

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA POTABLE EN LA PLANTA
POTABILIZADORA DE AGUA DE LA MUNICIPALIDAD DE
CARTAGO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DMAIC Y
ANÁLISIS DE BRECHA SEGÚN LA NORMA ISO 24512-2024**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL
GRADO ACADÉMICO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: JORGE ALEXANDER SOLÍS OBANDO

TUTOR: ING. KATHERINE CARVAJAL ÁVILA

SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA

AGOSTO, 2025

CONTENIDO

CONTENIDO	i
TABLAS	vi
FIGURAS	viii
DEDICATORIA	xii
AGRADECIMIENTOS	xiii
EPÍGRAFE	xiv
RESUMEN	xv
CAPÍTULO I. PROBLEMA	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 ANTECEDENTES	4
1.4.1 Antecedentes nacionales	5
1.4.2 Antecedentes internacionales	6
1.5 PROYECCIONES	8
1.5.1 Alcances	8
1.5.2 Limitaciones	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	9
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES	10
2.1.1 DMAIC	10
2.1.2 Matriz de procesos	11
2.1.3 Diagrama de flujo	12
2.1.4 Análisis FODA y matriz FODA	13
2.1.5 SIPOC	14
2.1.6 Encuesta	16
2.1.7 Organización teal	17
2.1.8 Estudio del trabajo	19
2.1.9 Estudio de métodos	20

2.1.10 Estudio de tiempos	20
2.1.11 Gráfico de barras	20
2.1.12 Gráfico de pastel	21
2.1.13 Histograma	22
2.1.14 Productividad.....	23
2.1.15 Lluvia de ideas.....	24
2.1.16 Diagrama de Pareto	25
2.1.17 Multivoto	26
2.1.18 Diagrama de Ishikawa	27
2.1.19 Diagrama de Gantt	28
2.1.20 Análisis del retorno de la inversión (ROI)	29
2.1.21 Diagramas de recorrido	29
2.1.22 Análisis del campo de fuerzas	30
2.1.23 Value stream mapping (VSM).....	31
2.1.24 Cursograma.....	32
2.1.25 Análisis de brecha	33
2.1.26 Gráfico radial	34
2.1.27 Diagrama de Pareto	35
2.1.28 Análisis Therbligs	36
2.1.29 Diagrama de relación o interrelación	38
2.1.30 Evaluación REBA	40
2.1.31 Matriz RACI (responsable, aprobado, consultado e informado)	42
2.1.32 Matriz de Eisenhower	43
2.1.33 Coaching kata.....	45
2.1.34 Auditorías de control.....	46
2.1.35 Kaizen	48
2.1.36 Reuniones PDCA	49
2.1.37 Mantenimiento productivo total (TPM)	51
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	52
2.2.1 Visión/misión	52
2.2.2 Antecedentes históricos	53

2.2.3 Ubicación geográfica	53
2.2.4 Estructura organizacional	54
2.2.5 Cantidad de empleados.....	56
2.2.6 Tipos de productos	56
2.2.7 Mercado de exportación	57
2.2.8 Descripción general del proceso productivo	57
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	60
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN	64
3.3.1 Sujetos de información	64
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	66
3.5 INSTRUMENTOS	68
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	69
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
4.1 DEFINIR.....	74
4.1.1 Diagrama de flujo	74
4.1.2 FODA	76
4.1.3 Matriz FODA.....	80
4.1.4 SIPOC	83
4.1.5 Diagrama de recorrido.....	86
4.1.6 Análisis del campo de fuerzas	88
4.2 MEDIR	92
4.2.1 Estudio de trabajo.....	92
4.2.2 Estudio de tiempos	93
4.2.2.1 Tiempo observado.....	93
4.2.2.2 Tiempo normal.....	97
4.2.2.3 Tiempo estándar.....	98
4.2.2.4 Razón de productividad.....	101
4.2.3 Estudio de movimientos	102
4.2.4 Análisis Therbligs	102

4.2.5 Evaluación REBA	104
4.2.6 Cursograma.....	108
4.2.7 VSM.....	110
4.2.8 Encuesta	115
4.2.9 Análisis de brecha GAP	124
4.2.9.1 Estudio de insumos	126
4.2.9.2 Matriz de riesgos laborales.....	126
4.2.9.3 Estudio de mantenimiento de la maquinaria y herramientas	130
4.3 ANALIZAR	136
4.3.1 Lluvia de ideas.....	137
4.3.2 Ishikawa	138
4.3.3 Multivoto	141
4.3.4 Pareto.....	142
4.3.5 Diagrama de relación o interrelación	145
CAPÍTULO V. PROPUESTA	147
5.1 MEJORAR	148
5.1.1 Propuesta A. TPM	149
5.1.2 Propuesta B. Organización teal (verde azulado)	154
5.1.2.1 Autogestión.....	156
5.1.2.1.1 Establecer una estructura formal y definir roles.....	156
5.1.2.1.2 Matriz RACI	158
5.1.2.1.3 Matriz de Eisenhower	161
5.1.2.2 Plenitud.....	163
5.1.2.3 Evolución.....	164
5.1.2.3.1 Análisis de brecha con la ISO 24512:2024 e implementación de propuestas.....	165
5.1.3 Propuesta C. Estandarización del proceso y gestión de recursos.....	170
5.1.3.1 Instructivo del proceso.....	171
5.1.4 Propuesta D. Ficha técnica de manipulación de cargas	173
5.1.5 Propuesta E. Capacitación mediante el coaching kata.....	174
5.2 CONTROLAR.....	180

5.2.1 Auditorías de control para las propuestas A, B, C, D y E	180
5.2.2 Kaizen de control para la propuesta A.....	185
5.2.3 Reuniones efectivas mediante PDCA para controlar las propuestas A, B, C, D y E.....	186
5.2.4 Diagrama de Gantt para controlar las propuestas A, B, C, D y E	189
5.2.5 Análisis de costos.....	193
5.2.6 ROI.....	195
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	196
Conclusiones	197
Recomendaciones	198
REFERENCIAS	200
APÉNDICES.....	211
APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS	212
ANEXOS.....	213
ANEXO 1: Encuesta en formulario de Internet.....	214
ANEXO 2: Sistema del Centro de Control.....	219
ANEXO 3: Planta potabilizadora de Cartago	220
ANEXO 4: Cotización de EPA.....	221

TABLAS

Tabla 3.1: Acta de Constitución del Proyecto	65
Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico	66
Tabla 3.3: Diagrama Gantt Desarrollo del Proyecto	72
Tabla 4.1: Matriz FODA.....	81
Tabla 4.2: Estrategia DO y DA	82
Tabla 4.3: SIPOC	84
Tabla 4.4: Tiempo observado cronometrado	94
Tabla 4.5: Tiempo cronometrado promedio del operario B.....	94
Tabla 4.6: Cálculo de la muestra	95
Tabla 4.7: Tiempo cronometrado con la cifra de la muestra	96
Tabla 4.8: Sistema de valoración Westinghouse	97
Tabla 4.9: Evaluación Westinghouse para la planta potabilizadora.....	98
Tabla 4.10: Suplementos.....	99
Tabla 4.11: Tabla de suplementos de la planta potabilizadora.....	100
Tabla 4.12: Simbología y clasificación de los movimientos Therbligs	103
Tabla 4.13: Clasificación de movimientos Therbligs.....	103
Tabla 4.14: Análisis de condiciones REBA.....	105
Tabla 4.15: Puntaje REBA.....	105
Tabla 4.16: Cálculo del tiempo improductivo	111
Tabla 4.17: Tabla de ingreso y salida hídrica promedio	111
Tabla 4.18: Histórico de la demanda hídrica	112
Tabla 4.19: Demanda hídrica	112
Tabla 4.20: Cálculo del takt time	113
Tabla 4.21: Análisis de insumos	126
Tabla 4.22: Matriz de riesgos laborales	127
Tabla 4.23: Análisis de riesgos laborales	128
Tabla 4.24: Evaluación de la maquinaria y herramientas	130
Tabla 4.25: Análisis de la fase 1	131
Tabla 4.26: Análisis de la fase 2.....	133
Tabla 4.27: Análisis de la fase 3.....	135

Tabla 4.28: Multivoto	141
Tabla 4.29: Pareto de la planta potabilizadora	142
Tabla 5.1: Distribución de las funciones en cuanto al TPM	149
Tabla 5.2: Guía del TPM de la planta potabilizadora	152
Tabla 5.3: Muestra de la plantilla de control del TPM para la planta potabilizadora	153
Tabla 5.4: Distribución de las funciones en cuanto a la organización teal.....	154
Tabla 5.5: Roles de la planta potabilizadora.....	158
Tabla 5.6: Matriz RACI	159
Tabla 5.7: Ejemplo de la matriz RACI de la propuesta	160
Tabla 5.8: ISO 12512:2024.....	166
Tabla 5.9: Evaluación de brecha ISO 12512:2024	167
Tabla 5.10: Tiempo observado	169
Tabla 5.11: Distribución de las funciones en cuanto a la estandarización del proceso y gestión	171
Tabla 5.12: Distribución de las funciones en cuanto a la ficha técnica	173
Tabla 5.13: Distribución de las funciones en cuanto a al coaching kata.....	175
Tabla 5.14: Elenco de personajes del coaching kata	176
Tabla 5.15: Distribución de las funciones en cuanto a las auditorías	181
Tabla 5.16: Cuestionario de la auditoría de control	183
Tabla 5.17: Plantilla de auditorías	184
Tabla 5.18: Distribución de las funciones en cuanto al kaizen de control.....	185
Tabla 5.19: Control de 5S para la propuesta A	186
Tabla 5.20: Distribución de las funciones en cuanto a las reuniones efectivas	187
Tabla 5.21: Plantilla para la reunión de control.....	189
Tabla 5.22: Distribución de las funciones en cuanto al diagrama de Gantt	189
Tabla 5.23: Diagrama de Gantt para las propuestas A, B, C, D y E	192
Tabla 5.24: Costo actual del personal actual de la planta potabilizadora	193
Tabla 5.25: Costo del personal para la propuesta de mejora	194
Tabla 5.26: Costo del material para las propuestas de mejora.....	194
Tabla 5.27: Costo del ahorro de la implementación para las mejoras	195
Tabla 5.28: ROI de las propuestas de mejora	195

FIGURAS

Figura 2.1: Metodología DMAIC	10
Figura 2.2: Ejemplo de una matriz de procesos	11
Figura 2.3: Ejemplo de un diagrama de flujo	12
Figura 2.4: Matriz FODA.....	14
Figura 2.5: Ejemplo de un SIPOC	16
Figura 2.6: Encuesta digital	17
Figura 2.7: Modelo teal	19
Figura 2.8: Ejemplo de un estudio de tiempos.....	20
Figura 2.9: Ejemplo de un gráfico de barras.....	21
Figura 2.10: Ejemplo de un gráfico de pastel	22
Figura 2.11: Ejemplo de un gráfico de histograma	23
Figura 2.12: Diagrama de recorrido.....	24
Figura 2.13: Ejemplo de una lluvia de ideas	25
Figura 2.14: Ejemplo de un diagrama de Pareto	26
Figura 2.15: Ejemplo de un multivoto	27
Figura 2.16: Diagrama de Ishikawa	27
Figura 2.17: Diagrama de Gantt	28
Figura 2.18: Ejemplo de un diagrama de recorrido de un supermercado	30
Figura 2.19: Ejemplo de un análisis de campo de fuerzas	31
Figura 2.20: Ejemplo de un VSM.....	32
Figura 2.21: Cursograma.....	33
Figura 2.22: Análisis de brecha	34
Figura 2.23: Gráfico radial	35
Figura 2.24: Ejemplo de un diagrama de Pareto	36
Figura 2.25: Procedimiento ilustrativo del cursograma	38
Figura 2.26: Diagrama de relación	40
Figura 2.27: Evaluación REBA	42
Figura 2.28: Ejemplo de una matriz RACI	43
Figura 2.29: Matriz de Eisenhower	45
Figura 2.30: Metodología de coaching kata.....	46

Figura 2.31: Auditoría interna	48
Figura 2.32: Kaizen 5S para controlar	49
Figura 2.33: Reuniones PDCA	51
Figura 2.34: TPM.....	52
Figura 2.35: Mapa satelital de la Municipalidad de Cartago	54
Figura 2.36: Organigrama de la Municipalidad de Cartago	55
Figura 2.37: Tipos de servicios de la Municipalidad de Cartago.....	57
Figura 2.38: Proceso productivo de la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago.....	58
Figura 3.1: Flujo del proceso de plantear problemas de investigación mixta.....	62
Figura 3.2: DMAIC	63
Figura 3.3: Esquema de recolección de datos mediante el DMAIC.....	70
Figura 4.1: Diagrama de flujo de la planta potabilizadora.....	75
Figura 4.2: FODA	77
Figura 4.3: Diagrama de recorrido.....	87
Figura 4.4: Pasos para el análisis de campo de fuerzas	89
Figura 4.5: Clasificación de las fuerzas identificadas	90
Figura 4.6: Calificación del análisis de campo de fuerzas	91
Figura 4.7: Resultado del análisis de campo de fuerzas	92
Figura 4.8: Análisis del desarrollo secuencial del estudio de trabajo.....	93
Figura 4.9: Fórmula del tamaño de la muestra	96
Figura 4.10: Gráfico del estudio de tiempos	101
Figura 4.11: Razón de productividad.....	102
Figura 4.12: Gráfico porcentual de movimientos Therbligs.....	104
Figura 4.13: Ubicación del proceso en el puntaje REBA	106
Figura 4.14: Ficha del análisis REBA	107
Figura 4.15: Cursograma del proceso de potabilización.....	109
Figura 4.16: Pasos del VSM.....	110
Figura 4.17: VSM.....	114
Figura 4.18: Fórmula de la muestra de poblaciones finitas	116
Figura 4.19: Simbología de la fórmula de la muestra de poblaciones finitas	116

Figura 4.20: Cálculo del tamaño de la muestra finita.....	117
Figura 4.21: Porcentaje de respuestas de la entrevista.....	117
Figura 4.22: ¿Qué puesto desempeña en la institución?.....	118
Figura 4.23: ¿En qué rango de edad se encuentra?	118
Figura 4.24: ¿Cuál es su nivel académico?	119
Figura 4.25: ¿En qué área de la Municipalidad de Cartago trabaja?.....	120
Figura 4.26: ¿Cuánto tiempo tiene de laborar en la Municipalidad de Cartago?	121
Figura 4.27: En términos porcentuales, ¿cuánto conoce el funcionamiento de la planta potabilizadora?.....	121
Figura 4.28: En una escala del 1 a 5, siendo 5 mucho y 1 muy poco, ¿cuánto afectan los procesos de potabilización y respuesta de la planta potabilizadora?	122
Figura 4.29: ¿Considera usted que es necesario un manual estandarizado de los procesos debidamente documentado?.....	123
Figura 4.30: ¿Considera usted que tiene sentido de pertenecía y trabajo en equipo en la planta potabilizadora?	123
Figura 4.31: ¿Cuáles puntos y recomendaciones brindaría para mejorar el funcionamiento de la planta potabilizadora?.....	124
Figura 4.32: Esquema del análisis de brecha GAP	125
Figura 4.33: Gráfico de porcentajes de riesgo laboral	129
Figura 4.34: Gráfico de radar.....	136
Figura 4.35: Lluvia de ideas.....	137
Figura 4.36: Diagrama de Ishikawa	139
Figura 4.37: Gráfico de causa y efecto, Ishikawa	140
Figura 4.38: Gráfico de Pareto	144
Figura 4.39: Diagrama de interrelación	146
Figura 5.1: Causas identificadas para mejorar	148
Figura 5.2: Afiche recomendado del TPM	151
Figura 5.3: Principios de la organización teal	155
Figura 5.4: Propuesta de desarrollo de la organización teal.....	156
Figura 5.5: Propuesta de organigrama	157
Figura 5.6: Propuesta de un diagrama de flujo.....	161

Figura 5.7: Matriz de Eisenhower	162
Figura 5.8: Ejemplo de la matriz de Eisenhower de la propuesta	163
Figura 5.9: Los cuatro elementos de la confianza	164
Figura 5.10: Gráfico de mejora debido a la implementación de la ISO 24512:2024....	168
Figura 5.11: Tiempo normal y estándar	169
Figura 5.12: Gráfico del comparativo de tiempo	170
Figura 5.13: Propuesta Ficha Instructivo del proceso.....	172
Figura 5.14: Propuesta técnica de manipulación de cargas	174
Figura 5.15: Diálogo entre mentor y mentee	176
Figura 5.16: Pasos del método coaching kata.....	177
Figura 5.17: PDCA del método coaching kata.....	178
Figura 5.18: Las cinco preguntas del método coaching kata.....	179
Figura 5.19: Gráfico de Koenigsaecker en coaching kata	180
Figura 5.20: Pasos para la auditoría de control	182
Figura 5.21: 5S del kaizen	185
Figura 5.22: PDCA para las reuniones efectivas	188

DEDICATORIA

Les dedico cada etapa de este proceso a mis dos angelitos que están en el cielo, mi papá y mamá; a mi hermana; a mis hijos y, muy especialmente, a mi esposa, quien ha sido ese pilar primordial para poder realizar este trabajo final de graduación al brindarme el apoyo, la confianza y la motivación necesarios.

AGRADECIMIENTOS

Una vez escuché un refrán que decía: “El agradecimiento es la memoria del corazón”, por esto quiero agradecerles a varias personas.

A mis familiares, por el apoyo; a mi esposa, por su acompañamiento, apoyo y motivación; a la universidad, por la ayuda en todo el proceso; al director de carrera, por facilitar los medios y gestiones para realizar este trabajo; asimismo, a la Municipalidad de Cartago y sus colaboradores, ya que sin su accesibilidad y colaboración no hubiera podido llevar a cabo este proyecto.

También quiero agradecerle muy especialmente a mi tutora, quien con su infinita paciencia colaboró de manera significativa al desarrollo de este trabajo final de graduación, aclarando dudas y estando siempre disponible para asesorarme y evacuar dudas.

Además, quiero agradecerme a mí mismo, por haber tomado el valor y arriesgarme a hacer este proyecto.

EPÍGRAFE

*Sustituyan los miedos por los sueños, ¡no sean administradores de miedos, sino
emprendedores de sueños!*

Papa Francisco

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago, la cual se encarga de abastecer de agua potable a una porción importante del cantón central de Cartago, además un gran porcentaje de los ingresos recaudados de la Municipalidad de Cartago se obtienen por medio del suministro del servicio hídrico. Así, con ayuda del criterio ingenieril y la experiencia en el área de estudio, en el proceso de investigación del proyecto se ejecutó la herramienta DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar).

