de diseño durante el tiempo de funcionamiento. Cuantifica las pérdidas por micro paradas, reducciones de velocidad, desajustes menores y tiempos muertos por desabastecimiento de insumos que contraen el volumen de producción.

Para el cálculo se utilizaron los datos obtenidos durante la jornada evaluada mediante el registro de producción y la observación directa del proceso. La producción estándar fue de 7.800 botellones, valor calculado con base en la capacidad teórica de la línea, establecida en 1.200 botellones por hora, multiplicada por las 6,5 horas de operación programada, tal como se muestra en la Tabla 47.

**Tabla 47.**

*Datos utilizados para el cálculo del rendimiento inicial.*

| Variable                       | Descripción                                                                                               | Valor                 | Fuente de información                                                            |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Tiempo real de operación       | Tiempo efectivo durante el cual la línea permaneció produciendo.                                          | 5 horas               | Registro de observación y control de tiempos.                                    |
| Capacidad estándar de la línea | Cantidad teórica de botellones que la línea puede producir por hora en condiciones normales de operación. | 1.200 botellones/hora | Especificación operativa de la línea y registro de producción.<br>Cálculo: 1.200 |
| Producción estándar            | Producción teórica esperada durante el tiempo real de operación.                                          | 7.800 botellones      | botellones/hora × 6.5 horas.                                                     |
| Producción real                | Cantidad de botellones efectivamente producidos durante el tiempo real de operación.                      | 4.500 botellones      | Registro de producción de la jornada evaluada.                                   |

*Nota.* Elaborado por el autor a partir de los registros de producción y la observación directa del proceso de embotellado.

La producción estándar se determinó mediante la siguiente relación:

Ecuación (5)  $Producción\ estándar = Capacidad\ estándar\ por\ hora *$

$Tiempo\ programado\ de\ operación$

$Producción\ estándar = 7800\ botellones$

Posteriormente, el rendimiento se calculó mediante la siguiente expresión:

Ecuación (6)  $Rendimiento = \frac{Rendimiento\ real}{Rendimiento\ estándar}$

$$Rendimiento = \frac{4500}{7800}$$

$$Rendimiento = 0,576 * 100 = 57,6\%$$

El resultado evidencia que la línea alcanzó el 57,6 % de la producción teórica esperada durante el tiempo efectivo de operación. Por tanto, existió una pérdida de rendimiento del 42,4%, equivalente a 3.300 botellones que dejaron de producirse respecto a la capacidad estándar calculada.

**Calidad:** la calidad mide la proporción de productos conformes obtenidos respecto al total de productos fabricados durante el mismo período de operación considerado para los indicadores de disponibilidad y rendimiento.

Mediante la inspección de calidad realizada al producto terminado, se identificaron 135 botellones con alguna no conformidad, relacionados con defectos de sellado, nivel de llenado, tapado, etiquetado, fugas u otras condiciones que afectan la conformidad del producto.

Ecuación (7):

$Productos\ buenos = Productos\ totales\ producidos - Productos\ no\ conformes$

$$Productos\ buenos = 4500 - 135$$

$Productos\ buenos = 4365\ botellones$

Para mantener consistencia en el cálculo del OEE, se utilizaron los datos correspondientes a las 5 horas de operación efectiva registradas durante la jornada

evaluada, así mismo el total de la producción, productos no conformes y productos buenos, variables presentadas en la Tabla 48, para los cálculos iniciales de calidad.

**Tabla 48.**

*Datos utilizados para el cálculo de calidad inicial.*

| Variable                      | Descripción                                                                         | Valor            | Fuente de información                          |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------|
| Tiempo real de operación.     | Tiempo efectivo durante el cual la línea permaneció produciendo.                    | 5 horas          | Registro de observación y control de tiempos.  |
| Productos totales producidos. | Botellones fabricados durante las 5 horas de operación efectiva.                    | 4.500 botellones | Registro de producción de la jornada evaluada. |
| Productos no conformes.       | Botellones que presentaron al menos una no conformidad durante la inspección final. | 135 botellones   | Registro de inspección de calidad.             |
| Productos buenos.             | Botellones que cumplieron los criterios de calidad establecidos.                    | 4.365 botellones | Cálculo: 4.500 – 135.                          |

*Nota.* Elaborado por el autor con base en los registros de producción, observación directa e inspección de calidad.

La calidad se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación (8) } \textit{Calidad} = \frac{\textit{Productos buenos}}{\textit{Productos totales producidos}}$$

$$\textit{Calidad} = \frac{4365}{4500}$$

$$\textit{Calidad} = 0,9589 * 100 = 97\%$$

El resultado indica que el 97 % de los botellones producidos durante el período evaluado cumplió con los requisitos de calidad establecidos, mientras que el 3 % presentó al menos una no conformidad. Este componente refleja que, aunque la calidad de los productos obtenidos es relativamente alta, todavía existen defectos que requieren control y reducción mediante las acciones de mejora propuestas.

$$\text{Ecuación (9) } \textit{OEE} = \textit{Disponibilidad} * \textit{Rendimiento} * \textit{Calidad}$$

$$\textit{OEE} = 77\% * 57,6\% * 97\%$$

$$\textit{OEE} = 43,02\%$$

**Tabla 49.**

*Método de clasificación para valores de OEE.*

| OEE                    | MÉTRICA DE CALIFICACIÓN |
|------------------------|-------------------------|
| $< 65\%$               | Inaceptable             |
| $65\% \leq OEE < 75\%$ | Regular                 |
| $75\% \leq OEE < 85\%$ | Aceptable               |
| $85\% \leq OEE < 95\%$ | Buena                   |
| $\geq 95\%$            | Excelente               |

*Nota.* Elaborado por el autor.

El OEE inicial obtenido fue de 43,02 %, lo que indica que, del tiempo total programado para la operación de la línea de embotellado, únicamente este porcentaje se transformó en producción conforme. De acuerdo con la escala de clasificación establecida, este resultado se ubica en la categoría inaceptable, al ser inferior al 65 %. La principal afectación se concentra en la disponibilidad con 77 % y el rendimiento con valor de 57,6 %, mientras que la calidad alcanzó 97 %.

#### **Análisis matriz AMFE**

Una vez evaluado el desempeño inicial del proceso mediante el indicador OEE, se procedió a realizar un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) con el propósito de identificar los principales modos de falla presentes en el proceso de embotellado de botellones de 20 litros en Aquafit S.A. La matriz AMFE permitió jerarquizar los modos de falla mediante la evaluación de la severidad, ocurrencia y detección. Como se expone en la Tabla 50, el cálculo del número de prioridad de riesgo (NPR/RPN) identificó las causas de mayor impacto operacional, priorizando las intervenciones dentro del ciclo DMAIC.

**Tabla 50.**

*Matriz AMEF del área de producción de Aquafit S.A.*

| AQUAFIT S.A.                    |                         |                                             |                                        | División: Producción              |                   |                |               |     |                                                     | Fecha: 05/06/2026                                        |               |                |                   |     |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|---------------|-----|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|----------------|-------------------|-----|
| Artículo: Botellones de 20L     |                         |                                             |                                        |                                   |                   |                |               |     |                                                     |                                                          |               |                |                   |     |
| Proyecto: Reducción de defectos |                         |                                             |                                        | Preparado por: Área de ingeniería |                   |                |               |     |                                                     | Matriz AMFE                                              |               |                |                   |     |
| Proceso: Embotellado            |                         |                                             |                                        |                                   |                   |                |               |     |                                                     |                                                          |               |                |                   |     |
| Nº                              | Máquina                 | Falla Potencial                             | Efecto                                 | Causa                             | Seve<br>rida<br>d | Ocurre<br>ncia | Detecci<br>ón | RPN | Acciones                                            | Acciones tomadas                                         | Severi<br>dad | Ocurre<br>ncia | Dete<br>cció<br>n | RPN |
| 1                               | Lavadora de botellones  | Lavado ineficiente                          | Lavado insuficiente de los botellones  | Falta de mantenimiento preventivo | 8                 | 4              | 3             | 96  | Mantenimiento preventivo de la máquina              | Se le dio un pequeño mantenimiento preventivo en la zona | 4             | 3              | 3                 | 36  |
| 2                               | Llenadora de botellones | Desajuste en el sistema de llenado          | Sobrellenado o subllenado de botellas  | Calibración incorrecta            | 6                 | 9              | 3             | 162 | Revisar la calibración de la máquina Regularmente   | Se revisó la calibración de la máquina                   | 3             | 4              | 3                 | 36  |
|                                 |                         | Fuga en la válvula de llenado               | Derrame del líquido durante el llenado | Desgaste de la válvula            | 5                 | 4              | 3             | 60  | Realizar inspecciones visuales y pruebas periódicas | Se realizó inspecciones visuales y pruebas               | 4             | 3              | 2                 | 24  |
|                                 |                         | Pérdida de presión en el sistema de llenado | Llenado incompleto de botellones       | Fuga en el sistema de llenado     | 4                 | 2              | 3             | 24  | Verificar la integridad de la máquina               | Se verificó la integridad de la máquina                  | 2             | 2              | 3                 | 12  |

|   |                        |                                         |                                         |                                               |   |   |   |     |                                                        |                                                          |   |   |   |    |
|---|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|---|---|---|-----|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---|---|---|----|
| 3 | Tapadora de botellones | Falla en el sistema de tapado           | Botellas mal tapadas                    | Daños de tapas, falta de lubricación          | 5 | 5 | 2 | 50  | Lubricar regularmente las partes móviles.              | Se lubricó regularmente                                  | 4 | 3 | 2 | 24 |
|   |                        | Ajuste incorrecto de la tapadora        | Tapa mal colocada                       | Falta de verificación del ajuste              | 4 | 3 | 3 | 36  | Verificar el ajuste antes y después de producir        | Se verificó el ajuste para producir                      | 3 | 2 | 3 | 18 |
| 4 | Termo encogible        | Problemas en la retracción del termo    | Sellado defectuoso                      | Desgaste del mecanismo, mal ajuste            | 8 | 7 | 4 | 224 | Mantenimiento preventivo de la máquina                 | Se le dio un pequeño mantenimiento preventivo en la zona | 5 | 3 | 3 | 45 |
|   |                        | Calentamiento o desigual del termo      | Retracción desigual                     | Resistencia desigual en la unidad             | 7 | 5 | 3 | 105 | Mantenimiento preventivo de la máquina                 | Se le dio un pequeño mantenimiento preventivo en la zona | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 5 | Bandas Transportadoras | Fallo en la transmisión o desalineación | Retrasos en el flujo de producción      | Falta de lubricación, desgaste de componentes | 4 | 7 | 3 | 84  | Limpiar y lubricar para prevenir el desgaste prematuro | Se limpió y lubricó el área                              | 3 | 4 | 2 | 24 |
|   |                        | Desgaste de rodillos de transporte      | Vibración y ruido durante el transporte | Falta de lubricación, carga pesada            | 5 | 2 | 3 | 30  | Lubricar y limpiar continuamente                       | Se limpió y lubricó constantemente                       | 3 | 2 | 3 | 18 |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Los resultados obtenidos evidencian que los mayores niveles de riesgo se concentran en el proceso de sellado, con un RPN inicial de 224, seguido de las fallas asociadas al sistema de llenado con un RPN de 162. Asimismo, se identificaron riesgos relevantes relacionados con el lavado de botellones, las bandas transportadoras y el sistema de tapado.

## Aplicación TPM

La identificación de los modos de falla potenciales derivó en acciones de mitigación para el proceso de embotellado. Ante la criticidad operacional detectada en los activos, se estructuró el plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM), cuyos ejes de mantenimiento se detallan en la Tabla 51:

**Tabla 51.**

*Plan de mantenimiento de máquinas.*

| Descripción             | Cantidad | Tipo de mantenimiento | Actividad                                       | Frecuencia                               | Responsable |
|-------------------------|----------|-----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|
| Lavadora de botellones  | 1        | En uso                | Limpieza de maquinaria                          | Diario                                   | Operario    |
|                         |          |                       | Lubricación                                     | Diario                                   | Operario    |
|                         |          | Preventivo            | Mantenimiento General                           | Mensual                                  | Mecánico    |
|                         |          |                       | Reemplazar piezas: bombas                       | Semestral, anual o según fuese necesario | Mecánico    |
|                         |          | Cero horas            | de agua, filtros, boquillas, engranajes.        |                                          |             |
|                         |          | En uso                | Limpieza de maquinaria                          | Diario                                   | Operario    |
| Llenadora de botellones | 1        | Preventivo            | Lubricación                                     | Diario                                   | Operario    |
|                         |          |                       | Mantenimiento general                           | Mensual                                  | Mecánico    |
|                         |          | Cero horas            | Reemplazar piezas: válvulas, boquillas, bombas. | Semestral, anual o según fuese necesario | Mecánico    |
|                         |          |                       |                                                 |                                          |             |
| Tapadora de botellones  | 1        | En uso                | Limpieza de maquinaria                          | Diario                                   | Operario    |
|                         |          |                       | Lubricación                                     | Diario                                   | Operario    |
|                         |          | Preventivo            | Mantenimiento General                           | Mensual                                  | Mecánico    |
|                         |          |                       |                                                 |                                          |             |

|                 |                                          |                        |                                 |                                          |                                                   |                    |          |
|-----------------|------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|----------|
| Termo encogible | 1                                        | Cero horas             | Reemplazar piezas: cabezal      | Semestral, anual o                       | Mecánico                                          |                    |          |
|                 |                                          |                        | detapado,                       | según fuese                              |                                                   |                    |          |
|                 |                                          |                        | rodamientos,                    | necesario                                |                                                   |                    |          |
|                 |                                          |                        | motores                         |                                          |                                                   |                    |          |
|                 |                                          | En uso                 | Limpieza de maquinaria          | Diario                                   | Operario                                          |                    |          |
|                 |                                          |                        | Lubricación                     | Diario                                   | Operario                                          |                    |          |
|                 |                                          | Preventivo             | Mantenimiento general           | Mensual                                  | Mecánico                                          |                    |          |
|                 |                                          |                        | Reemplazar piezas: resistencias |                                          |                                                   |                    |          |
|                 |                                          | Bandas transportadoras | 7                               | Cero horas                               | de termo encogido,                                | Semestral, anual o | Mecánico |
|                 |                                          |                        |                                 |                                          | rodillos de transporte y sensores de temperatura. | según fuese        |          |
|                 | necesario                                |                        |                                 |                                          |                                                   |                    |          |
|                 |                                          |                        |                                 |                                          |                                                   |                    |          |
| En uso          | Limpieza de maquinaria                   |                        |                                 | Diario                                   | Operario                                          |                    |          |
|                 | Lubricación                              |                        |                                 | Diario                                   | Operario                                          |                    |          |
| Preventivo      | Mantenimiento general                    |                        |                                 | Mensual                                  | Mecánico                                          |                    |          |
|                 | Reemplazar piezas: correas y rodamientos |                        |                                 | Semestral, anual o según fuese necesario | Mecánico                                          |                    |          |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Como parte del plan TPM, se diseñó una estrategia integral para asegurar la disponibilidad y confiabilidad del parque industrial. El esquema se fundamenta en tres niveles operativos:

- Mantenimiento autónomo (diario/en uso): ejecutado por los operadores de línea mediante rutinas periódicas de limpieza, inspección sensorial, ajuste básico y detección temprana de anomalías.
- Mantenimiento preventivo: programado con frecuencia mensual para la intervención sistemática de equipos, abarcando lubricación, calibración, reemplazo preventivo de componentes y ajustes mayores.