En cuanto a esto, se definió el proceso realizado cíclicamente por los operarios durante su turno de trabajo y se estableció que un 67 % del proceso y su respectiva ejecución eran ineficientes. Asimismo, con ayuda de la encuesta, se efectuó una lluvia de ideas en la que se obtuvieron trece posibles causas de afectación en el área, incluyendo las causas recolectadas mediante el criterio de observador.

Luego, a partir del análisis de brecha, se encontraron seis brechas del estudio; al respecto, el porcentaje de la brecha analizada en su totalidad es mayor al **50 %** de afectación en el proceso investigado, según la norma 24512:2024.

Las cifras significativas se resumen en tres causas principales, a saber, ineficiencia en el mantenimiento preventivo, falta de estandarización en la ejecución del proceso y desfortalecimiento en los factores de la cultura organizacional.

De este modo, para la afectación mencionada, se presentaron cinco propuestas de solución: mantenimiento TPM, organización *teal*, estandarización del proceso, ficha del manejo de cargas y capacitación. Adicional, con el fin de controlar las propuestas, se recomienda aplicar el diagrama de Gantt, auditorías de control, reuniones efectivas, *kaizen* y el análisis de costos.

Por su parte, el retorno de la inversión (ROI) resultó en 18.96 meses, siendo el período de recuperación de la inversión de las propuestas en total.

Finalmente, la investigación, con sus respectivas propuestas, logró el objetivo, según la ISO 24512:2024, con una cobertura aproximada de mejora del **53 %**, contrarrestando un promedio aproximado del **70.47 %** que existía con anterioridad, es así como más de un **50 %** de la afectación se soluciona.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente estudio se realiza en la planta potabilizadora de agua de la Municipalidad de Cartago, la cual se ubica en Cartago centro y suministra agua potable a aproximadamente 150 000 consumidores del cantón central de Cartago, por lo que es un proceso de suma responsabilidad, salud y compromiso con la comunidad.

En relación con lo anterior, Marín (2007) describe la potabilización de la siguiente manera:

La razón fundamental de la desinfección del agua es disminuir el riesgo de infección de las enfermedades transmitidas por ella, mediante la destrucción de los organismos patógenos que están presentes en las fuentes de abastecimiento. Por muchos años se ha dicho que la desinfección del agua es la responsable del 50 % de aumento de la expectativa de vida en los países desarrollados durante el siglo XX. Es por esta razón que se identifica a este proceso como el más significativo progreso de salud pública de los últimos años (p. 36).

Ahora bien, la problemática se genera a partir de agosto del 2024, cuando la Municipalidad de Cartago acordó asumir la operación de la planta potabilizadora de agua. Así, inició trabajos con cinco operadores, quienes tenían distinto tiempo de capacitación y familiaridad en cuanto a los procesos y subprocesos.

Esto ha causado que no exista un orden o lineamientos acerca de cómo ejecutar las tareas; por lo tanto, se utilizan diversas formas y métodos de trabajo libremente, lo que afecta el uso de los materiales e insumos y provoca variaciones en los costos de la operación, reprocesos, mala gestión de los recursos y un ambiente tenso por la dificultad para resolver problemas.

De este modo, se lleva a cabo un estudio desarrollando la metodología DMAIC por medio de herramientas ingenieriles y el análisis de brecha mediante la norma ISO 24512:2024, con el fin de resolver la afectación en el área.

A partir de lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las principales causas que provocan la falta de estandarización del proceso de la potabilización del agua?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta de estandarización para el proceso de purificación del agua en la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago, mediante la aplicación de la metodología DMAIC y un análisis de brecha por medio de la norma ISO 24512-2024, que permita disminuir la variabilidad del proceso en al menos un 5 % del Área de Acueductos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar el ciclo operacional de la potabilización del agua por medio de métodos que ayuden a detectar las posibles causas.
- Documentar cada procedimiento mediante la toma de tiempos y el uso de instrumentos, con la finalidad de visualizar el estado cuantitativo del proceso.
- Elaborar una propuesta de estandarización de procesos generales por medio de herramientas ingenieriles que permitan controlar la estandarización.
- Proponer métodos universales para la elaboración de cada tarea en el proceso de potabilización del agua, basándose en la ISO 24512:2024, con el propósito de gestionar adecuadamente la planta potabilizadora y, así, disminuir en un 5 % la afectación en el proceso.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La planta potabilizadora de agua es de gran importancia para la sociedad, ya que el consumo de este líquido es vital para la subsistencia de los seres vivos y, en este caso, de la misma dependen aproximadamente 150 000 habitantes del cantón central de Cartago. Por consiguiente, una aplicación correcta del proceso es fundamental para la potabilización o saneamiento del agua. Al respecto, Montero (2021) lo recalca en la siguiente cita:

De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas (ONU), una de cada tres personas en el mundo vive sin agua potable. Eso equivale a 2200 millones de personas que no tienen otra opción que beber agua insalubre o con un

saneamiento deficiente. Esa exposición produce enfermedades como la diarrea, la cual ocasiona la muerte de 700 niños menores de cinco años cada día.

Entre los principales factores que amenazan al recurso hídrico destacan el crecimiento de la población, el empeoramiento de los impactos del cambio climático y las crecientes demandas de la agricultura y la industria. De ahí que uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU para el 2030 es: agua y saneamiento para todos.

La planta potabilizadora, como área proveedora de recursos hídricos, requiere ser más exigente con sus procesos para una óptima administración y gestión de los insumos (sulfato de aluminio, cloro gas, entre otros) que son de bien gubernamental y necesarios en la potabilización del agua cruda. En cuanto a esto, la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental Costa Rica (DIGECA, 2025) detalla:

Un informe de la Contraloría General de la República, para el año 2019, el sector público en Costa Rica presupuestó 5 651 966 millones de colones en la compra de materiales, suministros, bienes duraderos y servicios; equivalente a un 15,1 % del PIB del país. Con tal nivel de inversión, las compras públicas tienen el poder de modificar significativamente los patrones de oferta y demanda en el mercado nacional, lo que representa una oportunidad para fomentar patrones de consumo y producción sostenible desde un punto de vista social, ambiental y económico.

Por esta razón se efectúa la investigación, para brindar alternativas que permitan mejorar los procesos con el fin de agilizar y abastecer a las comunidades. Asimismo, se propone un registro de estandarización de métodos de trabajo que impacten de forma positiva al ente gubernamental y la sociedad en general, desde el punto de vista social, ambiental y económico.

1.4 ANTECEDENTES

Se investiga información significativa para retroalimentar el estudio desde una perspectiva científica.

1.4.1 Antecedentes nacionales

En el caso del recurso hídrico, que es vital para la sociedad y los seres vivos, se debe brindar un servicio de alta calidad que no afecte a la población. Soto (2006) menciona: “El conocimiento de las herramientas de gestión de la calidad ayuda a todos los miembros de la organización a percibir las causas, dispersión o problemas de mayor relevancia en la producción de un producto” (p.16).

Por otro lado, la comunicación e información que se encuentre disponible en las bases de datos y bancos de almacenamiento de información es fundamental para establecer un estándar. Correa (2013) explica:

Es trascendental para el proyecto que tanto el equipo de apoyo como los demás colaboradores comprendan la importancia de obtener los procesos y procedimientos, para esto es necesario realizar una sensibilización hacia todos los colaboradores. Lo primero que hay que tener listo es el mapa de procesos, para luego iniciar la gestión de estos utilizando la metodología de mejora continua, definir prioridades y el sistema de gestión de la documentación. A partir del mapa de procesos, se definirán los macroprocesos, procesos, subprocesos, actividades y tareas; al tener todo listo, se podrá iniciar el levantamiento de procesos y elaborar procedimientos que se crearán de manera paulatina, por lo que se empezarán a ver resultados en los primeros tres meses del proyecto. También aquellos se implementarán en toda la institución mediante la capacitación de los colaboradores (p. 2).

Adicional, los equipos de trabajo deben aprender a trabajar en equipo. En muchas áreas gubernamentales, existen barreras de crecimiento grupal que los mismos colaboradores sustentan, esto crea dificultades en el área en desarrollo. Chaverri (2016) describe:

Además de problemas como la deficiencia en la comunicación, se pueden identificar, problemas en la definición de los procesos como tal, específicamente, en la definición de los roles de los participantes involucrados en los procesos,

además está presente la pérdida del flujo de información completa del proceso (p. 4).

Ahora bien, el volumen de producción de agua en la planta potabilizadora de Cartago tiene como propósito abastecer, pero también se almacena en grandes cantidades y así surge el riesgo de que una mala manipulación en el proceso de sanitización cause una gran afectación en la población y pérdidas cuantiosas. Hernández (2021) cita lo siguiente:

La deficiencia en el servicio de abastecimiento de agua en la localidad está directamente relacionada con los principios de cantidad y cobertura del recurso; ya que, según lo exponen las autoridades de la ASADA, producto de la vulnerabilidad de las fuentes de agua en las épocas de estiaje y del crecimiento poblacional, las captaciones actuales dispuestas por el acueducto no consiguen suplir por completo la demanda, lo que desencadena inconvenientes sociales, económicos y de salud pública para la población. Es por esto que, se planteó la necesidad de elaborar un estudio que permitiera proponer el diseño de un sistema de potabilización de agua alimentado por una fuente superficial que además de aumentar la oferta del recurso funcione como un recurso de contención ante los eventos naturales a los que son vulnerables las tomas con que cuenta la comunidad (p. 20).

Por último, se resalta que la falta de estandarización genera un exceso de tiempos improductivos, lo que puede causar deficiencia en la distribución del preciado líquido. Corrales (2003) señala: “El tiempo y los desechos innecesarios (que producen un aumento del costo del producto) pueden atribuirse de diversas formas a deficiencias del diseño del producto o de sus partes o a un control incorrecto de la calidad” (p. 6).

1.4.2 Antecedentes internacionales

La capacitación es el pilar que permite trazar el rumbo hacia donde se quieren llevar los procesos, haciendo que los sistemas sean robustos, ordenados y de fácil comprensión para los diferentes usuarios. Gómez (2011) explica lo siguiente:

Capacitar, se define a través del análisis de un estudio de fortalezas y debilidades, así como del análisis y observación de un curso de capacitación virtual aplicado en otros estados, esto con la finalidad de poder implementar el sistema de aprendizaje *e-learning*, como forma de capacitar a su personal, por lo que se realiza una investigación de tipo cuantitativo, a fin de dar respuesta a las interrogantes propias de su implementación, pero también a manera de determinar las competencias y habilidades necesarias en la capacitación, a fin de que sirvan de sustentación en el diseño instruccional del curso que se propone a la Secretaria de Salud Jalisco, Seguro Popular para que capacite de manera efectiva a su personal (p. 10).

En cuanto al recurso hídrico, al ser un derecho universal, el servicio se brinda en la cantidad justa para solventar las necesidades de las personas y con la calidad óptima posible para obtener el máximo aprovechamiento por parte de los usuarios. Gómez (2022) menciona: “[...] se debe considerar al recurso hídrico como un bien jurídico inembargable y disponible a favor de la humanidad y ser objeto de una mayor protección jurídica” (p. 39).

Además, la tecnología y la automatización tienen como propósito final facilitar y efficientizar los procesos en las empresas e instituciones, pero se requiere que el personal sea consciente y esté preparado para sacar el máximo provecho de estas. Así lo detalla Aguirre (2011):

Todos los estudios realizados sobre los métodos de trabajo y el control de tiempos han estado orientados hacia el sector industrial. El objetivo que se persigue es aumentar la productividad consiguiendo una utilización óptima de los equipos y maquinaria empleados en las industrias (p. 6).

Asimismo, un adecuado almacenamiento de información permite tener un control específico y detallado de cada proceso en la institución, así lo dice Ríos (2013): “Para la administración eficiente una organización es indispensable manejar un ordenado sistema de información” (p. 6).

Finalmente, la estandarización de procesos es la herramienta predilecta si lo que se busca es mantener el orden y la mejora en los procesos y subprocesos que se tengan en la organización. Yunuen (2016) establece: “En términos generales realicé actividades para lograr la estandarización de los procesos, posteriormente ocupé el puesto de auditor interno, donde verificaba el correcto cumplimiento de las políticas y procedimientos realizados” (p. 7).

1.5 PROYECCIONES

A partir del estudio, se documentan los procesos de purificación del agua en la planta potabilizadora del cantón central de Cartago y mediante la aplicación de metodologías y herramientas ingenieriles, se busca reducir en un 5 % la variabilidad del proceso y obtener una mayor accesibilidad de la información.

Además, se brinda una propuesta de mejora que permita un crecimiento óptimo y mejores estándares organizacionales en el área.

1.5.1 Alcances

A continuación, se enumeran los alcances que se pretenden lograr con esta investigación:

- El presente estudio se efectúa en la planta potabilizadora de agua de la Municipalidad de Cartago.
- Se centra en la investigación y análisis de los procesos de limpieza y purificación del agua cruda, porque esta planta es de vital importancia para la comunidad.
- Con este proyecto, se plantea una propuesta de registro de procesos para disminuir la afectación a nivel presupuestario y evitar la aplicación inadecuada de las labores.

1.5.2 Limitaciones

La limitación existente es la ausencia de una base de datos; adicional, la institución solicitó la confidencialidad de algunos datos que considera información sensible para la administración gubernamental.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles tomados en cuenta para el desarrollo del estudio.

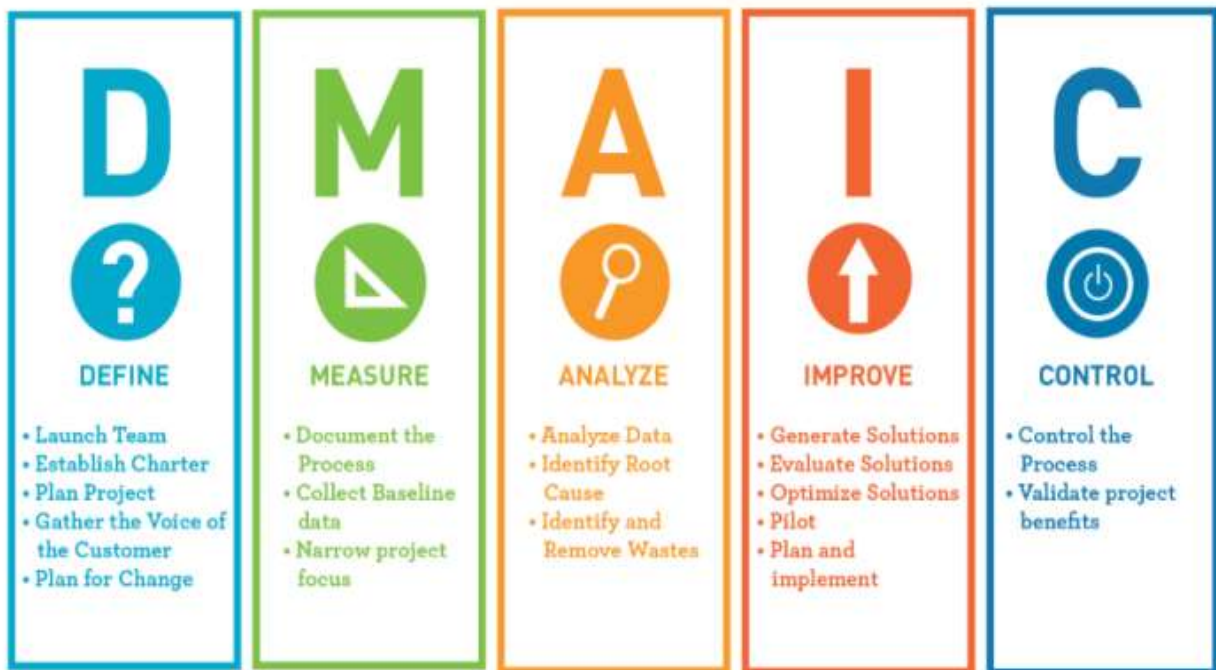
2.1.1 DMAIC

DMAIC es el acrónimo de cinco pasos, a saber: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Además, consiste en un ciclo de mejora basado en datos que ayuda a las organizaciones a medir y mejorar su rendimiento.

El objetivo principal del DMAIC es identificar y eliminar los residuos en un proceso empresarial, lo cual puede hacerse mediante la aplicación de herramientas y técnicas *lean* y *six sigma*.

Así, el DMAIC puede ser una forma eficaz de mejorar el rendimiento de la empresa, ya que permite identificar y resolver problemas, realizar mejoras y hacer un seguimiento de los resultados (Safety Culture, 2024).

Figura 2.1: Metodología DMAIC



Fuente: SSDSI, 2024.

2.1.2 Matriz de procesos

Para llevar a cabo una matriz de procesos, se debe generar una tabla. Al respecto, Lucas (2014) señala:

En el encabezado de esta se representarán los factores críticos que haya identificado la organización. En la parte izquierda de la matriz, figurarán los procesos. Para cada proceso se decidirá el efecto en los distintos factores críticos. De este modo, dependiendo de la relación existente entre el proceso y el factor crítico se definirá la misma como fuerte, media, débil o inexistente, si no hubiera ningún tipo de relación entre ambos, en cuyo caso se dejaría la correspondiente casilla en blanco. Posteriormente, se puntuará cada casilla en función de la relación atribuida, de este modo si la relación es fuerte se otorgarán 3 puntos, media le corresponderán 2 y débil 1 punto. Finalmente se sumarán todas las puntuaciones obtenidas por cada proceso y se clasificarán estos según su puntuación total (p. 41).

Figura 2.2: Ejemplo de una matriz de procesos

Factores críticos Procesos	Elevado riesgo técnico	Problemas reiterados	Inadecuación resultados expectativa	Elevadas posibilidades de mejora	...	TOTAL
Proceso A	3	2	3	3	...	11
Proceso B	3	2	2	1	...	8
Proceso C	2	0	1	3	...	6
Proceso D	1	2	1	1	...	5
...

Fuente: Lucas, 2014.