## Evaluación OEE final proyectada

Luego de la aplicación de las acciones de mejora propuestas, se realizó una evaluación proyectada de la Eficiencia Global de los Equipos (OEE), con la finalidad de estimar el efecto esperado de las intervenciones sobre el desempeño de la línea. Esta evaluación considera principalmente la implementación del TPM, la estandarización de las actividades operativas, los controles para prevenir errores de etiquetado y el seguimiento de las condiciones del proceso. La evaluación final se elaboró bajo un escenario proyectado de mejora, en el que se espera reducir las paradas no planificadas, aumentar el aprovechamiento del tiempo de operación y disminuir los defectos identificados en la línea de embotellado, tal como se plantea en la Tabla 52.

**Tabla 52.**

*Datos considerados para la evaluación OEE final proyectada.*

| Variable                                       | Descripción                                                                              | Valor proyectado     | Base de cálculo                    |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Tiempo programado de operación                 | Duración total planificada para la jornada de producción.                                | 6,5 horas            | Jornada de producción establecida. |
| Tiempo real de operación                       | Tiempo efectivo de funcionamiento de la línea luego de reducir paradas e interrupciones. | 6 horas              | Escenario proyectado de mejora.    |
| Producción estándar por jornada                | Capacidad teórica de la línea durante 6,5 horas.                                         | 7.800 botellones     | Meta estándar de producción.       |
| Capacidad estándar por hora                    | Producción teórica por hora de operación.                                                | 1200 botellones/hora | $7.800 \div 6,5 \text{ horas}$ .   |
| Producción estándar durante el tiempo efectivo | Producción teórica alcanzable durante siete horas de operación.                          | 7.200 botellones     | $1200 \times 6 \text{ horas}$ .    |
| Producción real proyectada                     | Botellones producidos durante el tiempo efectivo.                                        | 5.400 botellones     | $900 \times 6 \text{ horas}$ .     |
| Productos no conformes proyectados             | Botellones con al menos una no conformidad.                                              | 65 botellones        | Reducción proyectada (1.2%)        |
| Productos buenos proyectados                   | Botellones que cumplen los requisitos de calidad.                                        | 5.335 botellones     | $5.400 - 65$ .                     |

*Nota.* Elaborado por el autor con base en la capacidad estándar de producción y el escenario proyectado de mejora.

**Disponibilidad:** la disponibilidad proyectada expresa el porcentaje de tiempo en que la línea permanecería operativa respecto a la jornada programada. Se estima que, mediante el TPM y la reducción de paradas no planificadas, el tiempo real de operación aumentaría de cinco a siete horas.

$$\text{Ecuación (4) } Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo real de operación}}{\text{Tiempo programado de operación}} * 100$$

$$Disponibilidad = \frac{6 \text{ horas}}{6,5 \text{ horas}} * 100$$

$$Disponibilidad = 92,3\%$$

El resultado indica que la línea utilizaría efectivamente el 92,3 % del tiempo programado, evidenciando una disminución de las pérdidas asociadas a paradas, ajustes y actividades correctivas.

**Rendimiento:** el rendimiento proyectado se determinó comparando la producción real esperada con la producción estándar que puede alcanzarse durante las seis horas de operación efectiva.

$$\text{Ecuación (6) } Rendimiento = \frac{\text{Producción real proyectada}}{\text{Producción estándar}} * 100$$

$$Rendimiento = \frac{5400}{7200} * 100$$

$$Rendimiento = 75\%$$

Este resultado representa una mejora en la velocidad efectiva de producción, debido a la disminución de micro paradas, ajustes recurrentes y pérdidas de ritmo durante el funcionamiento de los equipos.

**Calidad:** la calidad proyectada se calculó a partir de los productos conformes esperados respecto al total de botellones producidos durante las siete horas de operación efectiva.

$$\text{Ecuación (8) } Calidad = \frac{\text{Productos buenos proyectados}}{\text{Productos totales producidos}} * 100$$

$$Calidad = \frac{5335}{5400} * 100$$

$$Calidad = 98,8\%$$

El resultado proyectado refleja una disminución de los productos no conformes, pasando de 135 botellones en la condición inicial a 65 botellones en el escenario de mejora. Esta variación se vincula con la aplicación de TPM, procedimientos estandarizados para el tapado, mecanismos de prevención de errores en el etiquetado y control estadístico para detectar desviaciones relacionadas con fugas.

### **Cálculo del OEE final proyectado**

Una vez determinados los tres componentes, calculó el OEE proyectado mediante la siguiente expresión:

$$OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad \quad (9)$$

$$OEE = 92,3\% * 70\% * 98,80\%$$

$$OEE = 68.4\%$$

En la Tabla 53, de acuerdo con la escala de evaluación establecida, el OEE final proyectado de 68,40 % se ubica en la categoría regular, debido a que se encuentra entre 65 % y 75 %. Este resultado evidencia una mejora importante frente al valor inicial de 43,02 %, especialmente por el incremento de la disponibilidad y del rendimiento de la línea. No obstante, al tratarse de una evaluación proyectada, los resultados deben ser verificados mediante registros operativos posteriores a la implementación real de las acciones propuestas.

**Tabla 53.**

*Comparación del OEE inicial y final proyectado.*

| <b>Indicador</b> | <b>Situación inicial</b> | <b>Situación final proyectada</b> | <b>Variación</b>           |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Disponibilidad   | 77 %                     | 92,3 %                            | +15,3 puntos porcentuales  |
| Rendimiento      | 57,6 %                   | 70 %                              | +12,4 puntos porcentuales  |
| Calidad          | 97 %                     | 98,80 %                           | +1,80 puntos porcentuales  |
| OEE              | 43,02 %                  | 68,40 %                           | +25,38 puntos porcentuales |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### 3.7.3. Propuesta estandarización del trabajo (SOP) para el tapado defectuoso

Como resultado del análisis de causa raíz realizado mediante la herramienta de los 5 porqués, se determinó que el defecto denominado tapa mal colocada se origina principalmente por la ausencia de procedimientos estandarizados que permitan controlar adecuadamente el proceso de tapado de los botellones de 20 litros.

#### Objetivo de la propuesta

Con el propósito de estandarizar las actividades del proceso de tapado y disminuir la variabilidad operativa identificada durante el diagnóstico del proceso de embotellado, se diseñó un SOP que establece las actividades, responsables, descripciones y frecuencias de ejecución para cada etapa del proceso. Este procedimiento permite uniformar la forma en que se desarrolla la operación, facilitar el control de los parámetros críticos y prevenir la ocurrencia de errores asociados a la colocación de las tapas.

**Tabla 54.**

*Procedimiento Operativo Estandarizado (SOP) para el proceso de tapado.*

| Actividad                                    | Responsable             | Descripción                                                                     | Frecuencia       |
|----------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Verificación inicial de la máquina tapadora. | Operador de producción. | Comprobar el correcto funcionamiento del equipo antes del inicio de la jornada. | Inicio de turno. |
| Revisión de parámetros de operación.         | Operador de producción. | Verificar presión, velocidad y ajustes establecidos para el tapado.             | Inicio de turno. |
| Inspección visual de tapas.                  | Operador de producción. | Comprobar que las tapas no presenten deformaciones o daños.                     | Cada lote.       |
| Monitoreo del proceso de tapado.             | Operador de producción. | Supervisar continuamente el correcto ajuste de las tapas durante la producción. | Permanente.      |
| Inspección de producto terminado.            | Control de calidad.     | Revisar aleatoriamente los botellones para verificar el correcto tapado.        | Cada hora.       |
| Registro de incidencias.                     | Operador y calidad.     | Registrar cualquier desviación detectada durante el proceso.                    | Cuando ocurra.   |

*Nota.* Elaborado por el autor.

En complementariedad con el SOP, se definieron parámetros cuantitativos para evaluar el cumplimiento de las especificaciones de calidad en el sellado. Estos criterios estandarizan las inspecciones en línea, asegurando la detección temprana de desviaciones e intervenciones correctivas inmediatas. La Tabla 55 detalla los límites y criterios de aceptación para la etapa de tapado:

**Tabla 55.***Criterios de aceptación del proceso de tapado.*

| <b>Criterio</b>        | <b>Condición aceptable</b>         |
|------------------------|------------------------------------|
| Posición de la tapa.   | Centrada y correctamente alineada. |
| Ajuste de la tapa.     | Sin movimiento o desprendimiento.  |
| Integridad de la tapa. | Libre de fisuras o deformaciones.  |
| Cierre del envase.     | Sin presencia de fugas.            |
| Apariencia general.    | Cumple requisitos de calidad.      |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Los criterios establecidos permiten evaluar objetivamente la conformidad del proceso de tapado mediante aspectos relacionados con la posición, ajuste, integridad de la tapa. Su aplicación contribuye a uniformar las inspecciones realizadas por el personal de calidad y a disminuir la probabilidad de que productos con defectos lleguen a la etapa final del proceso.

Con la finalidad de asegurar la correcta implementación del procedimiento operativo estandarizado, se plantea un plan de capacitación dirigido al personal involucrado en el proceso de tapado. Esta actividad permitirá fortalecer los conocimientos técnicos de los operarios, mejorar la aplicación de los procedimientos establecidos y fomentar una cultura orientada al cumplimiento de los estándares de calidad. La Tabla 56 presenta el plan de capacitación propuesto.

**Tabla 56.***Plan de capacitación para la estandarización del proceso de tapado.*

| <b>Tema</b>                            | <b>Objetivo</b>                                 | <b>Responsable</b>     | <b>Duración</b> |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------|
| Procedimiento estandarizado de tapado. | Capacitar sobre las actividades del SOP.        | Jefe de producción.    | 2 horas         |
| Control de calidad en tapado.          | Identificar defectos asociados al tapado.       | Supervisor de calidad. | 2 horas         |
| Registro de incidencias.               | Garantizar la correcta documentación de fallas. | Jefe de producción.    | 1 hora          |
| Acciones correctivas.                  | Mejorar la respuesta ante desviaciones.         | Supervisor de calidad. | 1 hora          |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La Tabla 56 muestra que la capacitación contempla temas relacionados con el procedimiento estandarizado, el control de calidad, el registro de incidencias y la

aplicación de acciones correctivas. La ejecución de estas actividades permiten, incrementar las competencias del personal y favorecer la correcta aplicación del SOP durante las operaciones diarias.

### **Indicador de seguimiento**

Para evaluar la efectividad de la propuesta se plantea el siguiente indicador:

$$\% \text{ de tapas mal colocadas} = \frac{\text{Número de tapas mal colocadas}}{\text{Total de unidades inspeccionadas}} * 100$$

Con el objetivo de verificar el cumplimiento de la propuesta y medir su impacto sobre la reducción de los defectos asociados al tapado, se definió un indicador de seguimiento basado en el porcentaje de tapas mal colocadas respecto al total de unidades inspeccionadas. Además, se estableció una meta de desempeño que permitirá evaluar objetivamente la efectividad de la implementación del procedimiento operativo. La Tabla 56 presenta la situación actual y la meta propuesta para este indicador.

**Tabla 57.**

*Meta propuesta.*

| <b>Indicador</b>    | <b>Situación actual</b>            | <b>Meta</b>              |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Tapas mal colocadas | 15,70 % de los defectos detectados | Reducir en al menos 50 % |

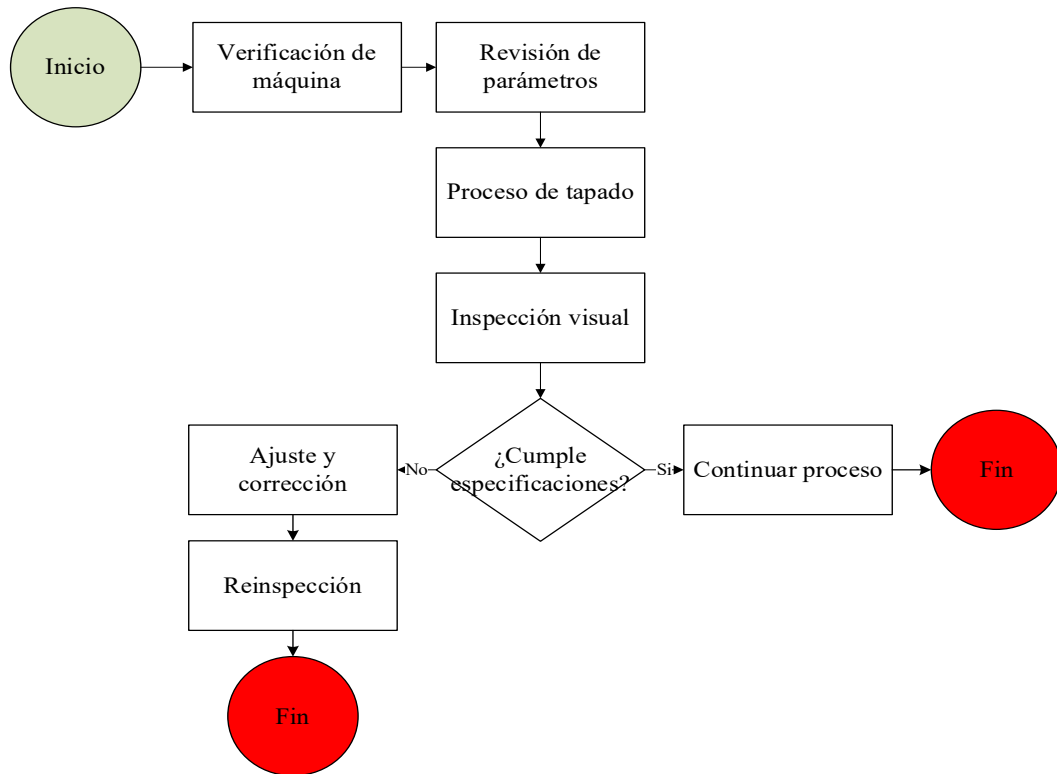
*Nota.* Elaborado por el autor.

Los resultados planteados en la Tabla 57 establecen como objetivo reducir al menos en un 50 % la incidencia de tapas mal colocadas respecto a la situación inicial. El seguimiento periódico de este indicador permite evaluar la eficacia de la propuesta, identificar desviaciones y adoptar acciones correctivas que contribuyan al mejoramiento continuo del proceso de embotellado.

La implementación del Procedimiento Operativo Estandarizado permite uniformar las actividades relacionadas con el proceso de tapado, reducir errores operativos, mejorar el control de calidad y disminuir la incidencia de tapas mal colocadas, el flujograma propuesto se muestra en la Figura 24.

**Figura 24.**

*Flujograma propuesto para el proceso de tapado.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

Como acción transversal en la fase de *Mejora*, se estructuró un plan de capacitación continua para los operadores de la estación de tapado. El programa está orientado al desarrollo de competencias en torque y posicionamiento de tapas, ejecución de controles de calidad en línea y aplicación de herramientas de mejora continua para prevenir fallas operativas. La Tabla 58 detalla el plan de formación propuesto:

**Tabla 58.**

*Programa de capacitación.*

| Tema                                  | Participantes            | Frecuencia  |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------|
| Procedimiento de colocación de tapas. | Operarios de producción. | Trimestral. |
| Control de calidad en línea.          | Operarios de producción. | Trimestral. |
| Buenas prácticas de manufactura.      | Personal operativo.      | Semestral.  |
| Mejora continua y Six Sigma.          | Personal involucrado.    | Semestral.  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La Tabla 58 evidencia que el programa contempla capacitaciones periódicas sobre procedimientos operativos, control de calidad, buenas prácticas de manufactura y

fundamentos de Six Sigma. La implementación de este programa permitirá fortalecer las habilidades del personal, disminuir la variabilidad ocasionada por errores humanos y mejorar el desempeño general del proceso de tapado, favoreciendo el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la empresa.