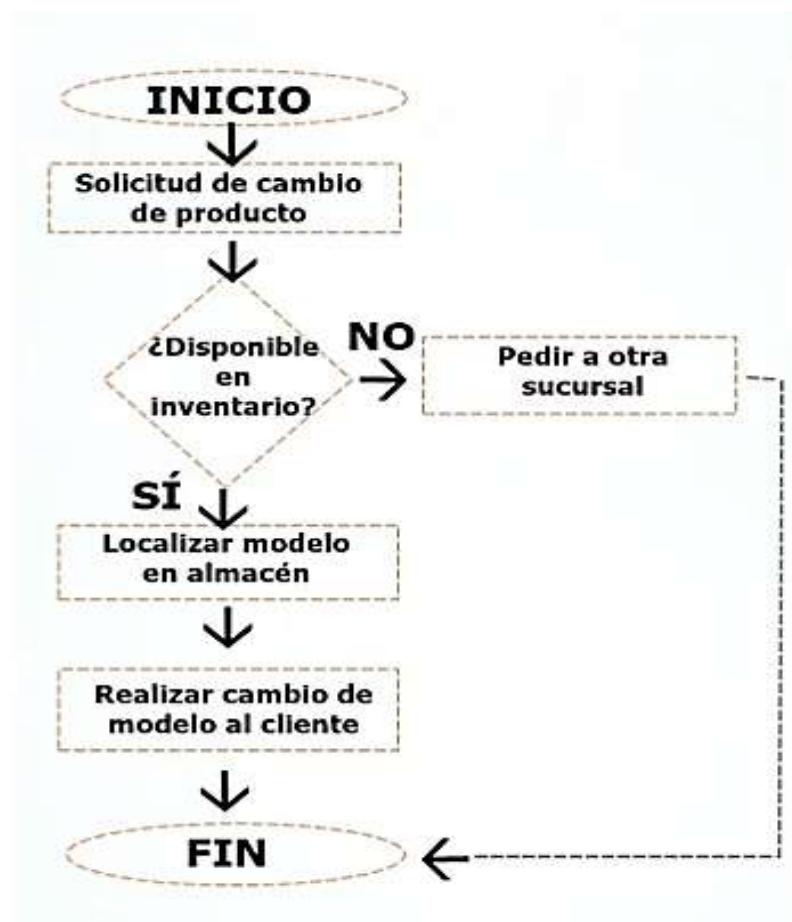
2.1.3 Diagrama de flujo

En cuanto a esta herramienta, Santos (2023) establece:

Los diagramas de flujo sirven para analizar las capacidades de una organización y para determinar de manera general a los actores, pasos y procesos que se deben cumplir para alcanzar un objetivo. Podríamos decir que con estos diagramas se puede hacer un mapa de ruta.

Si eres consciente de tus recursos y de los talentos que integran a tu compañía será más fácil implementar una acción. Por ejemplo, si quieres mejorar la productividad de tu equipo deberás comenzar con capacitar a tus líderes, ellos deberán motivar a los trabajadores para que cumplan las metas; en el último paso, tus líderes deberán evaluar el desempeño. Si no haces esto de manera ordenada, seguramente no lograrás elevar la productividad.

Figura 2.3: Ejemplo de un diagrama de flujo



Fuente: Santos, 2023.

2.1.4 Análisis FODA y matriz FODA

Con relación a este análisis, Ponce (2007) menciona:

El análisis FODA consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que, en su conjunto, diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa, es decir, las oportunidades y amenazas. También es una herramienta que puede considerarse sencilla y que permite obtener una perspectiva general de la situación estratégica de una organización determinada. Thompson y Strikland (1998) establecen que el análisis FODA estima el efecto que una estrategia tiene para lograr un equilibrio o ajuste entre la capacidad interna de la organización y su situación externa, esto es, las oportunidades y amenazas (p.3).

Por su parte, sobre la matriz indica:

La matriz FODA constituye la base o el punto de partida para la formulación o elaboración de estrategias; de dicha matriz se pueden realizar nuevas matrices; de esta forma, es posible desarrollar el marco analítico y las estrategias a través de las etapas siguientes (Ponce, 2007, p. 6).

Figura 2.4: Matriz FODA

La Matriz FODA		FACTORES INTERNOS	
		Lista de Fortalezas F1 F2 ...	Lista de Debilidades D1 D2 ...
FACTORES EXTERNOS	Lista de Oportunidades O1 O1 ...	FO (Maxi - Maxi) EXPLOTE Estrategia para maximizar tanto las Fortalezas como las Oportunidades	DO (Mini - Maxi) BUSQUE Estrategia para minimizar las Debilidades y maximizar las Oportunidades
	Lista de Amenazas A1 A2 ...	FA (Maxi - Mini) CONFRONTE Estrategia para maximizar las Fortalezas y minimizar las Amenazas	DA (Mini - Mini) EVITE Estrategia para minimizar tanto las Amenazas como las Debilidades

Fuente: Haddad, 2018.

2.1.5 SIPOC

Kanban Tool (2024) detalla esta herramienta, así como cada uno de sus pasos:

Un diagrama SIPOC sirve para documentar los proveedores (*suppliers*), entradas (*inputs*), procesos (*process*), salidas (*outputs*) y clientes (*customers*) en una operación. Una lista de estos elementos ayuda a marcar los límites de un proceso a un alto nivel. El diagrama se usa para proveer a quienes toman las decisiones con información crucial sobre todo el proceso, pero sin entrar en mayores detalles.

Gracias a la visualización de los procesos y a la limitación de la información a solo lo necesario para que la dirección encuentre las áreas del proceso que deben mejorarse, el diagrama SIPOC ayuda a agilizar los flujos de trabajo, a identificar y resolver los problemas y a eliminar las actividades inútiles.

Paso 1: clientes

Averigüe quién es el cliente y qué busca. Tenga en cuenta que un cliente puede ser cualquier persona para la que el proceso haya sido diseñado para obtener resultados, por lo que puede haber clientes internos y externos. Como parte de este paso, también debe tratar de definir el nivel en el que el cliente puede afectar a su proceso.

Comenzar por el cliente está en consonancia con el enfoque de los métodos *lean*, donde pensamos en el valor en términos de lo que el cliente está dispuesto a pagar. El concepto *lean seis sigma* de la voz del cliente es importante aquí, expresando las necesidades del cliente. Identificarlas correctamente le ayudará a asegurarse de que está orientado a los requisitos específicos y validados del cliente.

Paso 2: salidas

Las salidas, o productos, son el resultado del proceso, y deben responder en gran medida a los requisitos del cliente; lo ideal es que sean la manifestación del valor, tal y como lo ve el cliente. Suelen ser una lista de bienes producidos, servicios prestados, acciones completadas o información obtenida.

Paso 3: proceso

Se trata de una lista de los pasos de alto nivel que componen el proceso. La captura de los pasos en el centro del diagrama SIPOC proporciona una visión general de dónde empieza y termina el proceso, y qué implica. Asegúrese de que solo enumera los pocos pasos vitales y generales —no más de 10— y que no entra en demasiados detalles.

Paso 4: entradas

Los proveedores aportan los insumos al proceso en forma de materiales —ya sean bienes físicos o información— que una empresa necesita para funcionar. Para que los insumos y todo el SIPOC sean precisos, asegúrese de reunir a todas las partes interesadas cuando lo elabore.

Paso 5: proveedores

Son la fuente de entradas en el proceso. Teniendo en cuenta que el diagrama debe ser conciso, concéntrese solo en aquellos proveedores que tengan un impacto directo en los resultados del proceso.

Figura 2.5: Ejemplo de un SIPOC



Fuente: Kanban Tool, 2024.

2.1.6 Encuesta

Gutiérrez (2016) define la encuesta como una investigación estadística y enumera las siguientes características:

1. El objetivo de una encuesta es proveer información acerca de la población finita y/o acerca de subpoblaciones de interés especial.
2. Asociado con cada elemento de la población existe una o más variables de interés. Una encuesta permite conseguir información sobre características poblacionales desconocidas llamadas parámetros. Estas son funciones de los valores de las variables de interés y son desconocidos y requeridos.
3. El acceso y observación de los elementos de la población se establece mediante un algoritmo de muestreo, que es un mecanismo que asocia los elementos de la población con unidades de muestreo.

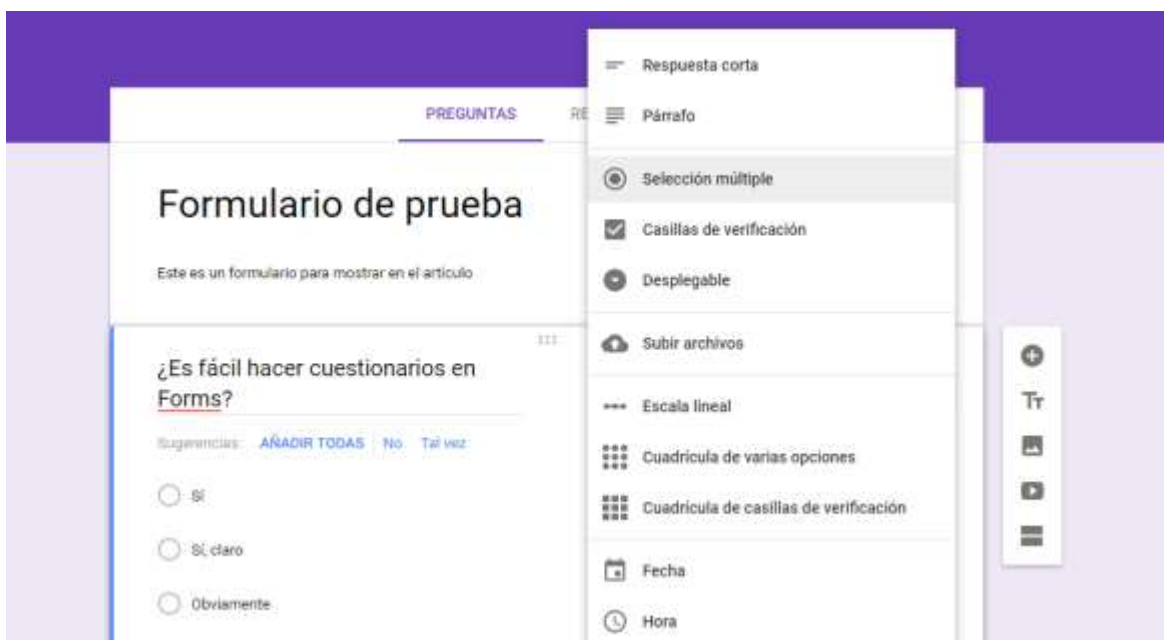
4. Una muestra de elementos se escoge. Esto puede ser hecho mediante la selección de las unidades de observación en el esquema.

5. Los elementos seleccionados en la muestra son observados y se realiza el proceso de medición; es decir para cada elemento de la muestra la variable de interés se mide y sus valores se graban.

6. Los valores grabados de las variables son usados para calcular estimaciones de los parámetros de interés.

7. Las estimaciones son finalmente publicadas, ¿estas sirven para la toma de decisiones? (p. 24).

Figura 2.6: Encuesta digital



Fuente: Infoautónomos, 2023.

2.1.7 Organización teal

Iberdrola (2025) define esta organización y las medidas por aplicar para lograrla:

La organización *teal* como aquellas en las que el capital humano es el protagonista y que, además, simplifican la jerarquización y otorgan menos importancia al control, fomentando el sentido de la responsabilidad de sus trabajadores y ofreciéndoles continuas oportunidades de formación y desarrollo profesional y personal.

No es sencillo modificar la estructura tradicional de una empresa. Por ello, para conseguir ser una organización *teal* la transformación debe abordarse a diversos niveles:

- Proponer un nuevo paradigma y una nueva estructura de trabajo.
- Renovar la mentalidad, los hábitos y la forma de trabajar de los empleados.
- Impulsar la integración intergeneracional y que el talento se complemente.
- Poner en valor a las personas y organizarse en base a un propósito.
- Ayudarse de las nuevas tecnologías para obtener un valor añadido.
- Construir ambientes más flexibles para descubrir y desarrollar el potencial de los empleados.
- Asumir el control, la independencia y la responsabilidad a todos los niveles.
- Fomentar la agilidad en la toma de decisiones y la transparencia en la gestión de la información.

Figura 2.7: Modelo teal



Fuente: Iberdrola, 2025.

2.1.8 Estudio del trabajo

Respecto al estudio del trabajo, Escalona (2009) indica:

En cualquier sistema organizacional se habla de trabajo, por lo que las empresas realizan estudios que tratan de optimizar sus recursos para obtener un bien y/o servicio. Por ello el trabajo representa la dinámica de la empresa, ya que esta presenta un factor primordial para aumentar su productividad. Por ello comenzaremos definiendo lo que es el trabajo. Durante cualquier proceso en donde intervenga el hombre, se trata de ser los más eficientes, es por ello que el estudio del trabajo nos presenta varias técnicas para aumentar la productividad. Se entiende por estudio del trabajo, genéricamente, a ciertas técnicas, y en particular al estudio de métodos y la medición del trabajo, que se utilizan para

examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan sistemáticamente a investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía de la situación estudiada, con el fin de efectuar mejoras (p. 8).

2.1.9 Estudio de métodos

El estudio de métodos consiste en realizar el análisis y evaluación de una forma crítica de cómo se llevan a cabo las actividades, con el propósito de diseñar procesos más sencillos, seguros y de manera eficiente. Este análisis busca detectar desperdicios o ineficiencias para eliminarlos o reducirlos lo mínimo posible.

Tener un método de trabajo bien estructurado permite a los operadores desempeñar sus tareas de forma efectiva para cumplir con los estándares de calidad requeridos por el cliente y garantizar su seguridad en todo momento (ACMP, 2022).

2.1.10 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos se define como un análisis científico y minucioso de los métodos y aparatos utilizados para ejecutar un trabajo, el desarrollo de los detalles prácticos de la mejor manera de hacerlo y la determinación del tiempo necesario.

Figura 2.8: Ejemplo de un estudio de tiempos

Elemento	Tiempo estandar en minutos					
	A8	B10	C12	D14	E16	F22
1. Colocar botes en contenedor	0.48	0.6	0.72	0.84	0.96	1.32
2. Llevar contenedor a la llanadora	1.4	1.52	1.63	1.7	1.84	7
3. Llenar un bote y colocarle la tapa	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	12.1
4. Colocar botes llenos en contenedor	1.52	1.9	2.28	2.68	3.04	4.18
5. Llevar contenedor al almacén	0.3	0.4	0.46	0.5	0.64	7
Total del tiempo estandar	8.1	9.92	11.69	13.4	15.28	7

Fuente: Slideshare, 2020.

2.1.11 Gráfico de barras

En cuanto a esta herramienta, TuDashboard (2021) expone:

Una gráfica de barras es una representación gráfica de los resultados de un análisis estadístico. El gráfico consta de barras para cada dato representado. Las

anchuras de estas barras son iguales, pero las longitudes varían según la importancia del valor.

Estas barras se colocan generalmente en dos ejes que pueden invertirse dependiendo de si se quiere hacer un gráfico de barras horizontal o vertical.

Figura 2.9: Ejemplo de un gráfico de barras



Fuente: TuDashboard, 2021.

2.1.12 Gráfico de pastel

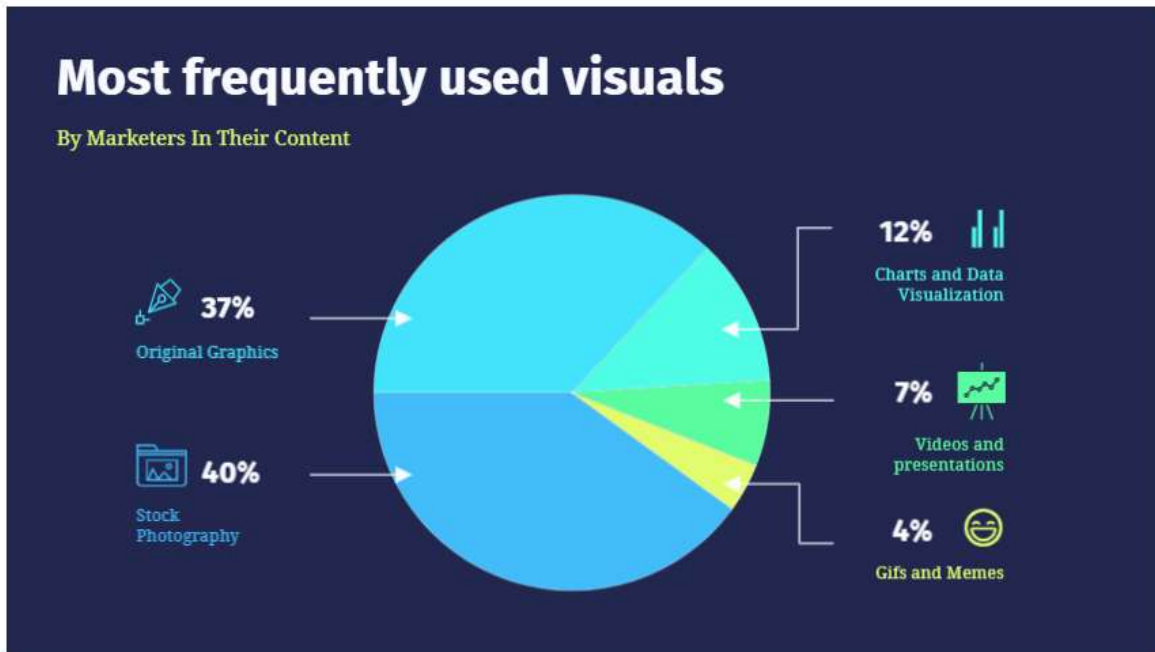
Con relación a este tipo de gráfico, Memon (2023) explica:

Una gráfica de pastel es básicamente un círculo dividido en varias porciones. Cada porción representa una parte del todo, de la misma manera que cada porción de un pastel representa un pedazo del pastel entero.

Es decir, si cortas un pastel en ocho porciones iguales, cada porción representará el 12.5 % del pastel. Pero los gráficos circulares también se pueden dividir en porciones desiguales. De esta manera puede representar valores rotos que componen un todo.

La definición clásica de un gráfico de pastel es una herramienta de visualización de datos circular con diferentes porciones que constituyen un porcentaje total. Cada segmento del círculo posee un tamaño proporcional al porcentaje del conjunto que representa.

Figura 2.10: Ejemplo de un gráfico de pastel



Fuente: Memon, 2023.

2.1.13 Histograma

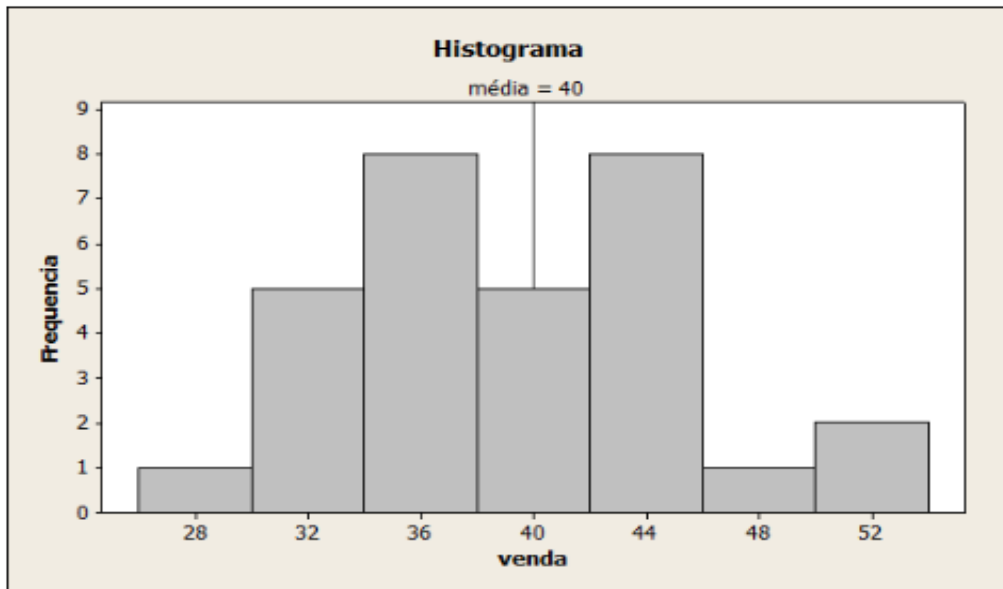
De acuerdo con Louzada (2023):

Un histograma consiste en un gráfico de barras que demuestra una distribución de frecuencias, donde la base de cada una de las barras representa una clase, y la altura la cantidad absoluta o frecuencia con la que se produce el valor de clase. Al mismo tiempo, se puede utilizar como un indicador de dispersión del proceso.

Sobre todo, pretende ilustrar cómo se distribuye una muestra particular de datos o población con la información, con el fin de facilitar la visualización de la distribución de los datos. Al mismo tiempo, destaca la ubicación del valor central y la distribución de los datos en torno a este valor central.

Así, cuenta con dos ejes con diferentes funciones, donde el eje horizontal se divide en pequeños intervalos, demostrando valores asumidos por la variable de interés. El eje vertical es proporcional a la frecuencia de las observaciones de la muestra donde los valores pertenecen a esa clase o rango.

Figura 2.11: Ejemplo de un gráfico de histograma



Fuente: Louzada, 2023.

2.1.14 Productividad

Respecto a la productividad, Escalona (2009) menciona:

En la actualidad toda organización realiza estudios y aplicaciones para aumentar su productividad, sin embargo, frecuentemente se confunden los términos productividad y producción. Productividad es la relación cuantitativa entre lo que producimos y los recursos que utilizamos y producción se refiere a la actividad de producir bienes y/o servicios (p. 5).

Para establecerla, se emplean los siguientes elementos:

PT = productividad del trabajo.

CFP = cantidad física del producto.

HHT = horas hombre trabajadas.

Cabe resaltar que el tema de estudio es la productividad parcial, no obstante, existe la productividad total, definida como la razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo. Además, de la relación que determina la productividad, surgen otras como son:

- Productividad = producción obtenida/insumo gastado.
- Desempeño alcanzado/recursos consumidos.
- Efectividad/eficiencia.

Figura 2.12: Diagrama de recorrido



Fuente: Sánchez, 2023.

2.1.15 Lluvia de ideas

La Escuela Británica de Artes Creativas y Tecnología (2023) define esta herramienta del siguiente modo:

La lluvia de ideas, también llamada tormenta de ideas o *brainstorming*, es una técnica para generar ideas nuevas, espontáneas y creativas, con el fin de solucionar un problema.

Este método fue desarrollado en 1939 por Alex Osborn, ejecutivo de publicidad. En su libro *Your Creative Power (Tu poder creativo)*, Osborn subraya que el éxito depende del poder creativo, no solo en el área de negocios, sino también en todas las esferas. A su vez, señala que la creatividad a menudo termina sofocada porque las personas involucradas en el proceso creativo rechazan rápidamente las ideas innovadoras. Según él, todos tienen el potencial para desarrollar habilidades creativas.

Figura 2.13: Ejemplo de una lluvia de ideas



Fuente: Carter, 2024.

2.1.16 Diagrama de Pareto

Acerca de este diagrama, Santos (2023) explica:

Los diagramas de Pareto son herramientas visuales diseñadas para establecer prioridades y destinar tu esfuerzo a los factores más apremiantes, asignando un orden para la resolución de cada asunto. Esta herramienta es fundamental para la planeación estratégica, ya que es necesario saber cuál será el proceso por seguir, qué es más importante y cómo se relacionan todos los aspectos a resolver.

Figura 2.14: Ejemplo de un diagrama de Pareto



Fuente: Santos, 2023.

2.1.17 Multivoto

En cuanto a esta herramienta, Aiteco Consultores (2019) indica:

La multivotación es un procedimiento sencillo y estructurado que se aplica para seleccionar, de entre una amplia lista de elementos, aquellos que son más significativos y merecen mayor consideración.

Cuando disponemos de una gran cantidad de ideas u opciones la dificultad estriba en trabajar con ese alto número. Con la multivotación, esa amplia gama de elementos se reduce, lo que permite al equipo centrarse en unas pocas, más apropiadas e importantes.

Figura 2.15: Ejemplo de un multivoto

EJEMPLO DE TABLA RESUMEN DE VOTO DE 19 MIEMBROS					
<i>Errores</i>	1	2	3	4	5
Incompleto	1	3	4	1	1
Equivocado	8	1	1	0	0
Quebrado-ajado	2	2	5	1	0
Bolsas rotas	7	1	1	0	1
Mal entarimado	1	2	1	4	2
Lugar incorrecto	0	0	3	2	5

Fuente: Acuña, 2014.

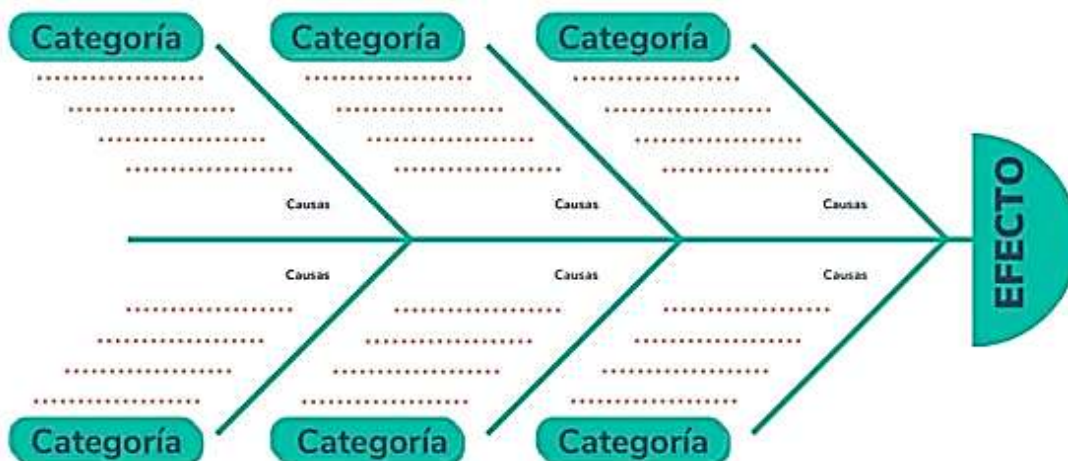
2.1.18 Diagrama de Ishikawa

Referente al diagrama de Ishikawa, Rodrigues (2024) establece:

Este esquema también conocido como diagrama de causa-efecto se basa en la premisa de que todo problema tiene una causa; de algo que está mal en un proceso. Entonces hay que identificar de dónde surgen las acciones que están conformando ese problema.

Otro valor del método es su flexibilidad para adaptarse a cualquier industria, actividad, área, contexto o situación.

Figura 2.16: Diagrama de Ishikawa



Fuente: Rodrigues, 2024.

2.1.19 Diagrama de Gantt

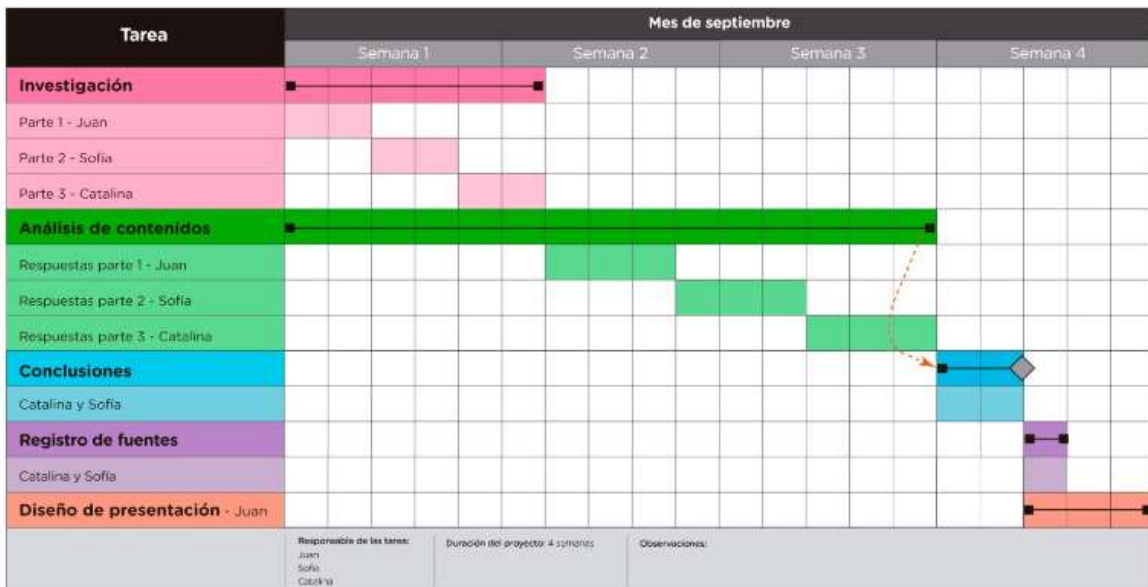
Editorial Etecé (2024) lo define de la siguiente manera:

El diagrama de Gantt, también denominado cronograma de Gantt, gráfico de Gantt o tabla de Gantt, es un organizador gráfico que representa visualmente la duración de cada tarea o etapa de un proyecto, una meta o un proceso productivo de una empresa o una institución.

El diagrama de Gantt consta de los siguientes elementos:

- Actividades. Son las distintas tareas de un proyecto y se anotan en la columna izquierda o en cada barra.
- Tiempo. Está dividido en horas, días, semanas, meses o años en la fila superior.
- Barras o líneas. Su extensión indica cuánto tiempo duran las actividades y sus fechas de inicio y de fin.
- Hitos. Son los momentos clave del proyecto que ocurren porque se terminó una tarea o una etapa.
- Dependencias. Indican que hay tareas cuyo comienzo depende de la finalización de otras.

Figura 2.17: Diagrama de Gantt



Fuente: Editorial Etecé, 2024.

2.1.20 Análisis del retorno de la inversión (ROI)

García (2023) describe el ROI del siguiente modo:

[...] es una métrica ampliamente utilizada en el *marketing* para probar los resultados financieros de una acción. Contar con dichos resultados ayudará a medir la eficacia de las estrategias que se lleven a cabo.

En otras palabras, el ROI tiene como objetivo calcular el porcentaje de ganancia que se espera de una inversión en comparación con la apuesta inicial.

Para calcular el ROI es necesario contabilizar los ingresos totales (ventas conseguidas), a estos se les deben restar los costos totales (inversión) y, finalmente, dividir ese resultado por los costos totales. Por lo tanto, la fórmula matemática para obtener el ROI es:

$$[(\text{Ingresos} - \text{Inversión}) / \text{Inversión}] * 100 = \text{ROI}$$

Se debe tener en cuenta que la temporalidad no interviene en el cálculo del ROI, por ello, es importante establecer un periodo definido en el que se realizará el análisis.

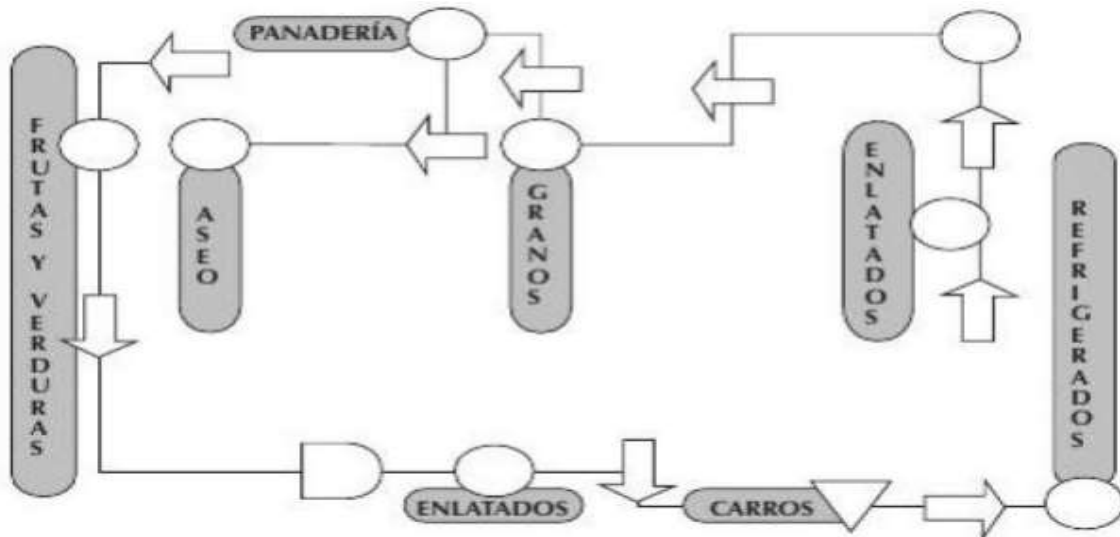
Si se quiere analizar la inversión realizada en un mes o en un año, se deben contabilizar solo los ingresos y los costos de dicho periodo. Esto es importante para evitar errores.

2.1.21 Diagramas de recorrido

Este diagrama es prácticamente un plano del área de trabajo en análisis en el que se sigue el recorrido del objeto, operador o actividad en estudio, mediante la representación gráfica de todos los pasos o actividades del proceso y es posible ver cómo se relacionan las diferentes actividades. Asimismo, Palacios (2016) indica lo siguiente:

Este diagrama es particularmente útil porque proporciona una vista global compacta y general de un proceso en existencia o propuesto. Es un auxiliar valioso en el trabajo de distribución de la planta. Su elaboración familiariza rápida y efectivamente al ingeniero con el proceso completo y el lugar donde se desarrolla cada actividad (p. 89).

Figura 2.18: Ejemplo de un diagrama de recorrido de un supermercado



Fuente: Palacios, 2016.

2.1.22 Análisis del campo de fuerzas

Pérez (2025) define este análisis y describe las dos fuerzas existentes según el mismo:

El análisis del campo de fuerzas consiste en una representación visual de los pro y los contra de una situación para poder analizarlos y compararlos. En este sentido podemos decir que ve el cambio como fuerzas diferentes que compiten entre sí. La idea original fue desarrollada por el gran psicólogo Kurt Lewin.

Existen dos fuerzas. Las fuerzas aceleradoras, llamadas también dinamizadoras o impulsoras, las cuales facilitan el cambio (*driving forces*) y las fuerzas frenadoras o restrictivas, las cuales evitan que el cambio ocurra (*restraining forces*). Pueden ser internas o externas.

Esta herramienta pretende identificar estas fuerzas y relacionarlas con el cambio potencial. Es decir, qué ocurriría si se siguiera adelante con el cambio propuesto.

Ejemplo de las fuerzas aceleradoras.

Son las situaciones, actividades, acciones, conocimientos, equipamientos, procedimientos, personas, etc., que contribuyen a dirigir la organización/grupo/persona hacia su objetivo/meta. Es decir, todo aquello que favorece el cambio.

Ejemplo de las fuerzas frenadoras

Son lo inverso. Es el recuento de todo aquello que tiende a impedir que se alcance el objetivo/meta propuesto. Es todo lo que se opone al cambio.

Figura 2.19: Ejemplo de un análisis de campo de fuerzas



Fuente: Pérez, 2025.

2.1.23 Value stream mapping (VSM)

Con relación a esta herramienta, Sentries (2021) detalla:

Un *value stream mapping* (VSM) o mapa de flujo de valor es una herramienta visual utilizada en la metodología *lean* para representar, analizar y mejorar los flujos de materiales e información implicados en un proceso de producción, desde que un producto o servicio se idea hasta que se entrega al cliente.