#### 3.7.4. Propuesta de mejora Poka Yoke para la etiqueta mal colocada

El defecto relacionado con etiquetas mal colocadas representa el 12,79 % de las no conformidades detectadas. El análisis realizado evidenció que este problema se debe a la falta de estandarización del proceso de etiquetado. Para corregir esta situación se propone definir claramente la ubicación, orientación y criterios de aceptación de las etiquetas, como se muestra en la Tabla 59.

**Tabla 59.**

*Procedimiento estandarizado de etiquetado.*

| Actividad                    | Descripción                                        |
|------------------------------|----------------------------------------------------|
| Verificación de etiquetas.   | Comprobar estado físico y legibilidad.             |
| Posicionamiento.             | Ubicar la etiqueta según patrón establecido.       |
| Inspección visual.           | Verificar alineación y adherencia.                 |
| Registro de incumplimientos. | Documentar desviaciones detectadas.                |
| Acción correctiva.           | Corregir inmediatamente los errores identificados. |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La aplicación de este procedimiento permitirá mejorar la presentación del producto y reducir la cantidad de unidades reprocesadas.

Durante la fase de medición y análisis se identificó que el defecto denominado etiqueta mal colocada registró una frecuencia de 22 defectos, representando el 12,79 % del total de no conformidades detectadas en la muestra analizada. Este defecto se presenta cuando la etiqueta de identificación del producto se encuentra desalineada, arrugada, inclinada o ubicada fuera de la posición establecida por la empresa, afectando la presentación del producto y generando observaciones por parte de clientes.

#### **Objetivo de la propuesta**

Reducir la tasa de defectos por etiquetado deficiente mediante la implementación de un dispositivo Poka-Yoke y controles visuales, asegurando la conformidad del empaque y minimizando el volumen de producto no conforme.

## Fundamentación de la metodología Poka Yoke

La metodología Poka Yoke consiste en el diseño e implementación de mecanismos a prueba de errores que permitan prevenir o detectar fallas antes de que estas generen defectos en el producto final.

Su aplicación dentro de procesos productivos permite:

- Reducir errores humanos.
- Disminuir retrabajos.
- Incrementar la calidad.
- Estandarizar operaciones.
- Reducir costos de no calidad.

## Diseño de la propuesta Poka Yoke

Debido a que el defecto identificado se origina principalmente por errores durante la colocación manual de etiquetas, la metodología Poka Yoke constituye una alternativa adecuada para eliminar la posibilidad de error en la operación. La propuesta contempla tres niveles de control, expresados en la Tabla 60.

**Tabla 60.**

*Componentes de la propuesta Poka Yoke.*

| Componente                      | Descripción                                         | Objetivo                                         |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Guía visual de posicionamiento. | Marcas de referencia ubicadas en el botellón.       | Facilitar la correcta alineación de la etiqueta. |
| Plantilla física de colocación. | Dispositivo que limita la ubicación de la etiqueta. | Evitar errores de posición.                      |
| Inspección visual inmediata.    | Verificación antes de liberar el producto.          | Detectar errores antes del almacenamiento.       |

*Nota.* Elaborado por las autoras.

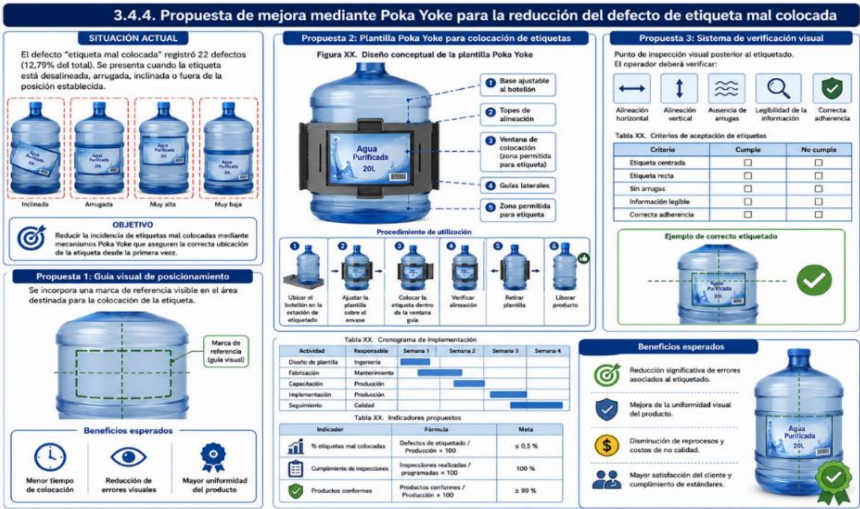
**Propuesta 1. Guía visual de posicionamiento:** se propone incorporar una marca de referencia visible en el área destinada para la colocación de la etiqueta. Esta guía permitirá al operador identificar de forma inmediata la ubicación correcta del adhesivo, reduciendo la variabilidad existente entre diferentes operarios.

**Propuesta 2. Plantilla Poka Yoke para colocación de etiquetas:** se plantea diseñar una plantilla física adaptable al botellón de 20 litros. La plantilla funcionará como

un molde que únicamente permitirá colocar la etiqueta dentro del espacio definido por la empresa, como ejemplo a seguir en la Figura 25.

**Figura 25.**

*Plantilla Poka Yoke.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

### Procedimiento de utilización

En la Tabla 61 se presenta el procedimiento propuesto para la colocación de etiquetas en los botellones, considerando una secuencia de actividades que permite estandarizar la operación y reducir posibles errores durante el proceso.

**Tabla 61.**

*Procedimiento propuesto para colocación de etiquetas.*

| Paso | Actividad                                        |
|------|--------------------------------------------------|
| 1    | Ubicar el botellón en la estación de etiquetado. |
| 2    | Ajustar la plantilla sobre el envase.            |
| 3    | Colocar la etiqueta dentro de la ventana guía.   |
| 4    | Verificar alineación.                            |
| 5    | Retirar plantilla.                               |
| 6    | Liberar producto.                                |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### Propuesta 3: sistema de verificación visual

Como mecanismo complementario para fortalecer el control del proceso de etiquetado, se propone establecer un punto de inspección visual posterior a la colocación de la etiqueta. Esta verificación permitirá al operador comprobar de manera sistemática

las condiciones del etiquetado antes de liberar el producto, considerando aspectos relacionados con la posición, presentación, legibilidad y adherencia de la etiqueta. Los criterios propuestos se presentan en la Tabla 62.

**Tabla 62.**

*Criterios de aceptación de etiquetas.*

| <b>Criterio</b>      | <b>Cumple</b>            | <b>No cumple</b>         |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Etiqueta centrada.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Etiqueta recta.      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sin arrugas.         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Información legible. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Correcta adherencia. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### **Plan de implementación**

El cronograma de implementación para el cumplimiento de la propuesta se presenta en la Tabla 63, en la cual se detallan las principales actividades requeridas para su ejecución, los responsables de cada etapa y el periodo estimado para su desarrollo.

**Tabla 63.**

*Cronograma de implementación.*

| <b>Actividad</b>     | <b>Responsable</b> | <b>Semana 1</b> | <b>Semana 2</b> | <b>Semana 3</b> | <b>Semana 4</b> |
|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Diseño de plantilla. | Ingeniería.        | X               |                 |                 |                 |
| Fabricación.         | Mantenimiento.     | X               | X               |                 |                 |
| Capacitación.        | Producción.        |                 | X               |                 |                 |
| Implementación.      | Producción.        |                 |                 | X               |                 |
| Seguimiento.         | Calidad.           |                 |                 | X               | X               |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### **Indicadores de seguimiento**

La implementación del sistema Poka Yoke permitirá reducir significativamente los errores asociados al etiquetado, mejorar la uniformidad visual del producto y disminuir la generación de reprocesos. Adicionalmente, contribuirá a fortalecer el control de calidad dentro del proceso de embotellado, incrementando la satisfacción del cliente y apoyando el cumplimiento de los objetivos de reducción de defectos establecidos en la metodología Six Sigma como se presenta en la Tabla 64.

**Tabla 64.***Indicadores propuestos.*

| Indicador                     | Fórmula                                    | Meta    |
|-------------------------------|--------------------------------------------|---------|
| % etiquetas mal colocadas.    | Defectos de etiquetado / Producción ×100   | ≤ 0,5 % |
| Cumplimiento de inspecciones. | Inspecciones realizadas / programadas ×100 | 100 %   |
| Productos conformes.          | Productos conformes / Producción ×100      | ≥ 99 %  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### 3.7.5. Propuesta de mejora mediante Control Estadístico de Procesos (SPC) para la reducción de fugas de agua

Durante la fase *Analizar* se determinó que las fugas de agua constituyen uno de los defectos prioritarios del proceso de embotellado de botellones de 20 litros en Aquafit S.A. Durante los cinco días de inspección se registraron 124 fugas de agua, equivalentes al 14,87 % de los defectos identificados en la muestra de 834 botellones inspeccionados.

$$\text{Ecuación (10) \% de fugas} = \frac{\text{Número de fugas detectadas}}{\text{Botellones inspeccionados}} * 100$$

$$\% \text{ de fugas} = \frac{124}{834} * 100$$

$$\% \text{ de fugas} = 14,87\%$$

Este defecto afecta la calidad del producto terminado, debido a que provoca pérdidas de agua, reprocesos, desperdicio de materiales, afectación de la presentación comercial y posibles reclamos de los clientes.

El análisis de causas raíz determinó que las fugas se derivan de la falta de monitoreo continuo en el sellado, controles de cierre deficientes y la ausencia de registros sistemáticos. Para corregir la inestabilidad del proceso y detectar variaciones anormales de forma temprana, se implementó un sistema de SPC dedicado al seguimiento de la tasa de defectos por fuga.

#### Objetivo de la propuesta

Implementar un sistema de Control Estadístico de Procesos SPC para el monitoreo en tiempo real de fugas en la línea de embotellado, facilitando la detección temprana de causas asignables y la aplicación de acciones correctivas que reduzcan el nivel de no conformidad.

## Fundamentación de la metodología SPC

El Control Estadístico de Procesos analiza la variabilidad de la línea de embotellado mediante la recolección y evaluación continua de datos operativos, permitiendo diferenciar entre la variación común del sistema y causas asignables fuera de control. Su aplicación facilita la identificación de variaciones normales y especiales, permitiendo tomar decisiones basadas en evidencia y prevenir que las desviaciones se conviertan en defectos recurrentes.

En el caso de Aquafit S.A., el SPC permite controlar la frecuencia de fugas mediante registros diarios, gráficos de control y límites de referencia. De esta manera, el personal de calidad y producción podrá detectar días con una frecuencia de fugas superior al comportamiento esperado y ejecutar acciones correctivas antes de que el problema se mantenga o aumente.

### Variables que controlar

Para controlar la ocurrencia de fugas se establecieron variables relacionadas con el defecto, como el estado en donde se relacionen las detecciones de fugas de agua y con las condiciones operativas que pueden influir en su generación, como se muestra en la Tabla 65.

**Tabla 65.**

*Variables críticas para el control de fugas de agua.*

| Variable                    | Descripción                                                                 | Método de control                    |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Fugas de agua.              | Cantidad de botellones que presentan pérdida de agua durante la inspección. | Inspección visual y registro diario. |
| Estado del tapado.          | Verificación de que la tapa se encuentre correctamente colocada y ajustada. | Inspección visual.                   |
| Estado del sello.           | Verificación de la integridad y correcta colocación del sello de seguridad. | Inspección visual.                   |
| Integridad del botellón.    | Revisión de grietas, fisuras, deformaciones o daños físicos.                | Inspección visual.                   |
| Frecuencia diaria de fugas. | Número de fugas registradas en cada jornada.                                | Hoja de control SPC.                 |
| Promedio de fugas.          | Valor promedio de fugas durante el período de análisis.                     | Gráfico de control.                  |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### Análisis estadístico inicial de las fugas

En la Tabla 66, se presentan los datos históricos de fugas registrados durante cinco días que permitieron establecer una línea base para el monitoreo del defecto. Los resultados registran una media diaria de 24,8 fugas, con un rango operativo entre 19 (lunes) y 30 defectos (miércoles). La desviación estándar de 4,82 unidades y el coeficiente de variación del 19,42 % confirman una dispersión moderada en la frecuencia del defecto a lo largo de la semana evaluada.

**Tabla 66.**

*Frecuencia de monitoreo propuesta.*

| <b>Día</b>                      | <b>Fugas de agua</b> |
|---------------------------------|----------------------|
| Lunes                           | 19                   |
| Martes                          | 25                   |
| Miércoles                       | 30                   |
| Jueves                          | 21                   |
| Viernes                         | 29                   |
| <b>Total</b>                    | <b>124</b>           |
| <b>Promedio</b>                 | <b>24,8</b>          |
| <b>Desviación estándar</b>      | <b>4,82</b>          |
| <b>Máximo</b>                   | <b>30</b>            |
| <b>Mínimo</b>                   | <b>19</b>            |
| <b>Rango</b>                    | <b>11</b>            |
| <b>Coeficiente de variación</b> | <b>19,42 %</b>       |

*Nota.* Elaborado por el autor.

A pesar de la relativa homogeneidad entre jornadas, la tasa media de defectos resulta inaceptable para el nivel de calidad objetivo. Esto exige la implementación de un monitoreo estadístico continuo para acotar la variabilidad del proceso, reducir la incidencia de fugas y mitigar el riesgo de no conformidad en el producto terminado.

### Diseño del gráfico de control de fugas

Para el seguimiento inicial de las fugas se elaboró un gráfico de control basado en la frecuencia diaria de defectos. Este gráfico permite visualizar el comportamiento de las fugas durante los cinco días de evaluación, comparando los resultados diarios con el promedio, límite superior de control y límite inferior de control establecidos para el proceso.

La línea central corresponde al promedio de fugas registradas durante el período evaluado:

Ecuación (11)

$$LC = \bar{x}$$

$$LC = \frac{19 + 25 + 30 + 21 + 29}{5}$$

$$LC = 24,8$$

El límite superior de control se estableció considerando el valor máximo observado durante el período de análisis:

$$LSC = 30$$

El límite inferior de control se estableció considerando el valor mínimo observado durante el período de análisis:

$$LIC = 19$$

Estos límites se utilizarán como valores referenciales iniciales para identificar cambios relevantes en la frecuencia de fugas. En futuras evaluaciones, una vez que se cuente con una mayor cantidad de datos, los límites deberán recalcularse mediante fórmulas estadísticas de control, considerando el tamaño de muestra y la variabilidad real del proceso, resumidos en la Tabla 67.

**Tabla 67.**

*Datos para gráfico de control de fugas de agua.*

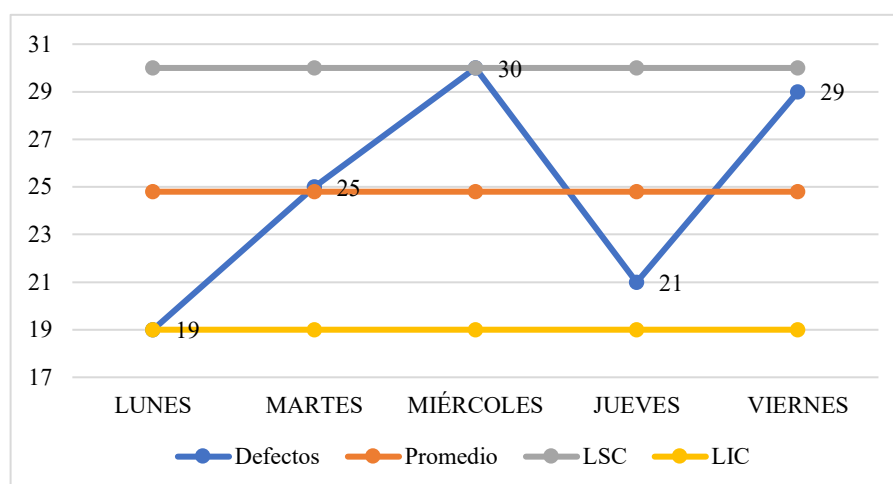
| Día       | Defectos por fugas | Promedio | Límite superior de control | Límite inferior de control |
|-----------|--------------------|----------|----------------------------|----------------------------|
| Lunes     | 19                 | 24,8     | 30                         | 19                         |
| Martes    | 25                 | 24,8     | 30                         | 19                         |
| Miércoles | 30                 | 24,8     | 30                         | 19                         |
| Jueves    | 21                 | 24,8     | 30                         | 19                         |
| Viernes   | 29                 | 24,8     | 30                         | 19                         |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Si bien ningún punto rebasó los límites calculados lo que indica estabilidad estadística inicial, el promedio de 24,8 defectos diarios resulta elevado, justificando la implementación de un monitoreo continuo para desplazar la media del proceso hacia niveles aceptables.

**Figura 26.**

*Carta de control P para monitoreo de fugas.*



*Nota.* Elaborado por el autor.

Para garantizar la sostenibilidad del SPC, es imprescindible estructurar un plan de control que defina formalmente la periodicidad, los responsables y los procedimientos estandarizados para la inspección, el registro metrológico, la verificación en línea y el análisis analítico de los datos. En este sentido, la Tabla 68 presenta la planificación de las actividades de monitoreo, indicando el responsable, la periodicidad con que deben ejecutarse y el registro que permite conservar evidencia de los resultados obtenidos.

**Tabla 68.**

*Frecuencia de monitoreo del sistema SPC.*

| Actividad                             | Responsable                   | Frecuencia      | Registro                        |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Inspección visual de fugas.           | Operario de calidad.          | Cada hora.      | Formato de inspección de fugas. |
| Registro de fugas detectadas          | Operario de calidad.          | Cada hora.      | Hoja de control SPC.            |
| Verificación de tapado y sellado.     | Supervisor de producción.     | Cada dos horas. | Registro de verificación.       |
| Consolidación de resultados.          | Responsable de calidad.       | Diaria.         | Base de datos de defectos.      |
| Actualización del gráfico de control. | Responsable de calidad.       | Semanal.        | Gráfico de control de fugas.    |
| Análisis de tendencias.               | Jefe de producción y calidad. | Mensual.        | Informe de seguimiento          |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Una vez establecida la frecuencia de monitoreo, se requiere definir una secuencia de actividades que permita aplicar el SPC de manera uniforme. La Tabla 68 describe el procedimiento propuesto para realizar la inspección, registrar los defectos, actualizar el gráfico de control y efectuar el seguimiento de las acciones implementadas. Su aplicación permitirá que los responsables dispongan de una metodología común para el control de las fugas.

**Tabla 69.**

*Procedimiento de monitoreo de fugas mediante SPC.*

| Paso | Actividad                  | Descripción                                                                                   |
|------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Selección de unidades.     | Seleccionar botellones producidos durante cada período de inspección.                         |
| 2    | Inspección de fugas.       | Revisar visualmente la presencia de pérdidas de agua en tapas, sellos y cuerpo del botellón.  |
| 3    | Registro de datos.         | Registrar la cantidad de fugas identificadas en el formato de control.                        |
| 4    | Consolidación.             | Sumar los defectos detectados durante la jornada.                                             |
| 5    | Actualización del gráfico. | Registrar el valor diario de fugas en el gráfico de control.                                  |
| 6    | Comparación.               | Comparar el resultado con el promedio y los límites de control.                               |
| 7    | Acción correctiva.         | Ejecutar acciones cuando se presenten incrementos, tendencias o valores fuera de los límites. |
| 8    | Seguimiento.               | Verificar si las acciones aplicadas reducen la frecuencia de fugas.                           |

*Nota.* Elaborado por el autor.

El monitoreo estadístico debe integrarse con un plan de reacción estructurado que defina los protocolos de actuación, los niveles de escalamiento y las acciones correctivas inmediatas. Por ello, la Tabla 69 establece las principales situaciones que pueden identificarse durante el seguimiento, sus posibles causas, las acciones correctivas recomendadas y el responsable de ejecutarlas. Esto permitirá responder de forma organizada ante desviaciones del proceso.

**Tabla 70.**

*Plan de reacción ante variaciones en las fugas de agua.*

| Situación detectada                        | Posible causa                                         | Acción correctiva                                                       | Responsable               |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Valor igual o superior al límite superior. | Problemas de tapado, sellado o integridad del envase. | Revisar el sistema de tapado y sellado; inspeccionar el lote producido. | Supervisor de producción. |

|                                                  |                                                      |                                                                        |                           |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Tendencia creciente durante varios períodos.     | Desajuste progresivo de equipos o fallas operativas. | Verificar presión, ajuste y condición de tapas y sellos.               | Técnico de mantenimiento. |
| Repetición de fugas en una misma estación.       | Problema localizado en el proceso.                   | Revisar componentes, guías y condiciones de operación de la estación.  | Supervisor de producción. |
| Fugas recurrentes luego de aplicar correcciones. | Acción correctiva insuficiente.                      | Realizar análisis de causa raíz y actualizar el plan de mantenimiento. | Jefe de producción.       |
| Fugas asociadas a daños físicos.                 | Manipulación inadecuada o botellones deteriorados.   | Separar envases dañados y reforzar inspección de integridad.           | Área de calidad.          |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Con el propósito de estructurar la fase de despliegue del SPC, se definió un cronograma de implementación organizado en un periodo de cuatro semanas. La Tabla 71 detalla la ruta crítica, asignando las etapas clave, los responsables y los plazos de ejecución para articular progresivamente la capacitación técnica, la captura de datos, la construcción de las cartas de control, el protocolo de respuesta ante desviaciones y la evaluación final del sistema.

**Tabla 71.**

*Cronograma de implementación del SPC para fugas de agua.*

| Actividad                           | Responsable                 | Semana | Semana | Semana | Semana |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                                     |                             | 1      | 2      | 3      | 4      |
| Diseño de formatos de inspección.   | Área de calidad.            | X      |        |        |        |
| Capacitación sobre SPC.             | Área de calidad.            | X      | X      |        |        |
| Registro inicial de datos.          | Producción y calidad.       |        | X      | X      | X      |
| Elaboración de gráficos de control. | Área de calidad.            |        |        | X      | X      |
| Aplicación de acciones correctivas. | Producción y mantenimiento. |        |        | X      | X      |
| Evaluación de resultados.           | Jefe de producción.         |        |        |        | X      |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Finalmente, para determinar la efectividad del sistema implementado, es necesario establecer indicadores que permitan comparar la situación inicial con los resultados obtenidos posteriormente. La Tabla 72 presenta los indicadores propuestos, sus

respectivas fórmulas, los valores de referencia iniciales y las metas esperadas. Estos parámetros permitirán evaluar tanto la reducción de fugas como el cumplimiento de las actividades de inspección y de las acciones correctivas.

**Tabla 72.**

*Indicadores para evaluar la reducción de fugas de agua.*

| Indicador                             | Fórmula                                                            | Situación | Meta          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|
|                                       |                                                                    | inicial   | propuesta     |
| Número promedio de fugas diarias.     | Total de fugas / Días evaluados.                                   | 24,8      | $\leq 10$     |
| Porcentaje de fugas.                  | Fugas detectadas / Botellones inspeccionados $\times 100$ .        | 14,87 %   | $\leq 5,95$ % |
| Reducción de fugas.                   | (Fugas iniciales – fugas finales) / Fugas iniciales $\times 100$ . | —         | $\geq 60$ %   |
| Cumplimiento de inspecciones.         | Inspecciones realizadas / Inspecciones programadas $\times 100$ .  | —         | 100 %         |
| Cumplimiento de acciones correctivas. | Acciones ejecutadas / Acciones planificadas $\times 100$ .         | —         | $\geq 95$ %   |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La implementación del SPC permitirá que Aquafit S.A., disponga de un mecanismo estructurado para monitorear la ocurrencia de fugas de agua, registrar las variaciones del proceso y actuar de manera oportuna ante posibles desviaciones. El gráfico de control elaborado constituye una línea base referencial para el seguimiento inicial del defecto; posteriormente, con una mayor cantidad de datos, los límites pueden ajustarse estadísticamente para fortalecer el control del proceso y evaluar el efecto de las acciones de mejora.

### 3.7.6. Evaluación del impacto esperado

Una vez diseñadas las propuestas de mejora basadas en TPM, estandarización del trabajo (SOP), Poka Yoke y Control Estadístico de Procesos (SPC), se procedió a estimar el impacto esperado sobre los principales indicadores de desempeño del proceso de embotellado de botellones de 20 litros en Aquafit S.A.

La proyección de resultados se realizó considerando la eliminación o reducción de las causas raíz identificadas durante la fase *Analizar*, las cuales se encuentran directamente relacionadas con los cinco defectos prioritarios que representan el 80,23 %

de las no conformidades registradas en el proceso. La integración de las metodologías implementadas (TPM, Poka-Yoke y SPC) fortalece la gobernanza operacional, acota la variabilidad de la línea y consolida la capacidad del proceso, garantizando la estabilidad continua de la producción.

La Tabla 73, muestra como resultado de la implementación de estas acciones, se proyecta una reducción aproximada del 60 % de los defectos identificados durante la fase de medición, generando mejoras significativas en los indicadores Six Sigma del proceso.

**Tabla 73.**

*Comparación de indicadores antes y después de la mejora.*

| Indicador            | Situación actual | Situación proyectada |
|----------------------|------------------|----------------------|
| Defectos detectados. | 172              | 69                   |
| DPMO.                | 25779            | 10341                |
| Nivel Sigma.         | 3,45             | 3,90                 |
| Nivel de calidad.    | 96.5%            | 98.996%              |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Los resultados presentados evidencian una mejora significativa en el desempeño operativo del proceso de embotellado. La reducción proyectada de defectos de 172 a 69 unidades representa una disminución del 59,88 %, lo que demuestra la efectividad esperada de las acciones planteadas para controlar las principales fuentes de variabilidad identificadas durante la investigación.

La proyección de los indicadores refleja un impacto sustancial en la capacidad del proceso: el DPMO se reduce de 25.779 a 10.341 defectos por millón de oportunidades, disminuyendo las pérdidas operativas, los reprocesos y la ineficiencia en el uso de recursos. A la par, el rendimiento (yield) pasa del 96,50 % al 98,99 %, incrementando la proporción de envases conformes frente a los estándares de calidad. En consecuencia, el nivel Sigma se incrementa de 3,45 a 3,90. Aunque este resultado aún dista de la meta teórica de  $6\sigma$ , consolida un avance significativo en la reducción de la variabilidad operativa y sienta una base sólida para el despliegue de futuras iniciativas de mejora continua.

### 3.7.7. Simulación de la propuesta de mejora

Con el propósito de evaluar el impacto de las acciones de mejora planteadas en la fase *Mejorar* de la metodología Six Sigma, se desarrolló un modelo de simulación del proceso propuesto mediante el software FlexSim 2026. El modelo conserva la secuencia del proceso actual, incorporando las mejoras orientadas a reducir la ocurrencia de los cinco defectos priorizados.

Las modificaciones introducidas corresponden a la implementación de actividades de mantenimiento preventivo (TPM), procedimientos operativos estandarizados (SOP), dispositivos Poka Yoke y herramientas de Control Estadístico de Procesos (SPC), las cuales permiten disminuir la variabilidad del proceso y mejorar el cumplimiento de las características críticas para la calidad (CTQ).

#### Procesos representados en la simulación

El modelo propuesto mantiene el flujo de producción de la empresa, considerando las operaciones en la Tabla 74. Durante la inspección final se verifica el cumplimiento de los CTQ de la fase *Definir*. Los productos conformes continúan el flujo normal del proceso, mientras que aquellos que presentan defectos son registrados para el análisis de desempeño del modelo.

**Tabla 74.**

*Variables empleadas en la simulación del proceso propuesto.*

| Proceso            | Variables consideradas                                 | Descripción                                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Lavado.            | Tiempo de lavado, operario, disponibilidad del equipo. | Representa la limpieza y desinfección del botellón antes del llenado.          |
| Llenado.           | Tiempo de llenado, volumen dosificado, operario.       | Controla el suministro del volumen de agua dentro de los límites establecidos. |
| Tapado.            | Tiempo de tapado, operario.                            | Representa la colocación y ajuste correcto de la tapa.                         |
| Sellado hermético. | Tiempo de sellado, equipo termo encogible, operario.   | Modela la aplicación del sello de seguridad.                                   |
| Etiquetado.        | Tiempo de etiquetado manual, operario.                 | Representa la colocación correcta de la etiqueta del producto.                 |
| Inspección final.  | Número de defectos detectados.                         | Clasifica los productos conformes y los productos con defectos.                |

*Nota.* Elaborado por el autor.

## Recursos utilizados

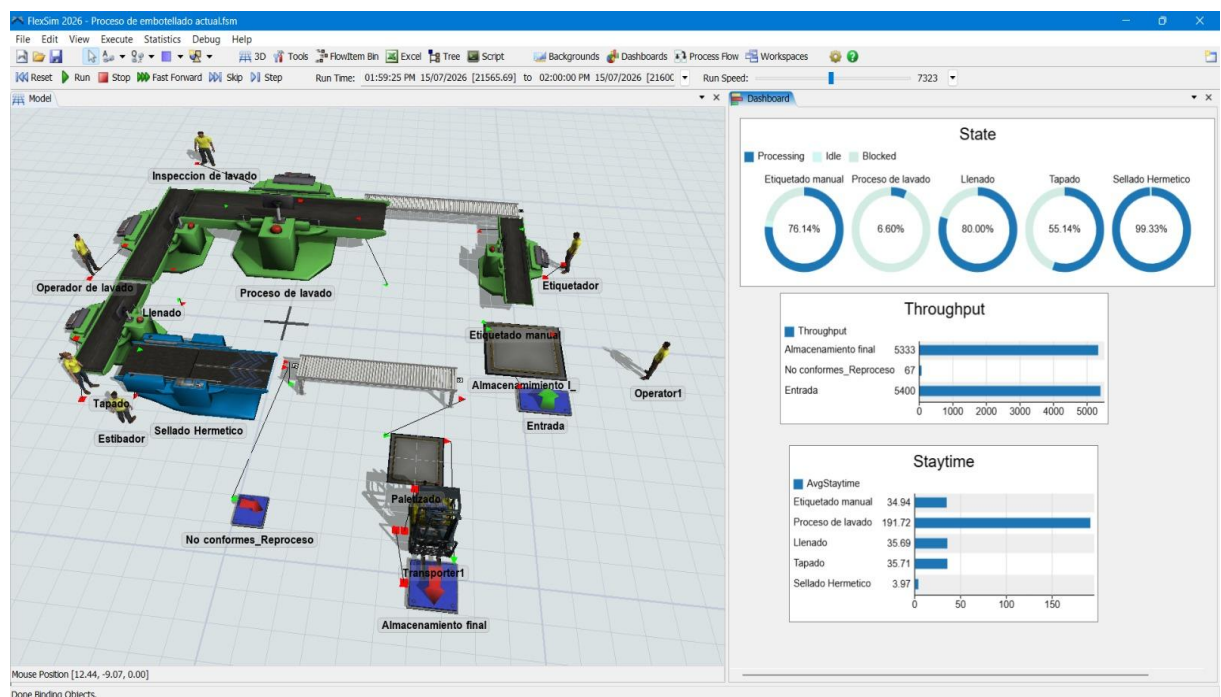
Los recursos considerados corresponden a los mismos equipos y operarios utilizados en el proceso actual; sin embargo, en el escenario propuesto se incorporan mejoras relacionadas con la estandarización de actividades, mantenimiento preventivo, dispositivos de prevención de errores y seguimiento estadístico del proceso, permitiendo un funcionamiento más estable y una reducción de la variabilidad operacional.