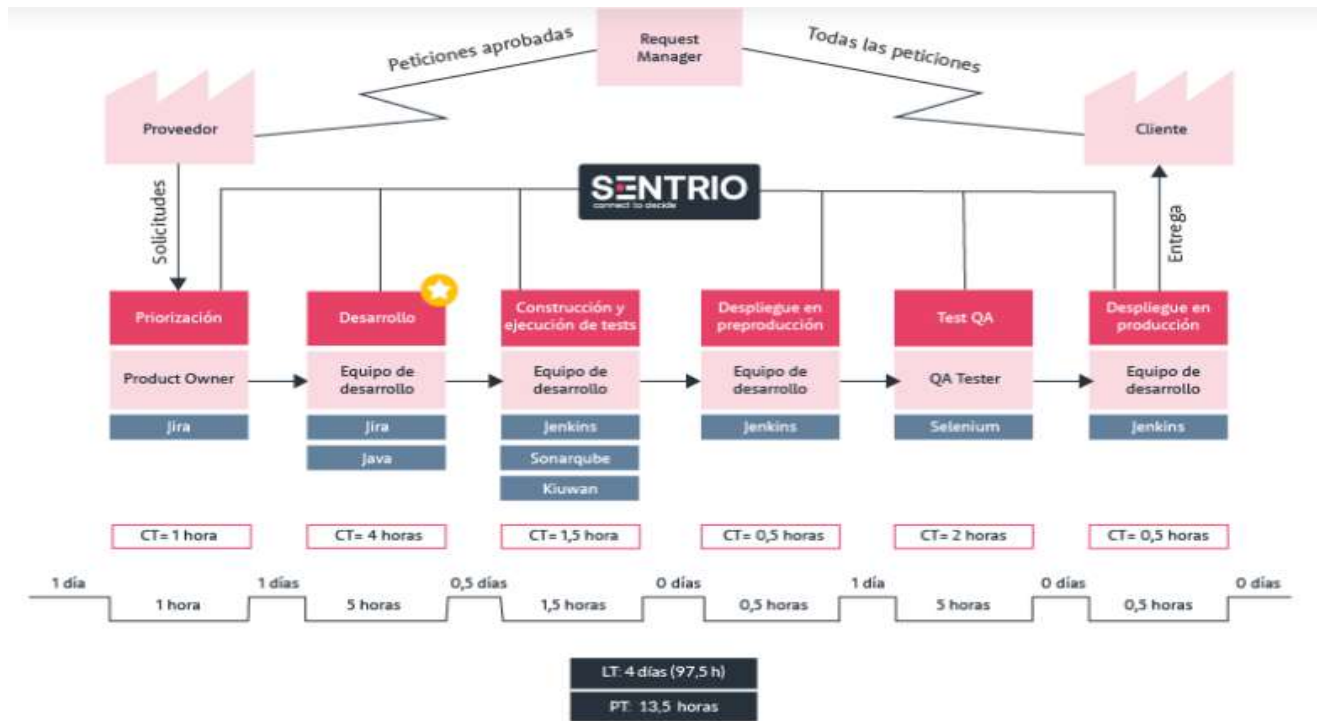
De este modo, en nuestro VSM distinguiremos tres zonas:

Flujo de información. En la parte superior de nuestro diagrama reflejamos todos los intercambios de información que se producen a lo largo del proceso.

Flujo de producción. En el área central de nuestro mapa recogemos toda la secuencia del proceso, cada una de las actividades que intervienen, con las personas encargadas de las mismas y los datos más relevantes para nuestro objetivo.

Línea de tiempo del flujo de valor. En la zona inferior de nuestro mapa dibujamos una línea de tiempo que refleja los tiempos de trabajo en cada una de las etapas y los tiempos de espera entre unas y otras. También debemos conocer y representar el *lead time* (LT), el tiempo que tardamos en entregar la funcionalidad al cliente desde que nos la solicita, y el tiempo de procesamiento (PT), la suma de los tiempos de trabajo activos.

Figura 2.20: Ejemplo de un VSM



Fuente: Sentries, 2021.

2.1.24 Cursograma

En cuanto al cursograma, Betancourt (2016) señala:

Es una representación gráfica, con la que logramos de forma sistemática y secuencial, documentar las actividades que realiza una o más personas al trabajar en manufactura o con clientes.

Conocido también como gráfico de proceso, el cursograma permite analizar las labores para detectar errores o mejoras. Es una herramienta vital del ingeniero industrial y comúnmente usada por analistas de proceso, quienes, en

conjunto con otras herramientas y trabajos como estudios de tiempos, mejoran las labores administrativas, de servicio y producción de las compañías.

Con el cursograma analítico o diagrama analítico, vamos más a fondo en aras de evidenciar el curso de una persona, material o equipo por medio de los cinco símbolos mostrados en la infografía anterior.

Figura 2.21: Cursograma

Descripción	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
				○	□	D	⇨	▽	
La información de libro es programada en máquina litográfica		4,30		●					
La temática del libro es verificada		0,60		●					
El papel es insertado en máquina litográfica		1,00		●					
Espera trabajo en máquina litográfica		22,10					●		
Verificado de las hojas del libro		0,50		●					
Transportado de papel impreso a máq generadora de hojas		0,60	8,0					●	
Colocado de papel impreso en máq articuladora y accionar		12,60		●					
Espera articulado de hojas en máquina		14,80					●		
Revisar hojas articuladas		1,30		●					
Transportado de folletos a máq litográfica		0,60	7,3					●	
Programar información de folleto en máq litográfica y accionar		1,00		●					
Espera de trabajo en máquina litográfica		16,20					●		
Verificado de folletos impresos		0,35		●					
Transportado de folletos impresos a zona del libro		0,60	7,25					●	
Colocar folletos impresos al interior del libro		0,20		●					
Transportado a zona de equipos para quemar cd		0,80	10,3					●	
Grabado de cd según temática del libro		14,10		●					
Transportado de cd a zona de libro (hojas articuladas)		0,60	7,25					●	
Colocar cd al interior del libro		0,15		●					
Almacenado de producto terminado		0,10						●	
Total		92,50	40,10	7	4	2	6	1	

Fuente: Betancourt, 2016.

2.1.25 Análisis de brecha

Referente a este análisis, Laoyan (2025) establece:

Un análisis de brechas (también conocido como análisis GAP o análisis de necesidades) es un proceso que se usa para comparar el desempeño real de la empresa con el desempeño deseado. La “brecha” se entiende como el espacio entre dónde se encuentra tu negocio actualmente y dónde te gustaría que esté. [...]

Un análisis de brechas es una herramienta útil de gestión de proyectos que te permite identificar cómo llegar del punto A al punto B. Si bien este método se puede usar en cualquier momento, lo aprovecharás al máximo si lo aplicas estratégicamente a un proyecto o iniciativa específicos.

Figura 2.22: Análisis de brecha

ANÁLISIS DE BRECHAS para la Revisión de la Estrategia



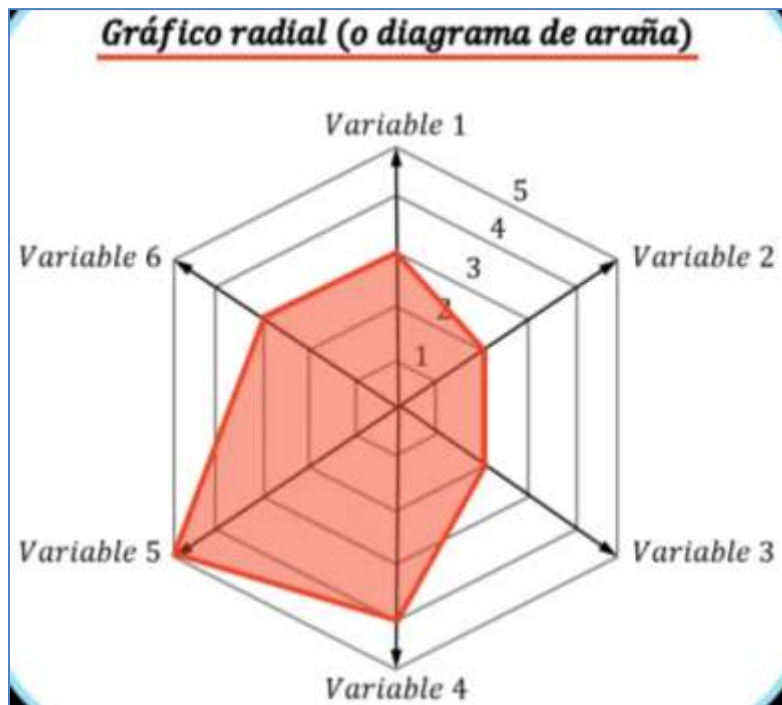
Fuente: Savkín, 2019.

2.1.26 Gráfico radial

Respecto a estos gráficos, IBM (2021) menciona:

Los gráficos radiales comparan varias variables cuantitativas y son útiles para visualizar qué variables tienen valores similares, o si existen valores atípicos entre las variables. Los gráficos radiales se componen de una secuencia de radios, con cada radio que representa una sola variable. Los gráficos radiales también son útiles para determinar qué variables están puntuando alto o bajo dentro de un conjunto de datos.

Figura 2.23: Gráfico radial



Fuente: Probabilidad y Estadística, 2025.

2.1.27 Diagrama de Pareto

Santos (2025) describe sobre este diagrama lo siguiente:

Los diagramas de Pareto son herramientas visuales diseñadas para establecer prioridades y destinar tu esfuerzo a los factores más apremiantes, asignando un orden para la resolución de cada asunto. Esta herramienta es fundamental para la planeación estratégica, ya que es necesario saber cuál será el proceso por seguir, qué es más importante y cómo se relacionan todos los aspectos a resolver.

Figura 2.24: Ejemplo de un diagrama de Pareto



Fuente: Santos, 2025.

2.1.28 Análisis Therbligs

Con relación a este tipo de análisis, Euroinnova (2024) define su estructura y origen:

Al hablar de lo que son los Therbligs se hace referencia a 18 movimientos en los que se puede dividir cualquier tarea que se realice, mayormente en el campo laboral pues busca determinar la productividad de un operador en la estación de trabajo donde se desarrolla.

Estos movimientos fundamentales fueron desarrollados por dos psicólogos industriales: Frank Gilbreth y Lilian Gilbreth a principios de lo que fue el siglo XX. Este par fue pionero en dicho campo, encargándose de desarrollar el estudio de los tiempos y los movimientos que se debían realizar.

Para hacer más sencillo el procesamiento de toda la información, los Therbligs se dividen en dos áreas: los efectivos y los inefectivos. Una manera sencilla de comprender la diferencia entre ambos puntos es que los efectivos son aquellos que se encargan de agregar valor, mientras que los inefectivos corresponden a los que agregan costos.

Además, Euroinnova (2024) enumera cada uno de los movimientos:

Una de las maneras de poder aplicar correctamente todos estos movimientos es conociéndolos, ya que los métodos que se usan en la mayoría de los procedimientos de las empresas, si se orientan a lo que son los Therbligs, pueden optimizar y de esta manera disminuyen los gastos.

Dentro del planteamiento de los esposos Gilbreth podemos encontrar:

- Buscar, localizar un elemento básico.
- Seleccionar, se lleva a cabo con dos o más objetos similares.
- Tomar, proceso en que se agarra el objeto correcto en cuestión.
- Alcanzar, en el momento que se procede a tomar algo y finaliza el movimiento.
- Sostener, momento en el que se tiene o sostiene el objeto.
- Soltar, se trata de retirar el control del objeto.
- Colocar en posición, es cuando se coloca en un sitio en específico.
- Precolocar en posición, se coloca la pieza en un lugar donde pueda moverse.
- Inspeccionar, una vez realizada la actividad se compara con un estándar o patrón.
- Ensamblar, cuando los objetos se pueden unir entre sí.
- Desensamblar, se realiza cuando es necesario separar piezas unidas entre sí.
- Usar, se realizan pruebas con base en el objeto o producto que se tenga.
- Demora inevitable, interrupción del trabajo que no puede ser evitada.
- Demora evitable, tiempo que se gasta por responsabilidad del operario.
- Planear, se debe tener un planteamiento de lo que se va a realizar, puede ser un diagrama bimanual.
- Descanso, es necesario para la reposición de la fatiga.

Ahora bien, acerca de la importancia de los Therbligs, Euroinova (2024) comenta:

Entender qué son los Therbligs permite que cada paso de lo que vendría siendo el proceso industrial se pueda comprobar y optimizar, ya que se debe recordar que se trata de acciones que son metódicas.

Por ello contar con un correcto sistema que pueda ser explicado, por ejemplo, con un mapa mental o un mapa conceptual, hace posible que todos los operadores de las diversas estaciones de trabajo que se tengan puedan desarrollar sus actividades optimizando todos los recursos.

No solo es necesario conocer las diferentes divisiones, sino que además mantener al personal en constante formación es vital para garantizar un

adecuado desarrollo, por ello realizar una serie de cursos o actualizaciones debe estar dentro del plan de trabajo de las empresas.

Figura 2.25: Procedimiento ilustrativo del cursograma

SÍMBOLO	NOMBRE	ABREVIACIÓN	COLOR
	Buscar	Sh	Negro
	Encontrar	F	Gris
	Seleccionar	St	Gris perla
	Asir	G	Rojo
	Sostener	H	Ocre dorado
	Transportar carga	TL	Verde
	Colocar en posición	P	Azul
	Ensamblar	A	Violeta
	Usar	U	Morado
	Desmontar	DA	Lila
	Inspeccionar	I	Ocre tostado
	Preparar colocación	PP	Azul celeste
	Sostener carga	RL	Carmin
	Desplazarse sin carga	TE	Aceituna
	Descansar por agotamiento	R	Naranja
	Demora inevitable	UD	Amarillo
	Demora evitable	AD	Amarillo verdoso
	Planificar	Pn	Marrón

Fuente: Slideshare, 2015.

2.1.29 Diagrama de relación o interrelación

Contreras (2024) explica acerca de este diagrama lo siguiente:

El diagrama de relaciones es una herramienta también utilizada, igual que el diagrama de afinidad, en la fase de planificación general del ciclo de mejora de la calidad. Esta herramienta ayuda a desarrollar un contexto lógico para datos en forma de ideas, opiniones, temas, aspectos a considerar, etc., explorando e identificando las relaciones causales existentes entre otros elementos.

El diagrama de relaciones se utiliza por lo general para analizar las relaciones causales existentes entre las ideas clave generadas mediante el diagrama de afinidad.

En la planificación y en resolución de problemas no es suficiente con generar una gran cantidad de ideas. El diagrama de afinidad provoca que afloren a la superficie estructuraciones creativas, pero es el diagrama de relación el que hace emerger las estructuraciones lógicas. El diagrama de relación se inicia a partir de una idea o concepto central, sigue con la generación de una gran cantidad de ideas y finaliza con la delineación de las estructuras observadas.

Asimismo, habla sobre la construcción del diagrama de relaciones:

1. Formar el equipo correcto

Igual que en la construcción del diagrama de afinidad, el objetivo perseguido es tener el equipo de personas correcto, trabajando con las herramientas correctas en la solución de los problemas correctos. Por lo tanto, el primer paso será la formación de un equipo. Las consideraciones a tener en cuenta en la creación de este equipo son iguales a las ya expuestas para el diagrama de afinidad. Incluso en el caso de que se realice un diagrama de relaciones a continuación de un diagrama de afinidad, la composición del equipo podría ser la misma.

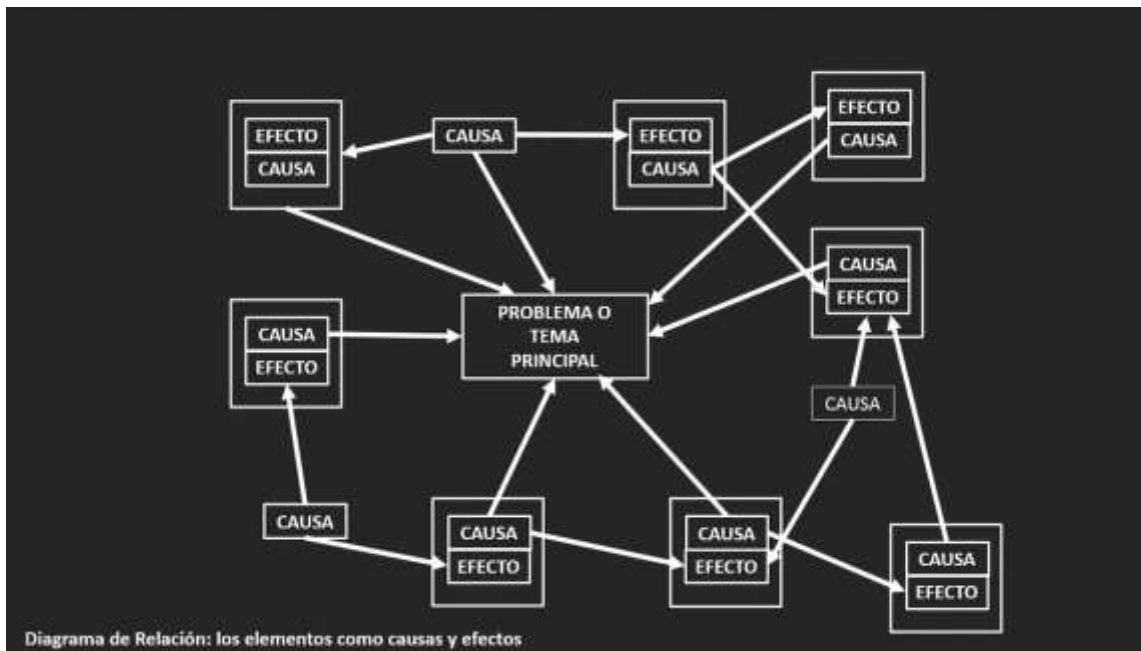
2. Realizar una descripción clara del tema clave bajo discusión

Las fuentes de las que pueden extraerse estos temas claves son muy variadas. En algunos casos se tratará de un problema que se presenta de una forma clara, siendo por lo general en estos casos el diagrama de relaciones el primer paso del proceso de solución. Sin embargo, cuando el problema es más complejo o no se encuentra bien delimitado, se suele utilizar previamente un diagrama de afinidad para generar los temas claves que se van a explorar en el diagrama de relaciones. En el primer caso, se registrarán los temas clave en unas tarjetas similares utilizadas en la confección de un diagrama de afinidad. En el caso de que este sea la fuente de obtención de los temas claves, estos coincidirán con los registrados en las tarjetas cabeceras del diagrama de afinidad.

3. Recogida de ideas

Cuando se ha realizado previamente un diagrama de afinidad, el diagrama de relación se realiza con las ideas correspondientes en las tarjetas cabeceras de las agrupaciones. En el caso de que no se haya realizado con anterioridad un diagrama de afinidad, deberá iniciarse un proceso creativo similar a la tormenta de ideas mencionado con la construcción del diagrama de afinidad. El resultado en ambos casos será un conjunto de tarjetas, a ser posible del tipo autoadhesivas, en las que serán reflejadas las ideas (Contreras, 2024).

Figura 2.26: Diagrama de relación



Fuente: Contreras, 2024.

2.1.30 Evaluación REBA

Respecto a esta evaluación, Jeffs (2023) la detalla así:

¿Qué es una evaluación REBA?

La evaluación rápida de todo el cuerpo, o REBA (por sus siglas en inglés), es un método sistemático para evaluar los riesgos ergonómicos asociados con diversas tareas. Se analiza la postura y el movimiento de los trabajadores para identificar posibles problemas musculoesqueléticos y priorizar intervenciones para la reducción de riesgos.

¿Por qué son importantes las evaluaciones REBA?