## Funcionamiento del modelo

El modelo de simulación propuesto incorpora las mejoras planteadas mediante la metodología Six Sigma, con el propósito de evaluar el comportamiento del proceso de embotellado una vez implementadas las acciones de mejora definidas en las fases del ciclo DMAIC. Para ello, se integraron al modelo las propuestas relacionadas con el Mantenimiento Productivo Total (TPM), los Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP), los dispositivos Poka Yoke y el Control Estadístico de Procesos (SPC), reduciendo la probabilidad de ocurrencia de defectos y mejorando la estabilidad del sistema. Con el fin de visualizar el comportamiento operativo del proceso mejorado, la Figura 27 presenta el modelo desarrollado en FlexSim.

**Figura 27.**

Simulación propuesta del proceso de embotellado.



*Nota.* Elaborado por el autor.

la Tabla 75 resume los principales indicadores obtenidos durante la simulación, permitiendo comparar posteriormente el desempeño del sistema respecto al escenario actual y cuantificar los beneficios alcanzados con la propuesta.

**Tabla 75.**

*Resultados de la simulación del proceso propuesto.*

| <b>Indicador</b>                 | <b>Resultado</b> |
|----------------------------------|------------------|
| Tiempo de simulación.            | 21600 seg        |
| Botellones de entrada.           | 5400             |
| Botellones conformes.            | 5333             |
| Botellones enviados a reproceso. | 67               |
| OEE proyectado.                  | 68,4 %           |

*Nota.* Elaborado por el autor.

Los resultados obtenidos mediante la simulación del escenario propuesto, presentados en la Tabla 75, evidencian una mejora significativa en el desempeño del proceso de embotellado como resultado de la incorporación de las herramientas de la metodología Six Sigma. Durante un periodo operativo de cinco horas, se procesaron 5.400 botellones, alcanzando un volumen de 5.333 unidades conformes y un remanente de 67 botellones sujetos a reproceso. Este resultado arroja una tasa de no conformidad del 1,24 % (un rendimiento directo del 98,76 %), confirmando una contracción sustancial de los defectos respecto a la línea base inicial.

De esta manera, el indicador de Overall Equipment Effectiveness (OEE) alcanzó el 68,4 %, lo que representa una optimización sustancial respecto a la línea base y demuestra un aprovechamiento superior de la capacidad instalada. Estos resultados validan la efectividad de la propuesta para elevar la eficiencia operativa, asegurar la calidad del producto terminado y mitigar las pérdidas financieras derivadas de la no conformidad en la línea de embotellado.

Con el objetivo de cuantificar el impacto real de la metodología DMAIC, se efectuó un análisis comparativo entre la línea base determinada mediante la simulación del estado actual y el escenario optimizado resultante de la propuesta de mejora. La Tabla 76 presenta los principales indicadores de desempeño antes y después de la implementación de las herramientas propuestas, permitiendo cuantificar el incremento en la productividad, la reducción de productos no conformes y la mejora de la eficiencia.

**Tabla 76.***Análisis comparativo de la simulación.*

| Indicador                      | Estado actual | Estado propuesto | Variación                  |
|--------------------------------|---------------|------------------|----------------------------|
| Tiempo de simulación           | 18000 s       | 21600 s          | +3600 s                    |
| Botellones procesados          | 4500          | 5400             | +20,00 %                   |
| Productos conformes            | 4373          | 5333             | +21,95 %                   |
| Productos enviados a reproceso | 127           | 67               | -47,24 %                   |
| OEE                            | 43.02 %       | 68,4 %           | +25,38 puntos porcentuales |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La comparación presentada demuestra el efecto positivo de la propuesta basada en la metodología Six Sigma sobre el desempeño del proceso de embotellado. En un aumento de tiempo de simulación, de acuerdo con la mejora por el TPM (3600 segundos), la producción representa un incremento del 20 % en la capacidad de procesamiento.

Adicionalmente, el OEE se incrementó de 43,02 % a 68,40 %, reflejando una mejora de 25,38 puntos porcentuales. Estos resultados evidencian que la implementación conjunta de TPM, SOP, Poka Yoke y SPC permite reducir la variabilidad del proceso e incrementar la productividad, confirmando la viabilidad técnica de la propuesta.

### **3.8. Aplicación de la fase controlar**

La fase *Controlar* tiene como finalidad garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas durante la fase Mejorar, evitando que el proceso vuelva a presentar los niveles de defectos identificados inicialmente. Esta etapa permite monitorear continuamente el desempeño del proceso, verificar el cumplimiento de los procedimientos establecidos y asegurar que los resultados obtenidos se mantengan a largo plazo.

En el proceso de embotellado de botellones de 20 litros de Aquafit S.A., la fase Controlar se orienta al seguimiento permanente de los defectos relacionados con sellado defectuoso, nivel de llenado incorrecto, tapa mal colocada, etiqueta mal colocada y fugas de agua, debido a que estos representan el 80,23 % de las no conformidades detectadas.

#### **Plan de control del proceso**

Como mecanismo de seguimiento se diseñó un plan de control expresado en la Tabla 77, orientado a verificar el cumplimiento de las mejoras implementadas para

determinar las variables que deben controlarse, el método de control, su frecuencia, el responsable y la acción correctiva correspondiente.

**Tabla 77.**

*Plan de control del proceso de embotellado.*

| Variable por controlar | Método de control                         | Frecuencia | Responsable             | Acción correctiva                         |
|------------------------|-------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Sellado defectuoso.    | Inspección visual del sello de seguridad. | Diario.    | Supervisor de calidad.  | Ajustar parámetros del equipo de sellado. |
| Nivel de llenado.      | Verificación del volumen de llenado.      | Diario.    | Operador de producción. | Calibrar equipo de llenado.               |
| Tapado correcto.       | Revisión del ajuste de tapas.             | Diario.    | Supervisor de línea.    | Aplicar procedimiento estandarizado.      |
| Etiquetado correcto.   | Inspección visual de etiquetas.           | Diario.    | Operador de etiquetado. | Corregir desviaciones detectadas.         |
| Fugas de agua          | Prueba visual de estanqueidad.            | Diario.    | Inspector de calidad.   | Retener producto y analizar causa.        |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### Indicadores de seguimiento

Con la finalidad de evaluar el desempeño del proceso después de la implementación de las mejoras, se establecieron indicadores de control asociados a los objetivos de calidad, tal como se muestra en la Tabla 78.

**Tabla 78.**

*Indicadores de control.*

| Indicador              | Fórmula                                                                              | Meta           |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Porcentaje de defectos | $(\text{Defectos detectados} / \text{Producción total}) \times 100.$                 | $\leq 1,86 \%$ |
| DPMO.                  | $(\text{Defectos} / \text{Oportunidades}) \times 1.000.000.$                         | $\leq 10.300$  |
| Nivel Sigma.           | Conversión Six Sigma.                                                                | $\geq 3,90$    |
| Productos conformes.   | $(\text{Productos conformes} / \text{Producción total}) \times 100.$                 | $\geq 99 \%$   |
| Cumplimiento del TPM.  | $\text{Actividades ejecutadas} / \text{Actividades programadas} \times 100.$         | 100 %          |
| Cumplimiento SOP.      | $\text{Procedimientos ejecutados correctamente} / \text{Total evaluado} \times 100.$ | $\geq 95 \%$   |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### Programa de auditorías internas

Con el propósito de verificar el cumplimiento de las mejoras implementadas, se propone realizar auditorías internas periódicas enfocadas en las actividades críticas del proceso, como se muestra en la Tabla 79.

**Tabla 79.**

*Programa de auditorías internas.*

| Aspecto por evaluar      | Frecuencia | Responsable               |
|--------------------------|------------|---------------------------|
| TPM de equipos.          | Mensual    | Jefe de mantenimiento.    |
| Cumplimiento de SOP.     | Mensual    | Supervisor de producción. |
| Aplicación de Poka Yoke. | Mensual    | Supervisor de calidad.    |
| Registros SPC.           | Semanal    | Inspector de calidad.     |
| Indicadores Six Sigma.   | Mensual    | Coordinador de calidad.   |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### Matriz de responsabilidades

En la Tabla 80, para asegurar la correcta ejecución de las actividades de control se definieron responsabilidades específicas para cada área involucrada basadas en la producción, calidad, mantenimiento e ingeniería para cada una de las actividades más importantes en la matriz de responsabilidades.

**Tabla 80.**

*Matriz de responsabilidades.*

| Actividad                        | Producción | Calidad | Mantenimiento | Ingeniería |
|----------------------------------|------------|---------|---------------|------------|
| Registro de defectos.            | X          |         |               |            |
| Inspección de producto.          |            | X       |               |            |
| Aplicación de TPM.               |            |         | X             |            |
| Seguimiento de indicadores.      |            | X       |               | X          |
| Actualización de procedimientos. | X          | X       |               |            |
| Evaluación de resultados.        |            | X       |               | X          |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### Seguimiento mediante cartas de control

Como complemento de las actividades de control, se propone mantener la utilización de cartas de control para monitorear el comportamiento del proceso y detectar oportunamente desviaciones que puedan afectar la calidad del producto. Las cartas de

control permitirán verificar si el proceso permanece dentro de límites estadísticos aceptables y facilitarán la identificación de causas especiales de variación que requieran intervención inmediata.

### **Estandarización de la mejora**

Una vez implementadas las acciones propuestas, se recomienda documentar formalmente los nuevos procedimientos operativos, formatos de inspección y actividades de mantenimiento preventivo con el fin de asegurar la continuidad de las mejoras alcanzadas.

La documentación permite preservar el conocimiento adquirido durante la ejecución del proyecto y facilita la capacitación de nuevos colaboradores, garantizando que las actividades se ejecuten de manera uniforme y conforme a los estándares establecidos por la empresa.

### **Evaluación final de la fase: controlar**

La aplicación de la fase *Controlar* permite consolidar los resultados obtenidos mediante la metodología DMAIC, asegurando el seguimiento continuo de los indicadores de calidad y la sostenibilidad de las mejoras implementadas. A través del monitoreo permanente, la ejecución de auditorías internas y el Control Estadístico de Procesos, Aquafit S.A., podrá mantener la reducción proyectada de defectos, mejorar la estabilidad operativa y fortalecer la calidad de los botellones de 20 litros producidos, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de mejora continua y satisfacción del cliente.

## **3.9. Presupuesto**

La inversión requerida para la implementación de la propuesta de mejora asciende a \$39.375,00, como se muestra en la Tabla 81, incluyendo costos directos de capacitación, mantenimiento preventivo, calibración de equipos, diseño de procedimientos estandarizados, implementación de dispositivos Poka Yoke y aplicación de herramientas de Control Estadístico de Procesos. Además, se consideró un 10 % destinado a imprevistos y un 15 % correspondiente al reajuste de costos, con la finalidad de garantizar la viabilidad financiera de la propuesta y cubrir posibles variaciones durante su ejecución. La inversión se justifica por el impacto esperado en la reducción de defectos, el

incremento del nivel Sigma y la mejora de la calidad del producto final, contribuyendo a la disminución de costos asociados a reprocesos, desperdicios y reclamos de clientes.

**Tabla 81.**

*Presupuesto de implementación de la propuesta.*

| Propuesta                             | Descripción                                           | Cantidad | Costo Unitario (USD) | Costo Total (USD) |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| TPM para sellado defectuoso.          | Capacitación TPM.                                     | 2        | \$500,00             | \$1.000,00        |
|                                       | Material didáctico.                                   | -        | -                    | \$300,00          |
|                                       | Mantenimiento preventivo del sistema termo encogible. | 1        | \$4.500,00           | \$4.500,00        |
|                                       | Repuestos y componentes del sistema de sellado.       | 1        | \$3.500,00           | \$3.500,00        |
|                                       | Calibración y ajuste de equipos.                      | 1        | \$1.200,00           | \$1.200,00        |
| TPM para nivel de llenado incorrecto. | Capacitación TPM.                                     | 2        | \$500,00             | \$1.000,00        |
|                                       | Material didáctico.                                   | -        | -                    | \$300,00          |
|                                       | Mantenimiento preventivo de llenadora.                | 1        | \$5.000,00           | \$5.000,00        |
|                                       | Cambio de válvulas y componentes de llenado.          | 1        | \$4.800,00           | \$4.800,00        |
|                                       | Calibración del sistema de llenado.                   | 1        | \$1.500,00           | \$1.500,00        |
| SOP para tapa mal colocada.           | Elaboración de procedimientos operativos.             | 1        | \$800,00             | \$800,00          |
|                                       | Diseño e impresión de instructivos.                   | 20       | \$15,00              | \$300,00          |
|                                       | Capacitación del personal operativo.                  | 2        | \$600,00             | \$1.200,00        |
|                                       | Señalización visual de estaciones de trabajo.         | 1        | \$600,00             | \$600,00          |
| Poka Yoke para etiqueta mal colocada. | Diseño de dispositivo Poka Yoke.                      | 1        | \$1.500,00           | \$1.500,00        |
|                                       | Fabricación de plantillas de posicionamiento.         | 4        | \$450,00             | \$1.800,00        |
|                                       | Implementación de guías visuales.                     | 1        | \$600,00             | \$600,00          |
|                                       | Capacitación operativa.                               | 2        | \$400,00             | \$800,00          |

|                         |                                       |   |            |             |
|-------------------------|---------------------------------------|---|------------|-------------|
| SPC para fugas de agua. | Capacitación en SPC.                  | 2 | \$500,00   | \$1.000,00  |
|                         | Elaboración de formatos de control.   | 1 | \$300,00   | \$300,00    |
|                         | Implementación de cartas de control.  | 1 | \$800,00   | \$800,00    |
|                         | Equipos de inspección y medición.     | 1 | \$2.500,00 | \$2.500,00  |
|                         | Seguimiento estadístico y auditorías. | 1 | \$1.200,00 | \$1.200,00  |
| Gestión del proyecto.   | Supervisión de implementación.        | 1 | \$2.500,00 | \$2.500,00  |
| Subtotal                |                                       |   |            | \$31.500,00 |
| 10% imprevistos.        |                                       |   |            | \$3.150,00  |
| 15 % reajuste.          |                                       |   |            | \$4.725,00  |
| Total de la propuesta.  |                                       |   |            | \$39.375,00 |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La Tabla 82 presenta la distribución de los defectos identificados durante la inspección de una muestra de 834 botellones correspondiente al proceso de embotellado de Aquafit S.A. Se registró un total de 172 defectos, siendo el sellado defectuoso, el nivel de llenado incorrecto y la tapa mal colocada las no conformidades con mayor frecuencia. Estos resultados permitieron conocer la situación inicial del proceso y constituyeron la base para el análisis estadístico y la posterior proyección del comportamiento de los defectos en la producción diaria de la empresa.