Las evaluaciones REBA son vitales para garantizar un ambiente de trabajo seguro y saludable. Al identificar los peligros ergonómicos desde un inicio, las empresas pueden prevenir lesiones en el lugar de trabajo, mejorar la productividad y el bienestar de sus empleados. La priorización de tareas basadas en los puntajes REBA permite a las organizaciones asignar recursos de manera eficiente y abordar las actividades de alto riesgo lo antes posible.

Preparativos

Antes de comenzar la evaluación, se debe entrevistar al trabajador para entender sus actividades laborales y observar sus movimientos durante los ciclos de trabajo. Identificar posturas o tareas difíciles, posturas sostenidas, o aquellas que implican altas cargas de fuerza.

Figura 2.27: Evaluación REBA



Fuente: Jeffs, 2023.

2.1.31 Matriz RACI (responsable, aprobado, consultado e informado)

Con relación a esta herramienta, Sáenz (2023) menciona:

Una matriz RACI es una representación en forma de gráfico de qué funciones y responsabilidades tienen los diferentes miembros del equipo y *stakeholders* y permite identificar rápidamente a quién hemos de reportar o comunicar algo en cualquier momento.

En definitiva, permite garantizar que el trabajo se realice de forma eficiente. Además, la matriz RACI es un gráfico muy visual que permite ver rápidamente a quién debemos consultar algo, informar o pedir aprobación.

Una matriz RACI permite crear roles concretos aportando una dirección clara a cada miembro del equipo. La matriz RACI también es conocida en otras fuentes como la matriz de asignación de responsabilidades (RAM en inglés o MAR en español).

En primer lugar, vamos a desglosar cada uno de los roles que se pueden asignar a las personas:

R: Responsable: quien hace el trabajo.

A: Aprobador: quien se asegura de que el trabajo se realice.

C: Consultado: quien da su opinión sobre el trabajo.

I: Informado: quien necesita conocer el resultado.

Ten en cuenta que los gráficos RACI pueden organizarse de diferentes maneras, según las preferencias personales, el número de tareas asignadas y el número de personas implicadas.

Figura 2.28: Ejemplo de una matriz RACI

R: Responsible	Assigned to complete the task or deliverable			
A: Accountable	Has final decision-making authority and accountability for completion (only one per task)			
C: Consulted	Must be consulted before a decision or action is taken			
I: Informed	Must be informed after a decision or action is taken			
Task	List Roles			
	R	A	C	I
Task 1				
Task 2				
Task 3				
Task 4				

Fuente: Sáenz, 2023.

2.1.32 Matriz de Eisenhower

Prevencionar (2024) define esta matriz, así como los pasos para llevarla a cabo, de la siguiente forma:

La matriz de Eisenhower, también conocida como la matriz urgente-importante, es una herramienta de gestión del tiempo diseñada para ayudar a las personas a priorizar sus tareas y actividades. Fue popularizada por el presidente Dwight D. Eisenhower, quien utilizaba este método para tomar decisiones eficientes y efectivas. La matriz se basa en dos criterios fundamentales: urgencia e importancia, dividiendo las tareas en cuatro cuadrantes.

¿Cómo usar la matriz de Eisenhower?

Paso 1: listar las tareas. Comienza anotando todas las tareas y actividades que tienes pendientes. Incluye todo, desde tareas laborales hasta responsabilidades personales y metas a largo plazo.

Paso 2: evaluar las tareas. Clasifica cada tarea en uno de los cuatro cuadrantes de la matriz según su urgencia e importancia:

Cuadrante 1: urgente e importante. Estas tareas requieren atención inmediata y son cruciales para tus objetivos. Suelen ser crisis, problemas apremiantes o plazos inminentes.

Ejemplo: resolver una emergencia médica de un empleado, cumplir con una fecha límite crucial para un proyecto importante.

Cuadrante 2: no urgente, pero importante. Estas tareas no requieren atención inmediata, pero son esenciales para el crecimiento personal y profesional a largo plazo. Involucran planificación y prevención de problemas futuros.

Ejemplo: desarrollar un programa de bienestar para los empleados, organizar talleres de formación y desarrollo profesional.

Cuadrante 3: urgente pero no importante. Estas tareas requieren atención inmediata pero no contribuyen significativamente a tus objetivos a largo plazo. Son interrupciones que pueden delegarse o minimizarse.

Ejemplo: responder a correos electrónicos de baja prioridad, atender llamadas telefónicas no esenciales.

Cuadrante 4: no urgente y no importante. Estas actividades no aportan valor y suelen ser distracciones. Es recomendable eliminarlas o reducir el tiempo dedicado a ellas.

Ejemplo: pasar demasiado tiempo en redes sociales personales durante el horario laboral, participar en conversaciones ociosas en la oficina.

Paso 3: priorizar. Dedicar tu tiempo y recursos primero a las tareas del cuadrante 1, luego enfócate en las del cuadrante 2. Intenta delegar o minimizar las del cuadrante 3 y eliminar o reducir al mínimo las del cuadrante 4.

Figura 2.29: Matriz de Eisenhower



Fuente: Prevencionar, 2024.

2.1.33 Coaching kata

En cuanto al *coaching kata*, Almonacid (2023) explica:

Es una metodología que forma parte del sistema de gestión *lean*, y se centra en el desarrollo de habilidades de liderazgo y mejora continua en las organizaciones.

El término *kata* proviene del japonés y se refiere a una serie de movimientos o prácticas que se repiten de manera constante para perfeccionar una habilidad. En este contexto, el *coaching kata* se utiliza para perfeccionar la habilidad de liderar e impulsar mejoras en los equipos de trabajo.

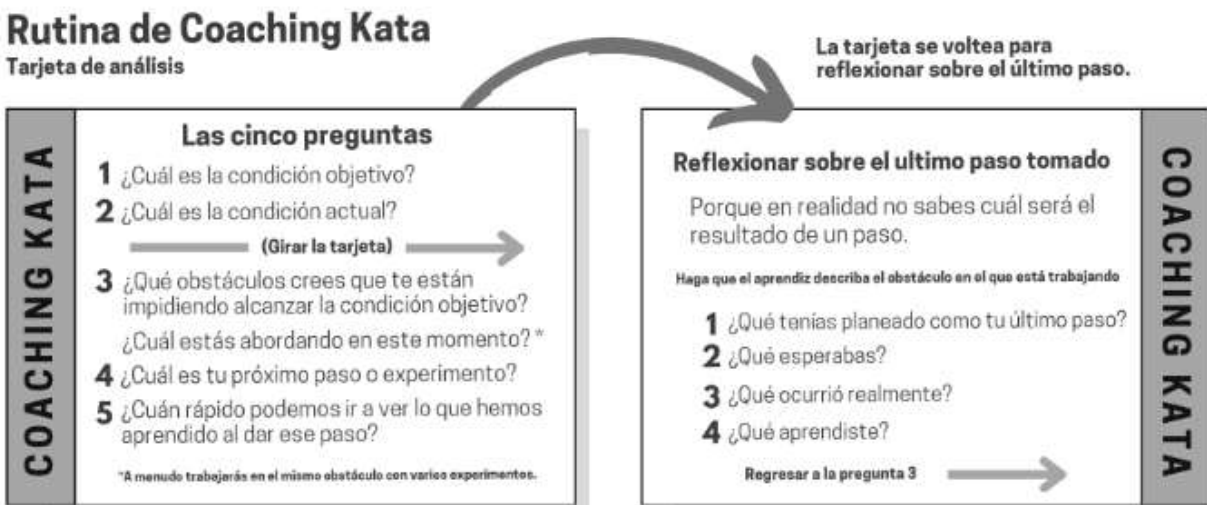
El *coaching kata* se basa en la idea de que los líderes en una organización deben actuar como entrenadores, brindando orientación a sus equipos para resolver problemas y mejorar procesos de manera constante. Fue desarrollado por Mike Rother en su libro *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results*, publicado en 2009 y se inspira en las prácticas de Toyota, conocida por su excelencia en la fabricación.

El *coaching kata* se compone de dos partes principales:

Rutina de mejora *kata*: esta rutina se enfoca en el proceso de mejora. Los líderes ayudan a los equipos a definir sus metas de mejora, identificar los obstáculos y desarrollar soluciones a través de un proceso de experimentación.

Rutina de *coaching kata*: aquí, los líderes actúan como entrenadores. Ayudan a los equipos a identificar los obstáculos que enfrentan, les hacen preguntas poderosas para guiar su pensamiento y los desafían a probar nuevas soluciones de manera experimental.

Figura 2.30: Metodología de coaching kata



Fuente: Almonacid, 2023.

2.1.34 Auditorías de control

Pirani (2025) enumera las siguientes características de las auditorías de control:

La auditoría interna y la auditoría externa son dos tipos de auditoría que tienen objetivos similares, pero con diferencias en su enfoque, alcance y función dentro de una organización.

1. Propósito y enfoque: la principal diferencia radica en su propósito. La auditoría interna se enfoca en evaluar la efectividad de controles internos, la eficiencia de las operaciones y el cumplimiento normativo dentro de la empresa. Es un proceso continuo, enfocado en mejorar la gestión de riesgos y los procesos internos. En cambio, la auditoría externa se realiza con el objetivo de examinar los estados financieros de la empresa, proporcionando una visión independiente sobre la precisión y la transparencia de la información financiera, asegurando que se ajuste a las normativas contables aplicables.

2. Independencia: los auditores internos son empleados de la organización, lo que puede generar cierta proximidad a los procesos, pero también les permite tener un conocimiento profundo de las operaciones internas. En contraste, los auditores externos son profesionales o firmas externas que no están involucradas directamente en las operaciones diarias de la organización, lo que les permite ofrecer una evaluación independiente de la situación financiera.

3. Informe de responsabilidades: los auditores internos informan principalmente a la alta dirección y al comité de auditoría dentro de la organización. Sus informes son utilizados para tomar decisiones operativas y estratégicas. Por otro lado, los auditores externos presentan su informe a los accionistas, inversionistas y otros interesados externos, garantizando la confianza en la integridad financiera de la empresa.

4. Frecuencia y duración: la auditoría interna es un proceso continuo y recurrente dentro de la organización, con auditorías que se realizan durante todo el año. En cambio, la auditoría externa se realiza generalmente una vez al año y está enfocada en los estados financieros al final del ejercicio fiscal.

En resumen, mientras que la auditoría interna se enfoca en mejorar la gestión de riesgos y la eficiencia operativa desde adentro, la auditoría externa se centra en garantizar la exactitud y la conformidad de los estados financieros para

las partes externas. Ambos tipos de auditoría son esenciales para mantener la salud financiera y operativa de la organización.

Figura 2.31: Auditoría interna



Fuente: Pirani, 2025.

2.1.35 Kaizen

Envira (2024) detalla acerca del *kaizen*:

El método de las 5S es una de las herramientas de gestión empresarial más extendidas y populares, enfocada en mejorar la productividad y la calidad en las empresas.

Se originó en Japón en la década de los 50 —más concretamente en Toyota— como parte del sistema de producción conocido como *lean manufacturing* con el objetivo de promover la eficiencia y la organización en el entorno laboral.

Beneficios de las 5S

Aplicar las 5S japonesas dentro de una organización tiene numerosos beneficios, entre ellos la mejora de la eficiencia al reducir el tiempo perdido en la búsqueda de herramientas y materiales, lo que aumenta la eficiencia operativa.

De forma inherente mejora la calidad, puesto que se reducen los errores y defectos en los productos o servicios ofertados.

La limpieza y el mantenimiento regulares crean un entorno de trabajo más seguro al eliminar posibles peligros y prevenir accidentes.

Figura 2.32: Kaizen 5S para controlar



Fuente: Envira, 2024.

2.1.36 Reuniones PDCA

ASQ Quality Press (2025) se refiere a cuándo emplear el PDCA y la explicación de cada uno de sus elementos:

Utilice el ciclo PDCA cuando:

- Iniciando un nuevo proyecto de mejora.
- Desarrollar un diseño nuevo o mejorado de un proceso, producto o servicio.
- Definición de un proceso de trabajo repetitivo.
- Planificar la recopilación y el análisis de datos para verificar y priorizar los problemas o sus causas fundamentales.
- Implementar cualquier cambio.

- Trabajando hacia la mejora continua.

El procedimiento planificar-hacer-verificar-actuar

- Planificar: reconocer una oportunidad y planificar un cambio.
- Hacer: probar el cambio. Realizar un estudio a pequeña escala.
- Comprobar: revisa la prueba, analiza los resultados e identifica lo que has aprendido.
- Actuar: actúa con base en lo aprendido en el paso de estudio. Si el cambio no funcionó, repite el ciclo con un plan diferente. Si tuviste éxito, incorpora lo aprendido en la prueba a cambios más amplios. Usa lo aprendido para planificar nuevas mejoras, comenzando el ciclo de nuevo.

Ejemplo de planificar-hacer-verificar-actuar

El distrito escolar de Pearl River, Nueva York, ganador del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en 2001, utilizó el ciclo PDCA como modelo para definir la mayoría de sus procesos de trabajo, desde la sala de juntas hasta el aula.

El modelo PDCA fue la estructura básica para el distrito:

- Planificación estratégica general.
- Análisis de necesidades.
- Diseño e impartición del currículo.
- Establecimiento de objetivos y evaluación del personal.
- Prestación de servicios estudiantiles y servicios de apoyo.
- Instrucción en el aula.

Figura 2.33: Reuniones PDCA



Fuente: ASQ Quality Press, 2025.

2.1.37 Mantenimiento productivo total (TPM)

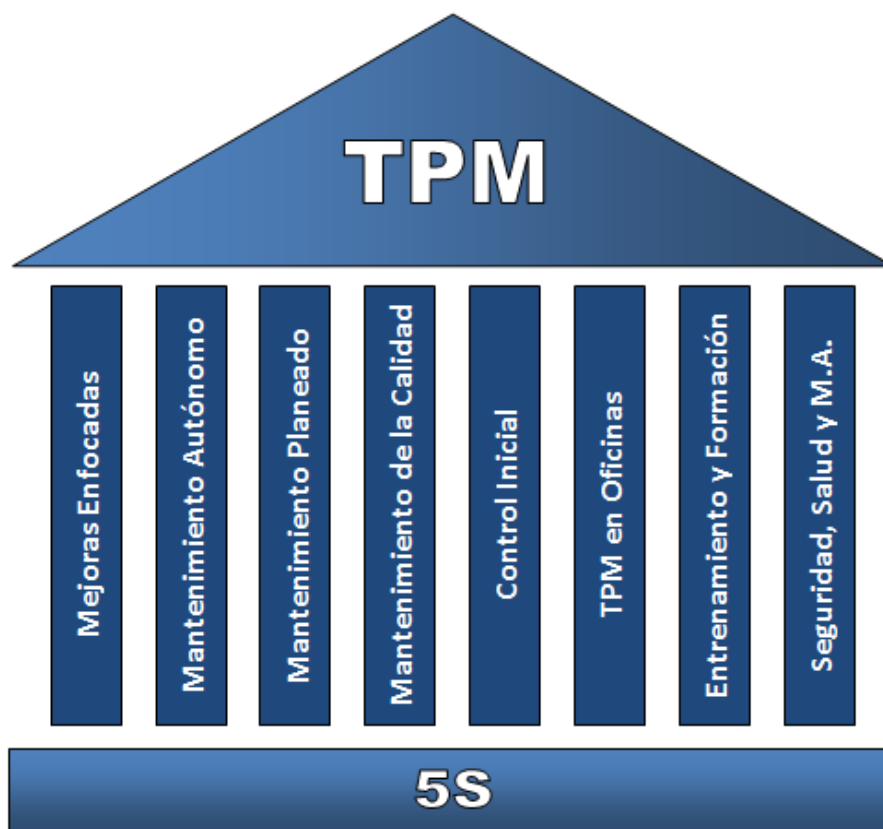
Con relación al TPM, en cuanto a su concepto y función, Sejzer (2016) indica:

El mantenimiento productivo total (TPM por las siglas en inglés de *total productive maintenance*) es un concepto acuñado por el JIPM (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta). Es una filosofía de trabajo, aplicable a sistemas de producción, que se basa en lograr tres ceros:

- Cero defectos: evitando despilfarros.
- Cero averías: evitando paros de producción.
- Cero accidentes: buscando la integridad y seguridad del personal y cuidando el medio ambiente.

El principal cambio que introduce TPM en la producción es que el personal está involucrado en todo el proceso. Quienes producen también mantienen y reparan la maquinaria, desdibujando los límites entre las áreas de producción y de mantenimiento típicas. La constante búsqueda de los tres ceros permite una mayor productividad, una drástica reducción de los costos, una mejora en los indicadores y un menor número de accidentes, tanto humanos como ambientales.

Figura 2.34: TPM



Fuente: Sejzer, 2016.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se exponen los detalles más importantes de la Municipalidad de Cartago, donde se realiza el estudio.

2.2.1 Visión/misión

La visión y misión de la institución se muestran seguidamente.

Visión

Ser una institución estratégica para el desarrollo del cantón de Cartago y el mejoramiento del bienestar humano de sus habitantes, reconocida por su capacidad de prestar servicios públicos de calidad y con excelencia, por abrir espacios para la participación ciudadana, bajo un modelo de gestión institucional transparente y eficiente (Municipalidad de Cartago, 2021).

Misión

"Brindar servicios institucionales a los habitantes del cantón de Cartago con calidad, transparencia y excelencia, fomentando la participación ciudadana y contribuyendo con ello al desarrollo humano en condiciones de equidad, igualdad y accesibilidad" (Municipalidad de Cartago, 2021).

2.2.2 Antecedentes históricos

El 23 de junio de 1563 el conquistador Juan Vázquez de Coronado, después de reunirse con varios naturales y en compañía de los padres fray Pedro de Betanzos, fray Martín de Bonilla y doce soldados, escoge el asiento para la nueva ciudad. Procede a correr el arado, para señalar el cuadrante, y nos relata así: "Tracé una ciudad en aquel valle, en un asiento junto a dos ríos. Tiene el valle tres leguas y media de largo y media de ancho; tiene muchas tierras para trigo y maíz; tiene el temple de Valladolid, buen suelo y cielo. Nombré a la ciudad Cartago, por llamarse esta provincia este nombre".