**Tabla 82.**

*Distribución de los defectos identificados.*

| Tipo de defecto              | Frecuencia | % sobre 172  |
|------------------------------|------------|--------------|
| Sellado defectuoso.          | 39         | 22,67 %      |
| Nivel de llenado incorrecto. | 31         | 18,02 %      |
| Tapa mal colocada.           | 27         | 15,70 %      |
| Etiqueta mal colocada.       | 22         | 12,79 %      |
| Fugas de agua.               | 19         | 11,05 %      |
| Integridad del botellón.     | 15         | 8,72 %       |
| Limpieza del botellón.       | 11         | 6,40 %       |
| Inocuidad del producto.      | 8          | 4,65 %       |
| <b>Total</b>                 | <b>172</b> | <b>100 %</b> |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La Tabla 83 muestra la proyección de los defectos estimados para una producción promedio diaria de 4.500 botellones, manteniendo la misma distribución porcentual observada en la muestra inspeccionada. Bajo este criterio se estimó un total de 927 defectos diarios que continúan representando la mayor proporción de las no conformidades. Esta proyección permitió dimensionar el impacto operativo del proceso y sirvió como referencia para estimar las pérdidas económicas asociadas a los defectos.

**Tabla 83.**

*Defectos estimados para una producción diaria.*

| <b>Tipo de defecto</b>       | <b>%</b>     | <b>Defectos proyectados (927)</b> |
|------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Sellado defectuoso.          | 22,67 %      | <b>210</b>                        |
| Nivel de llenado incorrecto. | 18,02 %      | <b>167</b>                        |
| Tapa mal colocada.           | 15,70 %      | <b>146</b>                        |
| Etiqueta mal colocada.       | 12,79 %      | <b>119</b>                        |
| Fugas de agua.               | 11,05 %      | <b>102</b>                        |
| Integridad del botellón.     | 8,72 %       | <b>81</b>                         |
| Limpieza del botellón.       | 6,40 %       | <b>59</b>                         |
| Inocuidad del producto.      | 4,65 %       | <b>43</b>                         |
| <b>Total</b>                 | <b>100 %</b> | <b>927</b>                        |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### **Costo actual asociado a los defectos del proceso**

Durante la fase *Medir* se identificaron 172 defectos en una muestra de 834 botellones inspeccionados. Considerando que la producción promedio diaria de Aquafit S.A., es de aproximadamente 4.500 botellones, se proyectó la ocurrencia de 927 defectos diarios, manteniendo la misma proporción observada durante el muestreo.

En la Tabla 84, con el propósito de estimar el impacto económico de estas no conformidades, se asignó un costo promedio a cada tipo de defecto considerando el material utilizado, el tiempo de reproceso, la reinspección, el consumo de recursos y las pérdidas parciales del producto. Esto permitió cuantificar las pérdidas económicas ocasionadas por los defectos presentes en el proceso de embotellado y establecer una línea base para evaluar posteriormente los beneficios de la propuesta de mejora.

**Tabla 84.***Costo actual estimado de los defectos identificados.*

| <b>Tipo de defecto</b>       | <b>Defectos proyectados</b> | <b>Tratamiento requerido</b>                      | <b>Costo estimado por defecto (USD)</b> | <b>Costo total (USD)</b> |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| Sellado defectuoso,          | 210                         | Reproceso, cambio de sello e inspección,          | 0,35                                    | 73,50                    |
| Nivel de llenado incorrecto, | 167                         | Ajuste del volumen y reinspección,                | 0,30                                    | 50,10                    |
| Tapa mal colocada,           | 146                         | Recolocación o cambio de tapa,                    | 0,25                                    | 36,50                    |
| Etiqueta mal colocada,       | 119                         | Reposición de etiqueta,                           | 0,15                                    | 17,85                    |
| Fugas de agua,               | 102                         | Reproceso y pérdida parcial del producto,         | 0,45                                    | 45,90                    |
| Integridad del botellón,     | 81                          | Sustitución del envase,                           | 0,70                                    | 56,70                    |
| Limpieza del botellón,       | 59                          | Lavado adicional e inspección,                    | 0,18                                    | 10,62                    |
| Inocuidad del producto,      | 43                          | Retención, evaluación y disposición del producto, | 0,35                                    | 15,05                    |
| <b>Total</b>                 | <b>927</b>                  |                                                   |                                         | <b>\$306,22</b>          |

*Nota.* Elaborado por el autor. Los costos estimados incluyen pérdidas de material, reproceso, tiempo operativo adicional e inspección.

### **Impacto esperado de la propuesta de mejora**

La implementación de la metodología Six Sigma, mediante la aplicación del ciclo DMAIC, tiene como propósito reducir la ocurrencia de defectos en el proceso de embotellado mediante la eliminación de las causas que generan mayor variabilidad. Considerando la aplicación de herramientas como el Project Charter, diagrama de Pareto, diagrama causa-efecto, acciones de mejora y control del proceso, se proyecta una reducción del 60 % de los defectos identificados, lo que permite disminuir significativamente los costos asociados al reproceso, inspecciones adicionales y pérdidas de producto. Bajo este escenario, los defectos diarios se reducirían de 927 a 371, mientras que las pérdidas económicas pasarían de \$306,22 a \$122,49, como se muestra en la Tabla 85, representando un ahorro estimado de \$183,73 por día. Estos resultados evidencian el impacto esperado de la propuesta sobre la calidad del proceso y la eficiencia operativa de Aquafit S.A.

**Tabla 85.**

*Comparación del escenario actual y el escenario esperado con la implementación de la metodología Six Sigma.*

| <b>Indicador</b>                  | <b>Situación actual</b> | <b>Situación propuesta</b> | <b>Reducción</b> |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|
| Producción diaria (botellones).   | 4.500                   | 4.500                      | —                |
| Defectos estimados.               | 927                     | 371                        | 556 (60%)        |
| Costo diario asociado a defectos. | \$306,22                | \$122,49                   | <b>\$183,73</b>  |
| Ahorro porcentual.                | —                       | —                          | <b>60%</b>       |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La Tabla 86 muestra la proyección del ahorro económico derivado de la implementación de la metodología Six Sigma en el proceso de embotellado de Aquafit S.A. Los resultados indican que la reducción estimada del 60 % de los defectos permite obtener un ahorro aproximado de \$183,73 por día, equivalente a \$4.042,06 mensuales y \$48.504,72 anuales, considerando una jornada de 22 días laborables por mes. Esta proyección evidencia que la disminución de los reprocesos, desperdicios y productos no conformes no solo contribuyen al mejoramiento de la calidad del proceso, sino que también generaría beneficios económicos importantes para la empresa, fortaleciendo la viabilidad y conveniencia de la propuesta de mejora basada en la metodología Six Sigma.

**Tabla 86.**

*Proyección del ahorro económico esperado con la implementación de la metodología Six Sigma.*

| <b>Periodo</b>               | <b>Ahorro estimado (USD)</b> |
|------------------------------|------------------------------|
| Diario                       | \$183,73                     |
| Mensual (22 días laborables) | \$4.042,06                   |
| Anual (264 días laborables)  | \$48.504,72                  |

*Nota.* Elaborado por el autor. a proyección considera una reducción estimada del 60% de los defectos presentes en el proceso de embotellado.

### **Recuperación de la inversión**

La implementación de la propuesta de mejora basada en la metodología Six Sigma requiere una inversión total de \$39.375,00, destinada a la ejecución de actividades de Mantenimiento Productivo Total (TPM), estandarización de procedimientos (SOP),

implementación de dispositivos Poka Yoke, Control Estadístico de Procesos (SPC), capacitación del personal y gestión integral del proyecto.

En la Tabla 87, con base en la proyección realizada, se estima que la aplicación de las mejoras permite reducir en un 60 % los defectos presentes en el proceso de embotellado, generando un ahorro aproximado de \$183,73 diarios, equivalente a \$4.042,06 mensuales y \$48.504,72 anuales. Considerando estos beneficios económicos, el periodo estimado para recuperar la inversión asciende a 9,74 meses, lo que demuestra que la propuesta resulta económicamente conveniente para la empresa, ya que los recursos invertidos podrían recuperarse antes del primer año de operación.

**Tabla 87.**

*Periodo estimado de recuperación de la inversión.*

| Concepto                         | Valor (USD)                   |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Inversión total de la propuesta. | \$39.375,00                   |
| Ahorro diario estimado.          | \$183,73                      |
| Ahorro mensual estimado.         | \$4.042,06                    |
| Ahorro anual estimado.           | \$48.504,72                   |
| <b>Periodo de recuperación.</b>  | <b>9,74 meses (≈10 meses)</b> |

*Nota.* El periodo de recuperación fue calculado considerando una reducción estimada del 60% de los defectos en el proceso de embotellado y un promedio de 22 días laborables por mes.

La Tabla 87 presenta el periodo estimado de recuperación de la inversión requerida para implementar la propuesta de mejora. Desde la perspectiva financiera, la evaluación confirma la viabilidad económica del proyecto: con una inversión inicial de \$39.375,00 USD y un flujo de ahorro mensual proyectado de \$4.042,06 USD, el periodo de recuperación del capital (payback) se establece en 9,74 meses.

### **Evaluación de la contribución de la propuesta**

Con el propósito de evidenciar el cumplimiento del objetivo específico relacionado con la formulación del plan de mejora basado en la metodología Six Sigma, se presenta una síntesis de las acciones desarrolladas durante cada una de las fases del ciclo DMAIC. Esta integración permite demostrar cómo las herramientas aplicadas contribuyeron al diagnóstico del proceso, la identificación de las causas de los defectos, el diseño de las propuestas de mejora y la proyección de los resultados esperados.

**Tabla 88.***Cumplimiento de la metodología Six Sigma.*

| <b>Fase DMAIC</b> | <b>Herramientas aplicadas</b>                                                  | <b>Resultado obtenido en la fase</b>                                             | <b>Situación inicial</b>                                                | <b>Situación propuesta</b>                                                                   |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Define</b>     | SIPOC, CTQ, Project Charter, Diagrama de flujo.                                | Se identificó el proceso y las características críticas para la calidad.         | No existía priorización de defectos ni objetivos de mejora.             | Se definieron los CTQ y el alcance del proyecto para reducir defectos.                       |
| <b>Measure</b>    | Hoja de verificación, inspección de 834 botellones, DPMO, Nivel Sigma, Pareto. | Se cuantificó el desempeño actual del proceso.                                   | 927 defectos estimados por día, DPMO elevado, OEE de 43,02 %.           | Se estableció la línea base para evaluar las mejoras.                                        |
| <b>Analyze</b>    | Pareto, Ishikawa, 5 ¿Por qué?, AMEF/FMEA.                                      | Se identificaron las causas raíz que generan el 80,23 % de los defectos.         | No existía análisis sistemático de causas.                              | Se priorizaron cinco defectos críticos para intervenir.                                      |
| <b>Improve</b>    | TPM, SOP, Poka Yoke, SPC.                                                      | Se diseñaron propuestas específicas para eliminar las causas raíz identificadas. | No existían procedimientos estandarizados ni mantenimiento planificado. | Se proyecta una reducción del 60 % de los defectos y una mayor estabilidad del proceso.      |
| <b>Control</b>    | Indicadores, seguimiento del DPMO, planes de control.                          | Se establecieron mecanismos para mantener las mejoras propuestas.                | No existía seguimiento sistemático de los indicadores.                  | Se plantea el monitoreo continuo del proceso para asegurar la sostenibilidad de las mejoras. |

*Nota.* Elaborado por el autor.

La comparación presentada evidencia el impacto esperado de la propuesta formulada mediante la metodología Six Sigma. La aplicación integrada de herramientas como TPM, SOP, Poka Yoke y Control Estadístico de Procesos permite intervenir directamente sobre las principales causas que originan los defectos del proceso de embotellado, proyectando una reducción del 60 % de las no conformidades, equivalente a pasar de 927 a 371 defectos diarios. Esta contracción operativa equivale a una reducción de aproximadamente 556 defectos por jornada y a un ahorro proyectado de 180,00 USD diarios, al mitigar los costos por reprocesos y mermas de material.

**Tabla 89.***Comparación de indicadores antes y después de la propuesta.*

| <b>Indicador</b>             | <b>Situación actual</b>             | <b>Situación esperada</b>      | <b>Mejora</b>                |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Producción diaria.           | 4500 botellones.                    | 4500 botellones.               | Se mantiene.                 |
| Defectos diarios.            | 927                                 | 371                            | ↓ 60 %                       |
| Reducción de defectos.       | —                                   | 556 defectos menos.            | 60 %                         |
| Pérdidas económicas diarias. | \$300,00                            | \$120,00                       | Ahorro \$180,00.             |
| Ahorro mensual               | —                                   | \$3.960,00                     | +\$3.960                     |
| DPMO.                        | Valor calculado en la fase Measure. | Disminución esperada del 60 %. | Mejora significativa.        |
| Nivel Sigma.                 | Valor actual obtenido.              | Incremento esperado.           | Mayor capacidad del proceso. |
| OEE.                         | 42,68 %                             | Incremento esperado.           | Mayor eficiencia.            |
| Calidad del producto.        | Alta variabilidad.                  | Menor variabilidad.            | Mayor estabilidad.           |

*Nota.* Elaborado por el autor.

### **3.10. Discusión**

Los resultados obtenidos en el desarrollo del primer objetivo específico permitieron sustentar teóricamente las variables de investigación mediante un análisis bibliométrico de la literatura científica sobre Six Sigma y reducción de defectos. La revisión evidenció que esta metodología continúa siendo ampliamente utilizada para mejorar la calidad y disminuir la variabilidad en procesos industriales, principalmente mediante la aplicación del ciclo DMAIC y herramientas estadísticas para la toma de decisiones. Estos hallazgos guardan concordancia con lo reportado por Frederick & Wibisono (2026), quienes demostraron que la aplicación estructurada de Six Sigma permitió reducir los niveles de rechazo en una empresa del sector de bebidas, mejorando los indicadores de calidad y el desempeño operativo.

En relación con el segundo objetivo específico, se logró establecer el marco metodológico de la investigación mediante la definición del enfoque cuantitativo, el diseño no experimental y la estructuración del procedimiento metodológico basado en la metodología Six Sigma a través del ciclo DMAIC. Además, se seleccionaron y aplicaron técnicas e instrumentos de recolección de datos, entre ellos la observación directa, la revisión documental, la hoja de registro de defectos, la matriz de recopilación de datos de producción y la ficha de observación, los cuales permitieron obtener información objetiva

del proceso de embotellado. El rigor metodológico empleado garantizó la trazabilidad y fiabilidad de las mediciones para la estimación del DPMO y el nivel Sigma, así como para la jerarquización de los defectos de mayor impacto.

Respecto al tercer objetivo específico, la formulación del plan de mejora basado en la metodología Six Sigma permitió integrar herramientas como TPM, Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP), Poka Yoke y Control Estadístico de Procesos (SPC), seleccionadas de acuerdo con las causas raíz identificadas durante la fase de análisis. La proyección realizada evidenció que la aplicación conjunta de estas herramientas permite reducir aproximadamente el 60 % de los defectos presentes en el proceso, pasando de un estimado de 927 a 371 defectos diarios. En términos económicos, la contracción de las no conformidades reduce el costo por desperdicio y reproceso de \$306,22 a \$122,49 USD por jornada, lo que genera un ahorro directo de \$183,73 USD diarios (\$4.042,06 USD mensuales y \$48.504,72 USD anuales). Esta optimización del flujo de caja permite amortizar la inversión requerida en un período aproximado de diez meses.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten responder la pregunta central de investigación, al demostrar que la aplicación de una metodología Six Sigma contribuye a la reducción de defectos, la disminución de la variabilidad del proceso y el incremento de la calidad del producto final en el proceso de embotellado de Aquafit S.A. De igual manera, se respondió cada una de las preguntas específicas planteadas al sustentar teóricamente las variables mediante el análisis bibliométrico, diagnosticar objetivamente el estado actual del proceso y formular un plan de mejora sustentado en herramientas de calidad que permiten intervenir las principales causas de los defectos identificados.

Como limitación de la investigación, debe señalarse que la propuesta desarrollada corresponde a un diseño de mejora basado en la metodología Six Sigma sustentado mediante el diagnóstico del proceso, la simulación y la proyección de resultados, por lo que las mejoras presentadas no fueron implementadas físicamente dentro de la empresa durante el período de estudio. En consecuencia, los beneficios técnicos y económicos estimados corresponden a escenarios proyectados a partir de la información obtenida.

## CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico de la literatura científica permitió sustentar teóricamente las variables de investigación, evidenciando que la metodología Six Sigma ha sido ampliamente utilizada para reducir defectos, disminuir la variabilidad y mejorar el desempeño de los procesos productivos mediante el ciclo DMAIC y el empleo de herramientas estadísticas. Los estudios analizados demostraron resultados favorables en diferentes sectores industriales, confirmando la pertinencia de utilizar esta metodología como base para el desarrollo de la presente investigación en el proceso de embotellado de Aquafit S.A.

Se estableció el marco metodológico de la investigación mediante la definición del enfoque, diseño, procedimiento metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos, lo que permitió evaluar objetivamente el proceso de embotellado. La aplicación de la hoja de registro de defectos, la matriz de recopilación de datos de producción y la ficha de observación proporcionó información confiable para calcular indicadores como el DPMO y el nivel Sigma, identificar los principales defectos del proceso y establecer la línea base que sustentó el desarrollo de las fases posteriores de la metodología Six Sigma.

La propuesta desarrollada mediante el ciclo DMAIC permitió estructurar un plan integral de mejora para mitigar las causas raíz de las no conformidades en la línea de embotellado de Aquafit S.A. La sinergia entre el Mantenimiento Productivo Total (TPM), los Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP), los sistemas Poka-Yoke, el Control Estadístico de Procesos (SPC) y el plan de control operacional consolidó una reducción proyectada del 59,98 % en la tasa de fallas, conteniendo la generación de defectos de 927 a 371 unidades/día. Desde la perspectiva económica, esta optimización disminuye los costos por no conformidad de \$306,22 a \$122,49 USD diarios, representando un ahorro neto anual de \$48.504,72 USD y un período de recuperación de capital (payback) de 9,74 meses. En conjunto, estos indicadores convalidan la viabilidad técnica, operativa y financiera del modelo Six Sigma para estabilizar la producción y elevar el estándar de calidad de la planta.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener actualizado el análisis de la literatura científica relacionada con Six Sigma y las metodologías de mejora continua mediante la revisión periódica de nuevos estudios y análisis bibliométricos. Esto permitirá identificar tendencias, herramientas y enfoques que puedan complementar la metodología aplicada en la presente investigación y servir como referencia para futuras estrategias de optimización del proceso de embotellado, especialmente aquellas orientadas a la reducción de defectos, el control de la variabilidad y el fortalecimiento de la calidad del producto final.

Se recomienda mantener y estandarizar el marco metodológico implementado para la evaluación del proceso de embotellado, utilizando de forma sistemática las técnicas e instrumentos de recolección de datos desarrollados en la investigación. Igualmente, es conveniente actualizar periódicamente la información obtenida mediante la hoja de registro de defectos, la matriz de recopilación de datos de producción y la ficha de observación, con el fin de disponer de datos confiables para el seguimiento de los indicadores de calidad y para sustentar futuras acciones de mejora continua.

Se recomienda ejecutar de forma progresiva el plan de mejora bajo la arquitectura metodológica Six Sigma, priorizando el despliegue del TPM, la estandarización de procesos (SOP), los mecanismos Poka-Yoke y las cartas de control SPC. De esta manera, es indispensable mantener un monitoreo riguroso a través de los indicadores definidos en la fase Controlar (DPMO, Nivel Sigma, OEE y tasa de no conformidad), asegurando la adherencia a los estándares operativos. Finalmente, se sugiere realizar auditorías periódicas de los retornos económicos (\$48.504,72 USD/año) y la reducción proyectada del 60 % de fallas para validar el tiempo de recuperación de la inversión y asegurar la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

## REFERENCIAS

- Adil, S. Y., Naseem, K., Hasan, S., & Shah, S. (2023). Reducing Defects in Garment Manufacturing: A DMAIC Approach. *2023 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions, ICTMOD 2023*. <https://doi.org/10.1109/ICTMOD59086.2023.10472902>
- Al Doghan, M. A., & Sundram, V. P. K. (2023). Organization operational efficiency and Innovativeness: Exploring the role of employees' task-based training, operational task commitment, operational engagement, and supervisor support. *International Journal of Operations and Quantitative Management*, 29(1), 108–127. <https://doi.org/10.46970/2022.29.1.7>
- Alshurideh, M., Al Kurdi, B., & Alrawabdeh, W. (2023). Enhancing Manufacturing Competitiveness in UAE SMEs: The Influence of Process Quality Improvement and Lean Practices. *International Journal of Business Analytics and Security (IJBAS)*, 3(2), 93–104. <https://doi.org/10.54489/ijbas.v3i2.260>
- Álvarez-Del Valle, A. I., Anaya-Fuentes, G. E., Montaña-Arango, O., & Ramírez-Reyna, S. B. (2025). Modelo de Implementación del Método Kaizen en Empresas Textiles Hidalguenses. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(3), 3897–3920. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i3.18017](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i3.18017)
- Aparicio-Hernández, J. A., Mora-Castañeda, E., & López-Cruz, G. (2024). Herramientas estadísticas para reducir la variabilidad en los procesos con Six Sigma. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 1764–1781. [https://doi.org/10.37811/CL\\_RCM.V8I6.14940](https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I6.14940)
- Baro, M., Piña, M., & Reyes, A. (2023). 6 Sigma and DMAIC Method: Basic Tool Teaching and Application for Beginning Practitioners in Automotive Assembly. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 16(1), 89–96. <https://doi.org/10.22094/JOIE.2023.1976488.2029>
- Barrientos-Ramos, N. J., & Tapia-Cayetano, L. M. (2022). Modelo Lean Manufacturing de reducción de mudas aplicando el trabajo estandarizado para reducir la cantidad de productos con defectos en Mypes textiles. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653024>

- Calvo, E., Ferrer-Vasquez, M., & Santa, R. (2024). Lean manufacturing: the case of latin american countries. *inted2024 Proceedings*, 1, 6085–6090. <https://doi.org/10.21125/inted.2024.1599>
- Cóndor-Chano, P. D. (2022). *Propuesta de aplicación de la metodología DMAIC 6 sigma para mejorar la productividad en los procesos de fabricación de adoquines en la empresa CR Solution en Quito, Distrito Metropolitano*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23912>
- Coronel-Carvajal, C. (2023). Las variables y su operacionalización. *Archivo Médico Camagüey*, 27, e8775–e8775. <https://revistaamc.sld.cu/index.php/amc/article/view/8775/4510>
- Coronel-Reyes, L. G., & Balladares-Atoche, C. (2026). Análisis de la implementación de la metodología Lean Kaizen en la gestión de energía: una revisión sistemática. *Revista InveCom / ISSN En Línea: 2739-0063*, 6(2), 1–10. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.16999763>
- Corzo-Domínguez, C. E., Flores-Martínez, N. V., & Pérez-Román, I. (2022). El estado del arte, ¿Necesidad o necesidad? *Opción*, 38, 139–153. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7498634>
- Deepak, D., Farwaha, H. S., Alqahtani, F. M., Dwivedi, S., Singh, R. P., Singh, P., Ranjan, N., & Kumar, A. (2025). Enhancement in production efficiency using DMAIC methodology of six sigma. *Scientific Reports 2025 15:1*, 15(1), 45109-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32861-7>
- Deepak-Ravindra, P., & Kasi-Raja, R. (n.d.). Cómo mejorar la calidad y reducir los defectos mediante el control estadístico de procesos en Abc Manufacturing Limited. 2025. Retrieved March 24, 2026, from <https://theaspd.com/index.php/ijes/article/view/3800/2817>
- Destyanto-Rahmawan, A., Nurimannisa, M., & Artikel, R. (2024). Six Sigma for Enhancing Dine-In Food Service Quality: A Case Study of Food and Beverage Businesses in Indonesia. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(4), 2253–2263. <https://doi.org/10.70609/gtech.v8i4.4997>

- Dewi, S. K., Widodo, R. D. S. A., & Lukman, M. (2022). Reducing defective products using six sigma for production process improvement. *AIP Conference Proceedings*, 2453(1). <https://doi.org/10.1063/5.0094477>
- Espin-Guerrero, R., Toalombo-Rojas, B. M., Moyolema-Chaglla, Á., & Altamirano-Salazar, A. M. (2022). Optimización de los procesos operativos mediante la teoría de restricciones en una empresa metalmeccánica. *Novasineria*, ISSN 2631-2654, 5(2), 33–57. <https://doi.org/10.37135/NS.01.10.03>
- Fadli, A. D. (2024). Implementation of Total Quality Management (TQM) in Improving Product Quality in Manufacturing Companies. *Maroon Journal De Management*, 1(2), 74–84. <https://doi.org/10.37899/mjdm.v1i2.97>
- Farhangi, O., Sheidaee, E., & kisalaei, A. (2024). Machine Vision for Detecting Defects in Liquid Bottles: An Industrial Application for Food and Packaging Sector. *Cloud Computing and Data Science*, 242–254. <https://doi.org/10.37256/ccds.5220244756>
- Felizzola-Jimenez, H., Hualpa-Zuñiga, A., Arango-Londoño, C., Rodríguez-Rativa, J., & Rodríguez-Cortes, M. (2023). Aplicación de Seis Sigma para la Reducción de Defectos en la Fabricación de Muebles de Madera en una PYME. *Dirección y Organización*, (81), 52–68. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i81.652>
- Frederick, R., & Wibisono, D. (2026). Integrated Lean Six Sigma and Statistical Quality Control to Enhance Production Quality in the Beverage Manufacturing. *Eduvest - Journal of Universal Studies*, 6(2), 3082–3099. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v6i2.52481>
- García-Martínez, E. M. (2023). *Aplicación del diagrama de Pareto para la priorización de problemas en la industria agroalimentaria*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/194736>
- Godinho-Antunes, M., Ribeiro-Mucharreira, P., Texeira-Justino, M. R., & Texeira-Quirós, J. (2022). Effects of Total Quality Management (TQM) Dimensions on Innovation—Evidence from SMEs. *Sustainability 2021*, Vol. 13, Page 10095, 13(18), 10095. <https://doi.org/10.3390/su131810095>
- Gregorio-Chaviano, O., López-Mesa, E. K., & Limaymanta, C. H. (2022). Web of Science como herramienta de investigación y apoyo a la actividad científica: luces

- y sombras de sus colecciones, productos e indicadores. *E-Cienc. Inf.* [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1659-41422022000100134&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-41422022000100134&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
- Guanotuña-Toaquiza, G. A., Ramos-Guevara, J. E., & Jiménez-Castro, W. F. (2024). La mejora continua en la optimización de procesos en las unidades de producción. *UTC Prospectivas: Revista de Ciencias Administrativas y Económicas*, 7(2), 1–28. <https://doi.org/10.61236/UTCPROSPECTIVAS.V7I2.802>
- Guerrero-Velástegui, C. A., Infante-Paredes, R. E., Peñaherrera-Zambrano, S. X., & Herrera-Herrera, J. B. (2024). A bibliometric analysis of literature trends in content marketing and content managers. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 5(2), e24023–e24023. <https://doi.org/10.51798/sijis.v5i2.734>
- Guleria, P., Pathania, A., Shukla, R. K., & Sharma, S. (2022). Lean six-sigma: Panacea to reduce rejection in gear manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4040–4046. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.559>
- Haro-Sarango, A. F., Proaño-Altamirano, G. E., Merino-Lema, G. L., & Niama-Játiva, J. C. (2025). Metodología de la investigación desde el enfoque cuantitativo, cualitativo y mixto. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(4). <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4577>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza-Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. *McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A. de C.V.*, 753. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hernández-Metodología de la investigación.pdf>
- Husaini, R., Febrianti, M. A., Qurtubi, Helia, V. N., & Rachmadewi, I. P. (2023). Analysis of the defect level reduction on bottle cap using Six-Sigma. *AIP Conference Proceedings*, 2691(1). <https://doi.org/10.1063/5.0114982>
- Imaroh, T. S., & Mustofa, A. (2022). Defect Reduction Analysis to Improve Glass Bottle Packaging Products Quality Using Statistical Process Control (SPC) at PT. Muliaglass Container (MGC). *Journal of Social Science*, 3(5), 1003–1018. <https://doi.org/10.46799/jss.v3i5.402>

- INEC. (2024). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*.  
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- Joño-Macetas, A. J., Molle-Collatupa, S. E., & Vásquez-Espinoza, J. M. (2024). Kaizen for adjusting production processes with continuous improvement in industries: a systematic review. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*.  
<https://doi.org/10.18687/LEIRD2024.1.1.566>
- León-Castro, R., Barahona-Rodríguez, D. A., Barahona-Rodríguez, S. K., Morocho-Pérez, M. C., Quispe-Vara, L. M., & Huancas-Mitma, C. (2025). Improvement Proposal to Reduce Defects in PET Bottle Blowing Using Lean Six Sigma: Case Study. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, (2025).  
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1034>
- Liu, X., Liu, J., Yang, X., Wu, Z., Wei, Y., Xu, Z., & Wen, J. (2025). Fault Root Cause Analysis Based on Liang–Kleeman Information Flow and Graphical Lasso. *Entropy*, 27(2), 213. <https://doi.org/10.3390/e27020213>
- Malpartida-Gutierrez, J. N., Olmos-Saldivar, D., Quiñones-Chumacero, S. M., Ledesma-Cuadros, M. J., Garcia-Curo, G., & Diaz-Dumont, J. R. (2021). Estrategia de mejora de procesos Six Sigma aplicado a la industria textil. *Alpha Centauri*, 2(3), 72–90.  
<https://doi.org/10.47422/ac.v2i3.45>
- Marín-Calderón, A. V., Valenzuela-Galván, M., Cuamea-Cruz, G., & Brau-Ávila, A. (2022). *Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno*.  
<https://www.redalyc.org/journal/404/40475449007/html/>
- Martínez-Mendoza, E., Jiménez-Antonio, D., & Fernández-Echeverría, E. (2023). Definición y Mejora de Procesos en Ausencia de Registros de Operación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 4836–4852.  
[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i6.9039](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9039)
- Martínez-Zárate, I., Guevara-Ramírez, I., Cruz-Manzo, J., Heredia-García, R., & Osio-Sánchez, D. M. (2024). Desarrollo y Validación de un Modelo Lean Six Sigma como