Con base en lo anterior, el Ayuntamiento de Cartago empezó a funcionar con la fundación de la ciudad en 1563, siendo la capital de la Gobernación de Nueva Cartago y Costa Rica. La Constitución Política del 22 de noviembre de 1848, en el artículo 8, estableció por primera vez las denominaciones de provincia, cantones y distritos parroquiales en el país. Y es así, que según disposición por ley n.º 36 de 7 de diciembre del mismo año, en el artículo 6, se creó Cartago como cantón número uno de la provincia del mismo nombre, con siete distritos parroquiales. En 1867 se establecieron las Ordenanzas Municipales que definían las funciones municipales en todo el país. Esta legislación fue objeto de gran cantidad de modificaciones a lo largo del siglo XX, hasta que, en 1998, se publicó el Código Municipal (Municipalidad de Cartago, 2025).

2.2.3 Ubicación geográfica

La ubicación de la institución es frente a la Plaza Mayor, Avenida Central, en la provincia de Cartago.

Figura 2.35: Mapa satelital de la Municipalidad de Cartago

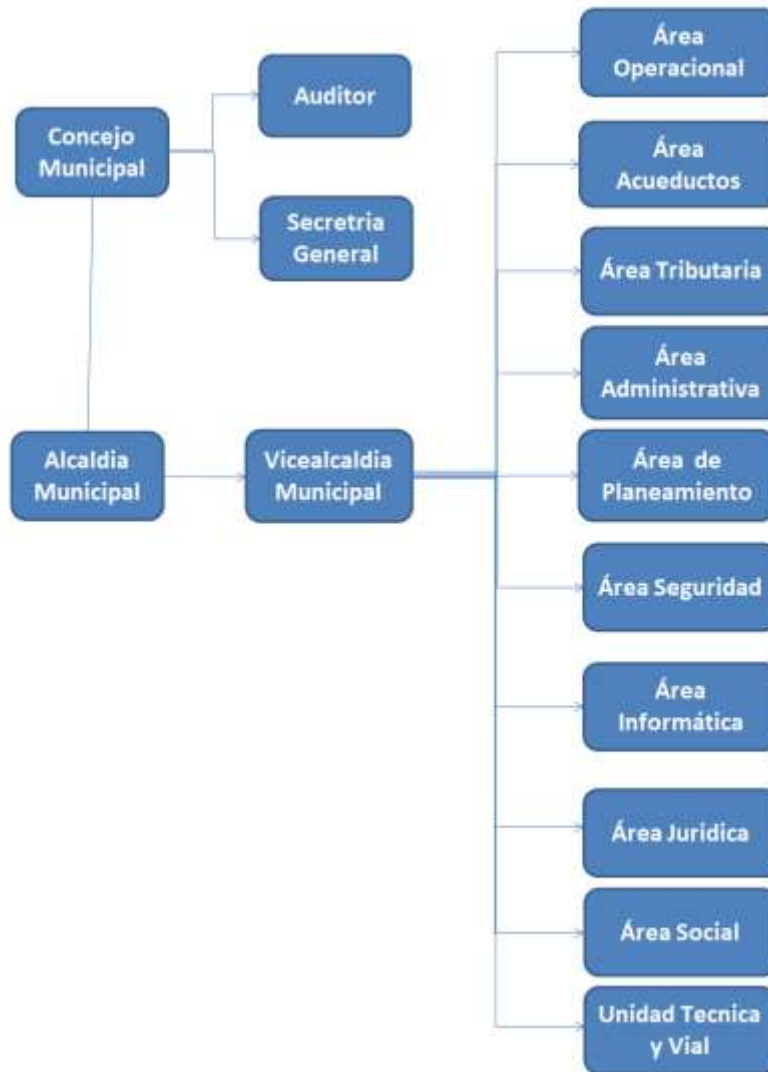


Fuente: Google Maps, 2025.

2.2.4 Estructura organizacional

La Municipalidad de Cartago anteriormente contaba con menos áreas, pero al asumir el nuevo equipo, se amplió el organigrama, como se muestra a continuación:

Figura 2.36: Organigrama de la Municipalidad de Cartago



Fuente: Municipalidad de Cartago, 2025.

La Municipalidad de Cartago consta de diez áreas que cumplen con el funcionamiento óptimo requerido para brindar el adecuado servicio a la comunidad.

El Área Técnica de Acueductos de la Municipalidad de Cartago, departamento donde se desarrolla la investigación, cuenta con el personal calificado para la atención de las averías, así como para el mantenimiento de la infraestructura, captaciones, tanques de almacenamiento, red de conducción y distribución de agua (Municipalidad de Cartago, 2025).

2.2.5 Cantidad de empleados

La institución cuenta con aproximadamente 400 colaboradores en su totalidad, quienes se desempeñan en diferentes áreas (Municipalidad de Cartago 2025).

2.2.6 Tipos de productos

La institución en estudio es la municipalidad del cantón de Cartago, la cual ofrece los servicios de acueductos y ayuntamiento estipulados por el Estado costarricense, los mismos se enumeran a continuación:

- Servicios de limpieza: recolección de basura, limpieza de parques y ornato, limpieza de vías y sitios públicos.
- Servicios de agua potable y alcantarillado: agua potable, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial.
- Servicios de construcción y mantenimiento.
- Construcción y mejora de aceras y caños.
- Construcción y mejora de puentes.
- Limpieza y mantenimiento de vías y caminos vecinales.
- Servicios sociales.
- Programas sociales para mejorar la calidad de vida de los habitantes.
- Servicios educativos sobre estilos de vida saludables.
- Ayudas técnicas para personas con discapacidad.
- Área de Cultura y Comunicación que ejecuta proyectos culturales, artísticos, turísticos, educativos, deportivos y recreativos (Municipalidad de Cartago, 2025).

Figura 2.37: Tipos de servicios de la Municipalidad de Cartago



Fuente: Municipalidad de Cartago, 2025.

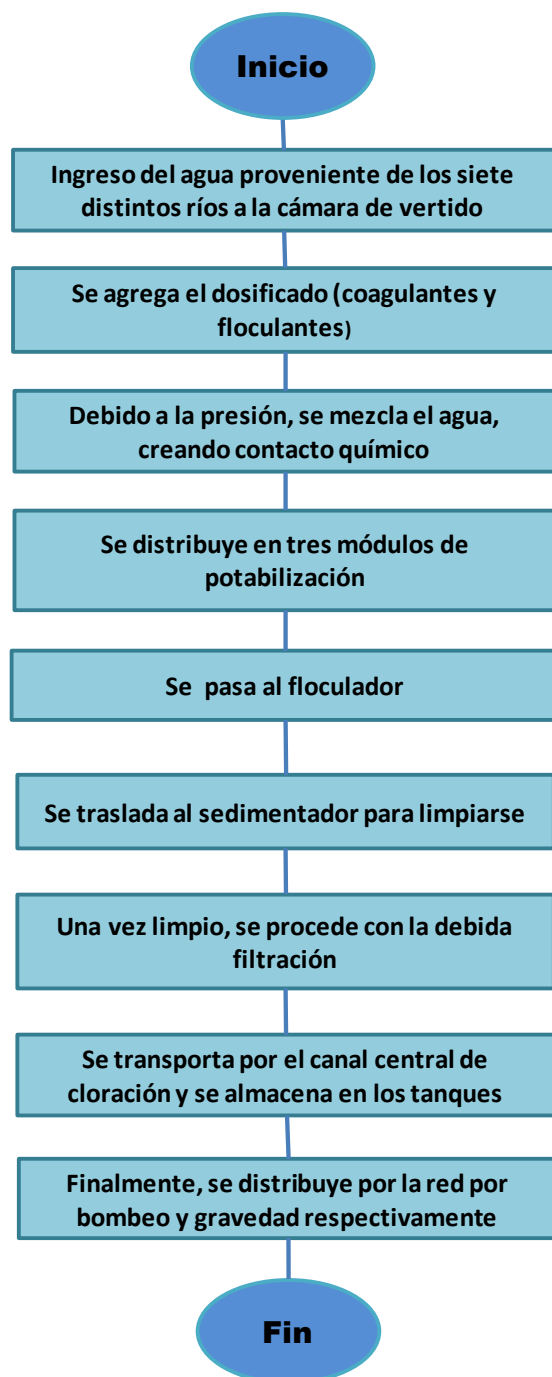
2.2.7 Mercado de exportación

Por ser un ayuntamiento local, no aplica para el mercado de exportación.

2.2.8 Descripción general del proceso productivo

La Municipalidad de Cartago ofrece diferentes servicios, como medio de descentralización y recaudador de impuestos para el Estado costarricense. A efectos de esta investigación, solo se presta atención al proceso de saneamiento de la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago.

Figura 2.38: Proceso productivo de la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso de potabilización del agua sucede de la siguiente manera:

El agua ingresa por la tubería subterránea proveniente de siete distintos ríos del sector este de Cartago. Luego, llega a la cámara de vertido, con la característica de que es muy fluctuante. Por esto, al llegar a esta cámara, se le agrega dosificantes (polímero,

sulfato de aluminio, entre otros). Ahora bien, como la caída de agua es bastante veloz, se aprovecha la presión que genera para poder mezclar el agua, creando el contacto químico. Cuando sucede correctamente este proceso, se distribuyen aproximadamente 180 litros por segundo en tres módulos de potabilización.

Después, el agua se va proporcionalmente por varios conductos y cae al floculador, lo cual permite disminuir su velocidad, esto favorece la formación del *floc*, es decir, una partícula pesada de los sólidos y materia orgánica del agua. La estructura del floculador, que es un canal con un orden en zigzag, crea formaciones circulares, similares a pelotas.

Seguidamente, el recorrido del agua continúa en el sedimentador para limpiarse más el recurso hídrico. Esta área es un tipo de pila grande en forma cónica donde las partículas pesadas bajan y quedan en el fondo. De esta manera, por los tubos superficiales se conduce agua más limpia que pasa por los filtros, cae al canal central de cloración y se almacena en los tanques. Por último, el agua se distribuye por la red mediante gravedad o un sistema de bombeo.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se desarrolla en un enfoque mixto, el cual permite combinar dos métodos de enfoque: el cualitativo y el cuantitativo, como lo comentan Hernández y Mendoza (2018) a continuación:

La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales. [...]

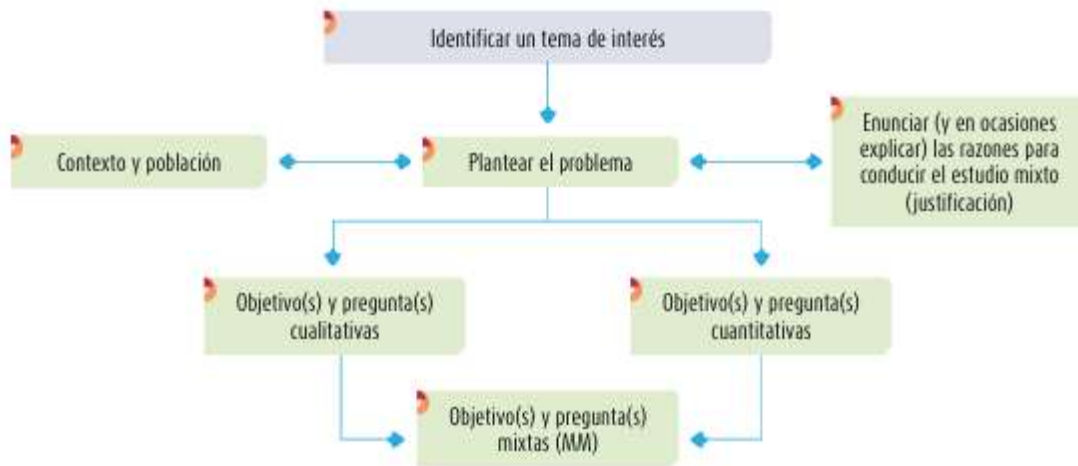
La investigación mixta se utiliza y ha avanzado debido a que los fenómenos y problemas que enfrentan actualmente las ciencias son tan complejos y diversos [...] (pp. 628, 663).

De este modo, el enfoque de investigación profundiza en identificar las posibles causas que afectan el área en estudio para ofrecer una propuesta de mejora.

Además, cabe resaltar que el uso del método mixto expande el análisis de las diversas características de los sistemas existentes en la actualidad, ya que un solo método limitaría el adecuado estudio. Hernández et al. (2014) mencionan:

Un factor adicional que ha detonado la necesidad de utilizar los métodos mixtos es la naturaleza compleja de la gran mayoría de los fenómenos o problemas de investigación abordados en las distintas ciencias. Estos representan o están constituidos por dos realidades, una objetiva y la otra subjetiva (p.536).

Figura 3.1: Flujo del proceso de plantear problemas de investigación mixta



Fuente: Hernández et al., 2014.

El método mixto ayuda a analizar las variables de este proyecto de investigación de una mejor forma, pues las condiciones del agua que entra a la planta están sujetas a cambios en su comportamiento debido a distintos factores, como lo son las condiciones climáticas y el consumo del líquido de los usuarios en un día determinado.

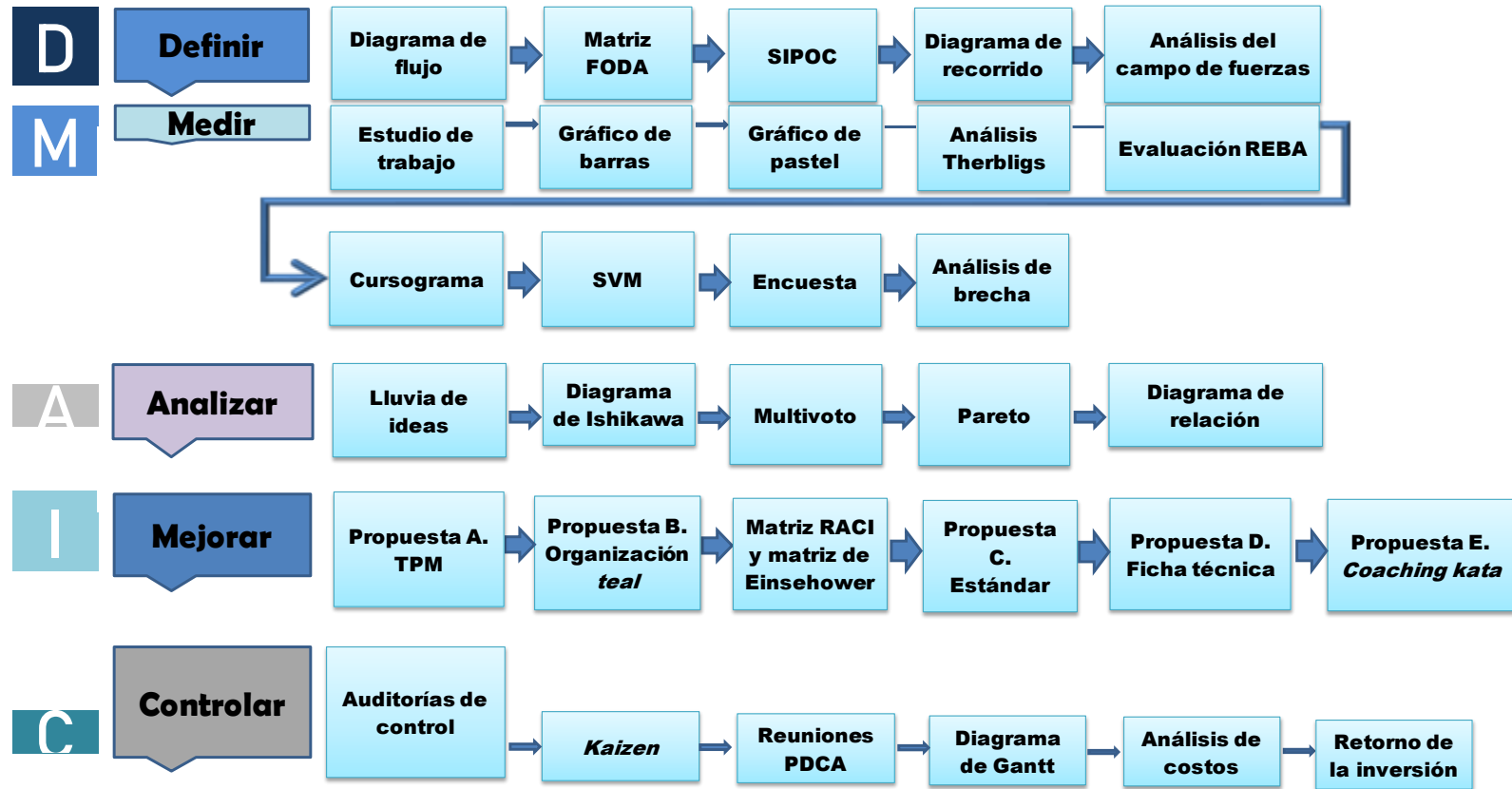
Al darse esas variaciones, no solo deben considerarse las variables físicas medibles (caudales, niveles de tanques), sino también las variables cualitativas como el color, olor, entre otras.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación se desarrolla mediante la metodología DMAIC y el estudio de métodos de trabajo, que evalúan las situaciones existentes en el campo por medio de herramientas ingenieriles, lo cual permite establecer propuestas de mejora que luego puedan implementarse en la institución.

Entre las características de la metodología por aplicar, cabe mencionar que es descriptiva y no experimental, porque se formula una propuesta que se somete a evaluación por el área de trabajo en estudio.

Figura 3.2: DMAIC



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La información utilizada en este proyecto se obtiene por medio de la recolección de datos, mediante la colaboración de varios trabajadores, quienes son el encargado de la planta, los operadores de planta y el personal del Departamento de Acueductos de la Municipalidad de Cartago.

El proyecto investigativo no cuenta con documentación histórica de los procesos, por ello, mucha de la información se obtiene a partir de los colaboradores y participantes en el proceso. Al respecto, Hernández et al. (2014) explican:

Cualquier especialista lo realiza utilizando diversas fuentes de información y tipos de datos: a) pruebas de laboratorio (mediciones estandarizadas que producen datos cuantitativos), b) entrevista a profundidad en la cual se incluyen preguntas cerradas (como la edad, si se es o no fumador, si se han padecido ciertas enfermedades, tipo de ejercicio físico que se practica y tiempo que se le dedica diariamente a ello, etc.) y abiertas (sobre el estilo de vida qué tan sedentario es, cuáles son los hábitos alimenticios, etc., antecedentes familiares, el tipo de trabajo y otras fuentes potenciales de estrés), y c) historial clínico (con datos visuales como una radiografía, determinadas gráficas, anotaciones interpretativas y mediciones anteriores). Es decir, se recolectan y analizan datos cuantitativos y cualitativos y la interpretación es producto de toda la información en su conjunto (p. 534).

Solo en cuanto a la información cuantitativa de costos de la planta, se tiene un pequeño rango de información.