- Método de Mejora Continua en las PyMes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 9131–9152. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.14302](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14302)
- Mejía-Benavides, J. E., Díaz-Cervantes, E., & Fuentes-Ocampo, L. (2021). Descripción de población, muestra y muestreo. *Metodología Para La Investigación En Enfermería*, 151–164. <https://doi.org/10.59760/8733385.09>
- Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahlawat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, 9(3), e14625. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14625>
- Muchew, L. (2023). *Defect Reduction Using a Lean Six Sigma DMAIC Approach: A Case of 3F Manufacturing PLC*. <https://etd.aau.edu.et/handle/123456789/2413>
- Mukti Ali, S. (2023). Defect Reduction in The Manufacturing Industry: Systematic Literature Review. *International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 5(2), 73–83. <https://doi.org/10.24002/ijieem.v5i2.7495>
- Nur-Ramadhan, A. N., & Prima-Waluyowati, N. (2025). Reducing Manufacturing Defects Using Six Sigma DMAIC: A Case Study in MSG Production. *Jurnal Kewirausahaan Dan Inovasi*, 4(2), 385–399. <https://doi.org/10.21776/jki.2025>
- Nusantara, D., & Purwanto, S. (2024). Defect reduction strategy: selecting the right management tools. *international journal of economic literature*, 1(10), 1582–1592. <https://sociohum.net/index.php/INJOLE/article/view/854>
- Obodoagu, K. O., Ofondu, M. M., & Obi, A. V. (2025). Assessing Lean Six Sigma's Role in Enhancing Quality Control in Food and Beverage Production. *International Journal of Strategic Management and Business Policy*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16017863>
- Oluwajinmi, B., & Longe, O. (2024). Continuous Process Improvement and Customer Satisfaction of Selected Food and Beverage Companies in South-West, Nigeria. *IIARD International Journal of Economics and Business Management*, 9(10), 94–109. <https://doi.org/10.56201/ijebm.v9.no10.2023.pg94.109>

- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pico-Muentes, J. C., & García-Castro, W. F. (2024). Gestión de la calidad en el proceso productivo de ají en la empresa Proveagro de la Ciudad de Portoviejo. *Reincisol*, 3(6), 6722–6742. [https://doi.org/10.59282/reincisol.v3\(6\)6722-6742](https://doi.org/10.59282/reincisol.v3(6)6722-6742)
- Pietsch, D., Matthes, M., Wieland, U., Ihlenfeldt, S., & Munkelt, T. (2024). Root Cause Analysis in Industrial Manufacturing: A Scoping Review of Current Research, Challenges and the Promises of AI-Driven Approaches. *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 2024, Vol. 8, Page 277, 8(6), 277. <https://doi.org/10.3390/jmmp8060277>
- Pinto-Condé, G. C., Oprime, P. C., Lopes-Pimenta, M., Sordan, J. E., & Bueno, C. R. (2023). Defect reduction using DMAIC and Lean Six Sigma: a case study in a manufacturing car parts supplier. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 40(9), 2184–2204. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2022-0157>
- Portuondo-Paisan, Y., Lafargue-Pérez, F., Pino-Tarrago, J. C., & González-Danger, A. H. (2023). Implementación del análisis de capacidad de procesos en la fabricación de calibres. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442023000300060](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442023000300060)
- Proskurnina, N. V., & Bilousko, V. I. (2023). The Trends of Quality Management to Improve the Competitiveness of an Enterprise in the International Market. *Business Inform*, 5(544), 209–214. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-5-209-214>
- Quirino-Dos Santos, W., McDermott, O., & Trubetskaya, A. (2025). Lean Six Sigma 4.0 Application in the Food & Beverage Industry: A Case Study. *IEEE Engineering Management Review*, 53(6), 110–130. <https://doi.org/10.1109/EMR.2025.3538268>
- Rogalewicz, M., Kujawińska, A., & Feledziak, A. (2023). Ensuring the reliability and reduction of quality control costs by minimizing process variability. *Eksploatacja i Niezawodnosc*, 25(2). <https://doi.org/10.17531/ein/162626>

- Sadorsky, P. (2024). Integration of Process Modeling and Six Sigma for defect reduction: A case study in a wind blade factory. *Procedia Computer Science*, 232, 3151–3160. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125779>
- Samarakoon, T., & Kavirathna, C. (2025). Application of Six Sigma Methodology in the Service Industry to Improve Process Efficiency and Customer Satisfaction: Systematic Review. *2025 5th International Conference on Advanced Research in Computing: Converging Horizons: Uniting Disciplines in Computing Research through AI Innovation, ICARC 2025 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICARC64760.2025.10963314>
- Schenk, P. O., & Reus, S. (2024). Paradata in Surveys. *Knowledge Management and Organizational Learning*, 13, 15–43. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-53946-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53946-6_2)
- Setiawan, S. A. (2025). Implementation of Six Sigma Methodology to Reduce High Defect Rate in Rubber Processing Industry. *European Journal of Business and Management Research*, 10(1), 118–126. <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2025.10.1.2538>
- Siregar, K., & Elvira. (2022). Quality control analysis to reduce defect product and increase production speed using lean six sigma method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012104>
- Touma-Faytong, M. A., Burbano-Cabrera, J. S., Gómez-Costain, D. J., & Crespo-Caicedo, H. L. (2024). Influencia del enfoque de calidad total en la administración de operaciones de las empresas. *Polo Del Conocimiento*, 9(10), 1347–1364. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i10.8179>
- Tunal-Santiago, G. (2022). Protocolizando la investigación científica. *investigación y postgrado*, 37(1), 235–255. <https://doi.org/10.56219/investigacinypostgrado.v37i1.68>
- Valero-Camino, M. I. (2024). Productivity and economic growth of manufacturing SMEs in an Ecuadorian locality. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 5(2), e24022–e24022. <https://doi.org/10.51798/sijis.v5i2.749>

- Valladares-Guamán, C. A., Toapanta-Pauta, V. A., Grandes-Merizalde, N. A., & Chalá-Cuadros, J. C. (2026). Manual básico de investigación no experimental Transversal: Un enfoque académico. *Código Científico Revista de Investigación*, 7(L2), 1–67. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nL2/1265>
- Vargas-Grande, M. (2024). Cuestiones de la identidad profesional docente. Análisis a partir de la elaboración de un estado del arte. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 54(2), 359–386. <https://doi.org/10.48102/rlee.2024.54.2.633>
- Velasquez-Vasquez, E. R. (2022). *Aplicación de la metodología six sigma para incrementar la productividad en una empresa fabricante de agua de mesa*.
- Wongtong, B., Jatunitanon, P., Inseemeeesak, B., & Ketmuang, Y. (2025). Defect Reduction in Automotive Seat Manufacturing: A Lean Six Sigma Approach. *international scientific journal of engineering and technology (ISJET)*, 9(1), 10–18. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/isjet/article/view/258301>
- Zhu, J., & Liu, W. (2020). A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, 123(1), 321–335. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>

## ANEXOS

### Anexo 1.

*Hoja de registro de defectos.*

|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
|-------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Empresa: AQUAFIT S.A.                                 |              |              |                  |              |              |                         |
| Proceso:                                              |              |              |                  |              |              |                         |
| Área:                                                 |              |              |                  |              |              |                         |
| Fecha inicio:                                         |              |              | fecha de cierre: |              |              |                         |
| Inspector:                                            |              |              |                  |              |              |                         |
| Cantidad inspeccionada:                               |              |              |                  |              |              |                         |
| <b>HOJA DE VERIFICACIÓN DE DEFECTOS (CHECK SHEET)</b> |              |              |                  |              |              |                         |
| <b>CTQ / Tipo de defecto</b>                          | <b>Día 1</b> | <b>Día 2</b> | <b>Día 3</b>     | <b>Día 4</b> | <b>Día 5</b> | <b>Frecuencia total</b> |
|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
|                                                       |              |              |                  |              |              |                         |
| <b>Total de defectos</b>                              |              |              |                  |              |              |                         |

### Anexo 2.

*Matriz de recolección de datos (Check Sheet por subgrupos racionales).*

| MATRIZ DE RECOLECCIÓN DE DATOS (Check Sheet por Subgrupos Racionales) |  |  |  |  |  |  |  |  |                      |
|-----------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|----------------------|
| Fecha/<br>Turno                                                       |  |  |  |  |  |  |  |  | Total de<br>defectos |
| 08:00                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |                      |
| 09:00                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |                      |
| 10:00                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |                      |
| 11:00                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |                      |
| 12:00                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |                      |
| Totales                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |                      |

**Anexo 3.**

*Matriz de recopilación de datos de producción.*

| Empresa: AQUAFIT S.A.            |      |                          |                      |            |               |
|----------------------------------|------|--------------------------|----------------------|------------|---------------|
| Proceso:                         |      |                          |                      |            |               |
| Formato de recopilación de datos |      |                          |                      |            |               |
| Fecha                            | Lote | Producción total (unid.) | Defectos encontrados | Reprocesos | Observaciones |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |
|                                  |      |                          |                      |            |               |

*Nota.* Elaborado por el autor.

**Anexo 4.**

*Proceso de envasado de botellones de 20L.*



**Anexo 5.**

*Inspección de botellones defectuosos.*



**Anexo 6.**

*Vaciado de producto no conforme.*



Anexo 7.

Registro de baja de producto no conforme.

**AquaFit** **REGISTRO DE BAJA DE PRODUCTO NO CONFORME**

Código: AQF-RG-DESP-002  
Fecha de Elaboración: 02/01/2017  
Fecha de revisión: 01/12/2018  
Versión: 4.0

| FECHA DE RECEPCIÓN:  |                 | 29/1/2025          |                | FECHA DE REVISIÓN: |                  | 30/1/2025  |    | 203190 |  |
|----------------------|-----------------|--------------------|----------------|--------------------|------------------|------------|----|--------|--|
| DESCRIPCION          |                 | CANT.              |                | DESCRIPCION        |                  | CANT.      |    |        |  |
| ENVASES              | EMPRESA         | DETERIORO          | 20             | L                  | TAPA             |            | 16 |        |  |
|                      |                 | TRAZADO            | 16             |                    | TERMO ENCORGIBLE |            |    |        |  |
|                      |                 | PALLET             | 8              |                    | CONSUMO          | PRODUCCION | 8  |        |  |
|                      |                 | SOTED              | 9              |                    | PLANTA           | 2          |    |        |  |
|                      |                 | TREN DE VALVULA    | 2              |                    | COMEDOR          | 1          |    |        |  |
|                      |                 | TREN TRANSVERSAL   |                |                    | GARITAS          |            |    |        |  |
|                      |                 | BANDA INVERTICA    |                |                    | PALLET           | 1          |    |        |  |
|                      |                 | DESCAPSULADORA     |                |                    | SOTED            | 1          |    |        |  |
|                      |                 | DANADOS DE FABRICA | 6              |                    | DETERIORO        | 13         |    |        |  |
|                      |                 | PRODUCCION         | MANIPULEO      |                    | 1                | TRAZADO    | 16 |        |  |
|                      | VENTAS          | CLORES             | 1              | DANADOS DE FABRICA |                  |            |    |        |  |
|                      |                 | MANIPULEO          |                | CAMBIO A CLIENTES  |                  |            |    |        |  |
|                      |                 | BODEGA MONTANITA   |                | VENTAS             | MANIPULEO        |            |    |        |  |
|                      |                 | TITO ANGEL         |                | PRODUCCION         | MANIPULEO        | 1          |    |        |  |
|                      |                 | JORGE LOPEZ        |                | BODEGA             | MANIPULEO        |            |    |        |  |
| BODEGA               | EDUARDO VARGAS  |                    | TOTAL          |                    | 68               |            |    |        |  |
|                      | JOFFRE ORRALA   |                    | TAPA           |                    |                  |            |    |        |  |
|                      | TITO BORBOR     |                    | TRANSVERSAL    |                    |                  |            |    |        |  |
|                      | GUILHERMO LAMIZ |                    | SOPE           |                    |                  |            |    |        |  |
|                      | SERGIO ABAD     |                    | LONGITUDINAL   |                    |                  |            |    |        |  |
| TOTAL                |                 | 72                 | BAJA POR DAÑOS |                    |                  |            |    |        |  |
| ENVADOS A RECOLECTAR |                 |                    |                |                    |                  |            |    |        |  |
| ENVASES              |                 | 72                 |                |                    |                  |            |    |        |  |
| TOTAL                |                 | 72                 |                |                    |                  |            |    |        |  |

OBSERVACION: 27 botellas se bato de producción

DETENORIO: SON AQUELLOS ENVASES QUE HAN TERMINADO SU VIDA ÚTIL.  
SOTED: SON AQUELLOS ENVASES QUE SOLO PUEDEN SER DE TESTA O SON AQUELLOS QUE PUEDEN SER DETECTADOS EN LA PRUEBA.  
AMALOS CLORES: SON ENVASES QUE PRESENTAN CLORES BAJO DIFÍCILES DE PERDER.  
BOTOS: SON ENVASES DANADOS EN EL PROCESO DEL LLEVADO POR LA MAQUINA.  
MANIPULEO: SON AQUELLOS ENVASES DANADOS EN EL PROCESO DE PRODUCCION Y O DESPACHO.

RESPONSABLE: \_\_\_\_\_ VERIFICADO: \_\_\_\_\_

Anexo 8.

Inspección del proceso de embotellado.



Anexo 9.

Aplicación de observación directa.



Anexo 10.

Plantilla de etiquetado.

**SITUACIÓN ACTUAL**

El defecto "etiqueta mal colocada" registró 22 defectos (12.79% del total). Se presenta cuando la etiqueta está desalineada, arrugada, inclinada o fuera de la posición establecida.

**OBJETIVO**

Reducir la incidencia de etiquetas mal colocadas mediante mecanismos Poka Yoke que aseguren la correcta ubicación de la etiqueta desde la primera vez.

**Propuesta 1: Guía visual de posicionamiento**

Se incorpora una marca de referencia visible en el área destinada para la colocación de la etiqueta.

**Beneficios esperados**

- Menor tiempo de colocación
- Reducción de errores visuales
- Mayor uniformidad del producto

**Propuesta 2: Plantilla Poka Yoke para colocación de etiquetas**

**Figura XX. Diseño conceptual de la plantilla Poka Yoke**

**Procedimiento de utilización**

1. Ubicar el botellón en la estación de etiquetado
2. Ajustar la plantilla sobre el envase
3. Colocar la etiqueta dentro de la ventana guía
4. Verificar alineación
5. Retirar plantilla
6. Liberar producto

**Tabla XX. Cronograma de implementación**

| Actividad           | Responsable   | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 |
|---------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| Diseño de plantilla | Ingeniería    |          |          |          |          |
| Fabricación         | Mantenimiento |          |          |          |          |
| Capacitación        | Producción    |          |          |          |          |
| Implementación      | Producción    |          |          |          |          |
| Seguimiento         | Calidad       |          |          |          |          |

**Tabla XX. Indicadores propuestos**

| Indicador                      | Fórmula                                                               | Meta          |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------|
| % etiquetas mal colocadas      | $\frac{\text{Defectos de colocadas}}{\text{Producción}} \times 100$   | $\leq 0,5 \%$ |
| Cumplimiento de representación | $\frac{\text{Impresiones realizadas}}{\text{programadas}} \times 100$ | 100 %         |
| Productos conformes            | $\frac{\text{Productos conformes}}{\text{Producción}} \times 100$     | $\geq 99 \%$  |

**Propuesta 3: Sistema de verificación visual**

Punto de inspección visual posterior al etiquetado. El operador deberá verificar:

- Alineación horizontal
- Alineación vertical
- Ausencia de arrugas
- Legibilidad de la información
- Correcta adherencia

**Tabla XX. Criterios de aceptación de etiquetas**

| Criterio            | Cumple                   | No cumple                |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| Etiqueta rectrada   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Etiqueta recta      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sin arrugas         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Información legible | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Correcta adherencia | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Ejemplo de correcto etiquetado**

**Beneficios esperados**

- Reducción significativa de errores asociados al etiquetado.
- Mejora de la conformidad visual del producto.
- Eliminación de reprocesos y costos de mala calidad.
- Mayor satisfacción del cliente y cumplimiento de estándares.

Swq