3.3.1 Sujetos de información

Los sujetos son el encargado de la planta, cinco operadores de planta y cinco personas del Departamento de Acueductos, que están directamente relacionados con el proceso de potabilización de agua. A efectos de la encuesta, se toma en cuenta al personal mencionado del Departamento de Acueductos de la Municipalidad de Cartago.

Los sujetos de información, como participantes en la recolección de datos, están debidamente informados y autorizados para facilitar todos los datos que permitan la adecuada evaluación.

Referente al acta de constitución del proyecto, es la siguiente:

Tabla 3.1: Acta de Constitución del Proyecto

Acta de constitución del proyecto	
Fecha: 15/2/2025	Nombre del proyecto: Propuesta de registro de procesos mediante la metodología DMAIC y métodos de trabajo de la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago
Miembro: Estudiante Jorge Alexander Solís Obando	Área de aplicación, interesado del proyecto: Planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago
Fecha de inicio: feb-25	Fecha final del proyecto: dic-25
Objetivos del proyecto	
Objetivo general	
Diseñar una propuesta de estandarización para el proceso de purificación del agua en la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago, mediante la aplicación de la metodología DMAIC y un análisis de brecha por medio de la norma ISO 24512-2024, que permita disminuir la variabilidad del proceso en al menos un 5 % del Área de Acueductos.	
Objetivos específicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el ciclo operacional de la potabilización del agua por medio de métodos que ayuden a detectar las posibles causas. • Documentar cada procedimiento mediante la toma de tiempos y el uso de instrumentos, con la finalidad de visualizar el estado cuantitativo del proceso. • Elaborar una propuesta de estandarización de procesos generales por medio de herramientas ingenieriles que permitan controlar la estandarización. • Elaborar métodos universales para la elaboración de cada tarea en el proceso de potabilización del agua, basándose en la ISO 24512:2024, con el propósito de gestionar adecuadamente la planta potabilizadora y, así, disminuir en un 5 % la afectación en el proceso. 	
Descripción del producto:	Proceso de potabilización del agua
Justificación:	
La planta potabilizadora de agua es de gran importancia para la sociedad, ya que el consumo de este líquido es vital para la subsistencia de los seres vivos y, en este caso, de la misma dependen aproximadamente 150 000 habitantes del cantón central de Cartago. Además, por la administración de insumos, que son de bien gubernamental y de gran importancia en la potabilización del agua cruda, debe ser mucho más exigente con sus procesos y, por consiguiente, tiene una responsabilidad mayor. La razón por la que se efectúa el estudio consiste en brindar alternativas que permitan mejorar los procesos, con el fin de abastecer las comunidades e industrias. Asimismo, proponer un registro de estandarización de métodos de trabajo que impacten de forma positiva al ente gubernamental y la sociedad en general.	
Posible restricción:	En cuanto a las limitaciones, no existe un archivo o base de datos de los procesos. También, la institución solicitó confidencialidad de algunos datos que considera información sensible para la administración gubernamental.
Clientes directos:	Cantón central de Cartago
Clientes indirectos:	Acueducto de la Municipalidad de Cartago
Líder del proyecto de investigación:	Jorge Alexander Solís Obando

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

A continuación, se observa la tabla de variables:

Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
<p>Analizar el ciclo operacional de la potabilización del agua por medio de métodos que ayuden a detectar las posibles causas.</p>	<p>Proceso de entrada y salida del agua</p>	<p>El análisis de los procesos es el estudio secuencial de cómo se obtiene un producto o servicio mediante una serie de pasos.</p>	<p>Analizar la situación actual, por medio de la observación y escucha de los procesos, para comprender la funcionalidad del área.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DMAIC. ▪ Diagrama de flujo. ▪ Matriz FODA. ▪ SIPOC. ▪ Diagrama de recorrido. ▪ Análisis del campo de fuerza.
<p>Documentar cada procedimiento mediante la toma de tiempos y el uso de instrumentos, con la finalidad de visualizar el estado cuantitativo del proceso.</p>	<p>Medir y documentar el proceso</p>	<p>La documentación es un proceso mediante el que se registra la información de cómo se ejecutan las tareas a partir de herramientas de medición y otras.</p>	<p>Digitalizar y medir los tiempos del proceso en estudio y mejora.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudio de trabajo. ▪ Productividad. ▪ Gráfico de barras. ▪ Evaluación REBA. ▪ Análisis Therbligs. ▪ Cursograma. ▪ VSM. ▪ Gráfico de pastel. ▪ Encuesta. ▪ Análisis de brecha.

<p>Elaborar una propuesta de estandarización de procesos generales por medio de herramientas ingenieriles que permitan controlar la estandarización.</p>	<p>Mejora del proceso</p>	<p>Conjunto de acciones y tareas que sirven como una guía estandarizada para un lugar específico.</p>	<p>Crear una guía detallada de cómo suceden las cosas paso a paso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Histograma. ▪ Lluvia de ideas. ▪ Diagrama de relación. ▪ Diagrama de Pareto ▪ Multivoto. ▪ Diagrama de Ishikawa.
<p>Proponer métodos universales para la elaboración de cada tarea en el proceso de potabilización del agua, basándose en la ISO 24512:2024, con el propósito de gestionar adecuadamente la planta potabilizadora y, así, disminuir en un 5 % la afectación en el proceso.</p>	<p>Brindar soluciones</p>	<p>Por medio de todo el análisis, medición y recolección de la información, se brindan alternativas óptimas.</p>	<p>Con la totalidad de la información y análisis, se facilita ofrecer posibles propuestas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propuesta A, B, C, D y E. ▪ Diagrama de Gantt. ▪ Análisis ROI. ▪ Análisis de costos ▪ Reuniones PDCA. ▪ <i>Kaizen</i>. ▪ Auditorías de control.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5 INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados para esta investigación se validan por expertos y se aprueban por el director del Área Técnica de Acueductos de la Municipalidad de Cartago. Estos se enumeran seguidamente:

- La observación: permite visualizar los procesos y comportamientos del personal sin alterar el funcionamiento. Ruiz (2015) la define de la siguiente manera: “Es una técnica que consiste en observar el fenómeno, hecho o evento y obtener información y registrarla para su posterior análisis” (p. 2).

En cuanto a esta, se revisa y analiza el funcionamiento del sistema de la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago.

- Entrevistas y encuesta: se aplican entrevistas a las partes principales e involucradas en el área. El método es confidencial y se utilizan preguntas claves para la propuesta de mejora. De acuerdo con Lifeder (2022), “son una técnica utilizada para recopilar y analizar datos. Se realizan a través de preguntas que permiten establecer un diálogo entre entrevistador y entrevistado”.
- Herramientas ingenieriles: las herramientas ingenieriles que se desarrollan en el proceso facilitan visualizar y obtener las posibles causas respecto al problema que experimenta el área y, a su vez, las posibles propuestas de solución.
- Recorrido y bitácora: mucha información del proceso se recopila de la bitácora o libro de eventos y de los recorridos con los operarios durante el proceso. Hernández et al. (2014) resaltan:

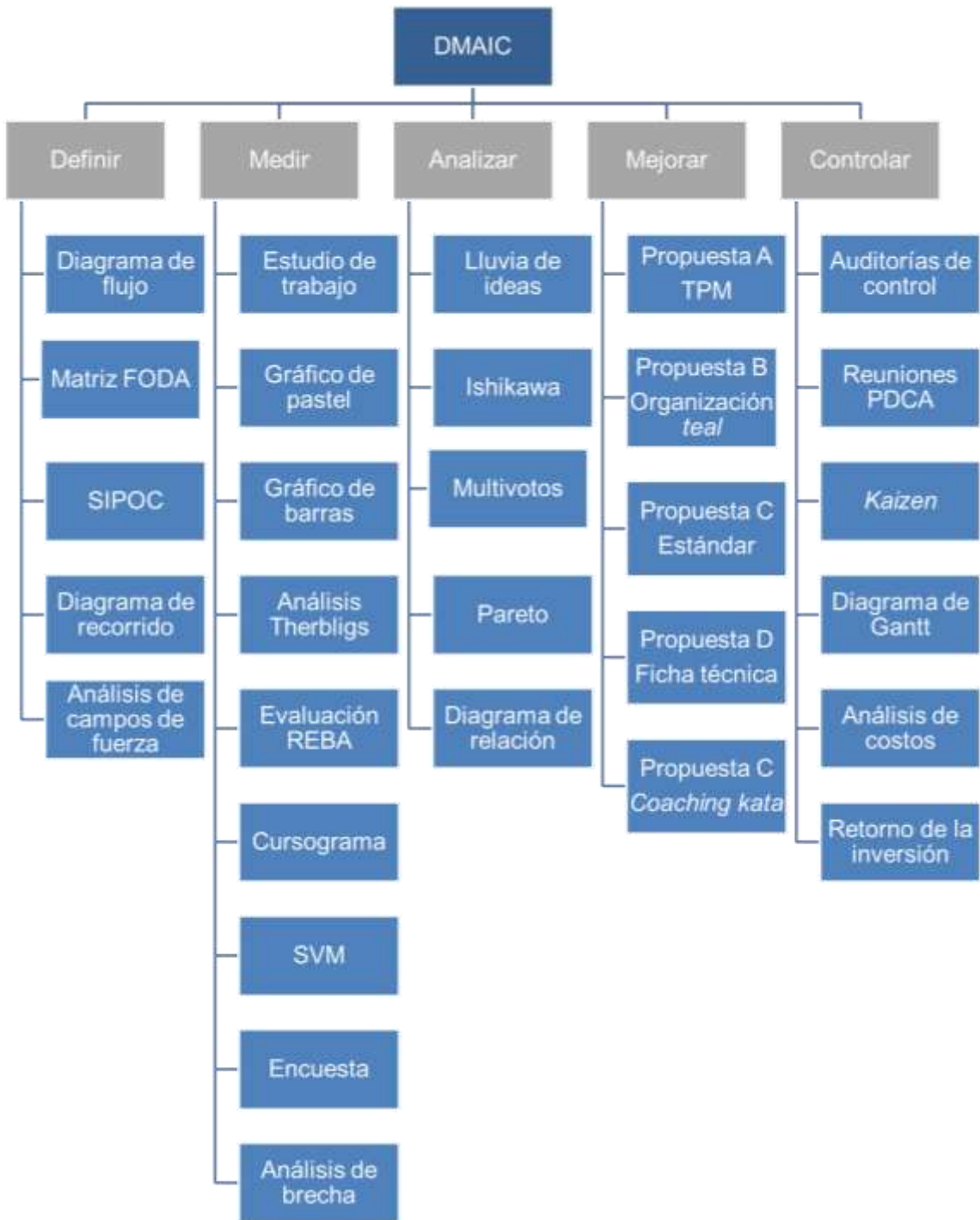
Es muy necesario llevar registros y elaborar anotaciones durante los eventos o sucesos vinculados con el planteamiento. De no poder hacerlo, la segunda alternativa es efectuarlo lo más pronto posible después de los hechos. Como última opción las anotaciones se producen al terminar cada periodo en el campo (al momento de un receso, una mañana o un día, como máximo). (p. 370).

- Datos históricos: muchos datos obtenidos en el proceso de investigación son extraídos de otras áreas o departamentos de la Municipalidad de Cartago, con el fin de obtener datos históricos que evidencien la situación del proyecto.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

El siguiente esquema muestra el orden secuencial de cómo se ejecutan las herramientas por medio del método DMAIC, para obtener los datos y efectuar el análisis óptimo. Las herramientas utilizadas posibilitan la recolección de información y lograr cifras significativas. El análisis de datos es cuantitativo, cualitativo y no experimental.

Figura 3.3: Esquema de recolección de datos mediante el DMAIC



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El diagrama de Gantt es una herramienta ingenieril que permite distribuir tareas, así como aumentar la efectividad y el cumplimiento de las mismas de una manera periódica según las fechas establecidas.

En este caso, muchas de las fechas se pueden modificar ya que están sujetas a las fechas importantes determinadas por la Universidad Central y los avances solicitados por la tutora a cargo.

A continuación, se expone el diagrama de Gantt para este proyecto:

Tabla 3.3: Diagrama Gantt Desarrollo del Proyecto

	Mayo 2025					Junio 2025					Julio 2025					Agosto 2025				
Objetivos específicos	SEMANAS																			
Objetivos específicos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Analizar las formas y modos de realizar cada proceso de los diferentes sistemas, mediante un mapeo de procesos	■	■	■	■	■															
Documentar cada procedimiento, mediante la toma de tiempos y análisis de movimiento para cada colaborador			■	■	■	■	■	■	■	■										
Elaborar un manual de procesos generales, mediante diagramas de proceso					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Proponer métodos universales para la elaboración de cada tarea en el proceso de potabilización del agua														■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Elaboración propia, 2025.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La investigación se desarrolla en la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago. Al respecto, recientemente se adquirió su administración, situación por la que existe una variabilidad de procesos y lineamientos en la ejecución de las tareas al no estar estandarizadas ni documentadas. Por esa razón, en este capítulo se aplican herramientas ingenieriles con la metodología DMAIC.

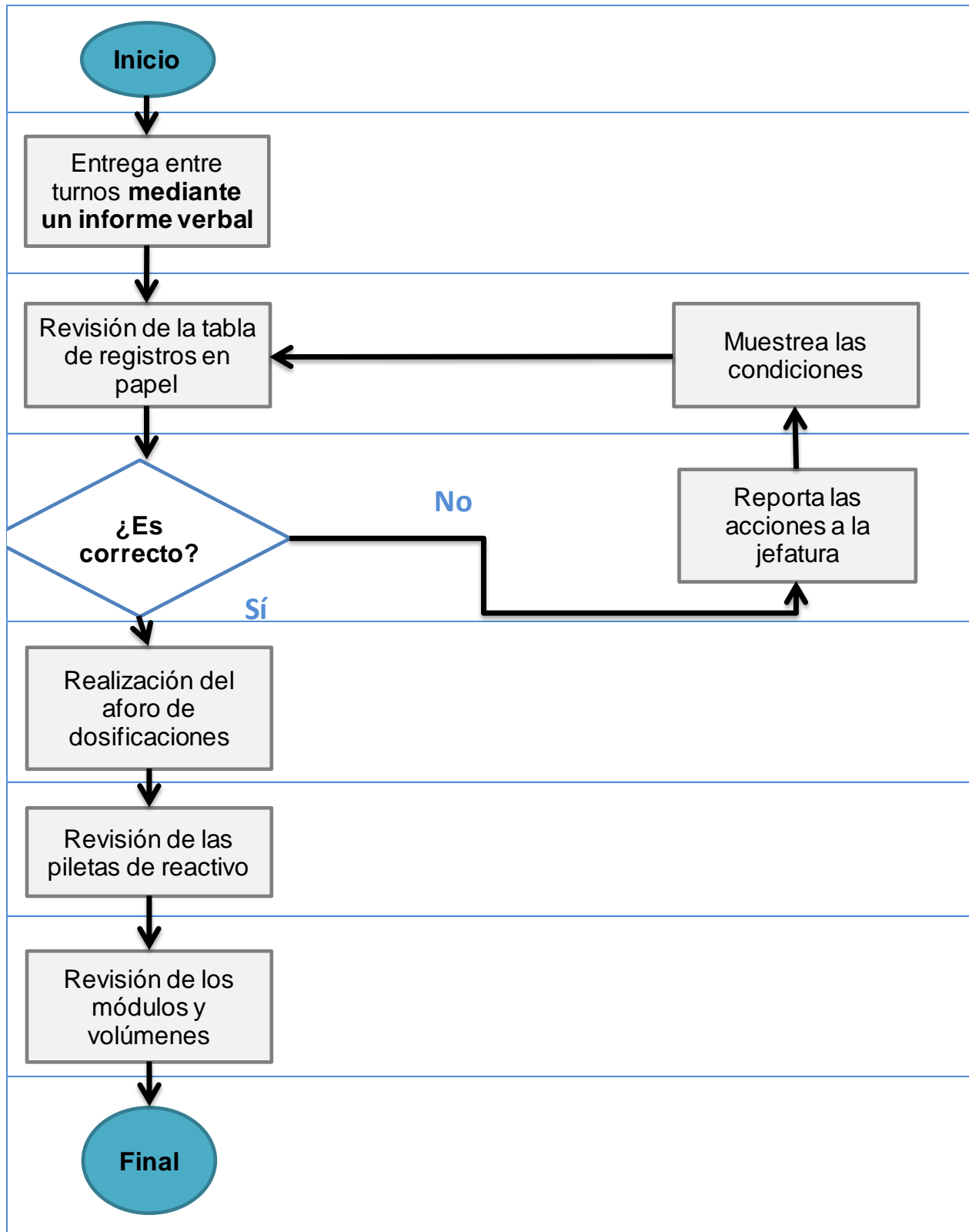
4.1 DEFINIR

La finalidad de este apartado es detectar, mediante el uso de diversas herramientas ingenieriles, los problemas experimentados por la empresa o el área en estudio y las condiciones e indicios que pueden influir, con el propósito de exponer, explicar y entender de una manera más clara cada uno de los procesos realizados en la planta potabilizadora de agua de la Municipalidad de Cartago.

4.1.1 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es una herramienta que permite explicar los flujos de información de los procesos en las empresas de una manera sistemática, despejada y sencilla. Estos diagramas pueden ser desde simples a más complejos y extensos, según el sentido que se le dé a esta herramienta.

Figura 4.1: Diagrama de flujo de la planta potabilizadora



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el anterior diagrama de flujo, se muestra el proceso general en la planta potabilizadora. De esta forma, se aprecia cada uno de los pasos que deben seguir los operadores de la planta potabilizadora y, por ende, todo lo que conlleva realizar las funciones asociadas con la potabilización del agua.

En la planta se manejan tres turnos, por eso, el primer paso es recibir un informe verbal de las condiciones en que se entrega y recibe la planta. Luego, se revisan las tablas donde manualmente se anotan las condiciones del agua a la entrada, durante el proceso de potabilización y a su salida hacia los tanques de almacenamiento.

Una vez revisado si hay inconsistencias o alteraciones en el estado del agua, se consulta e informa a la jefatura y se procede a realizar un muestreo de condiciones generales de la planta, que consiste en tomar una cantidad de agua con un muestreador. Esta agua se recolecta de los floculadores y los filtros, se traslada al laboratorio para ejecutar distintas pruebas con instrumentos y se esperan los resultados, que pueden oscilar entre los 8 a 15 minutos.

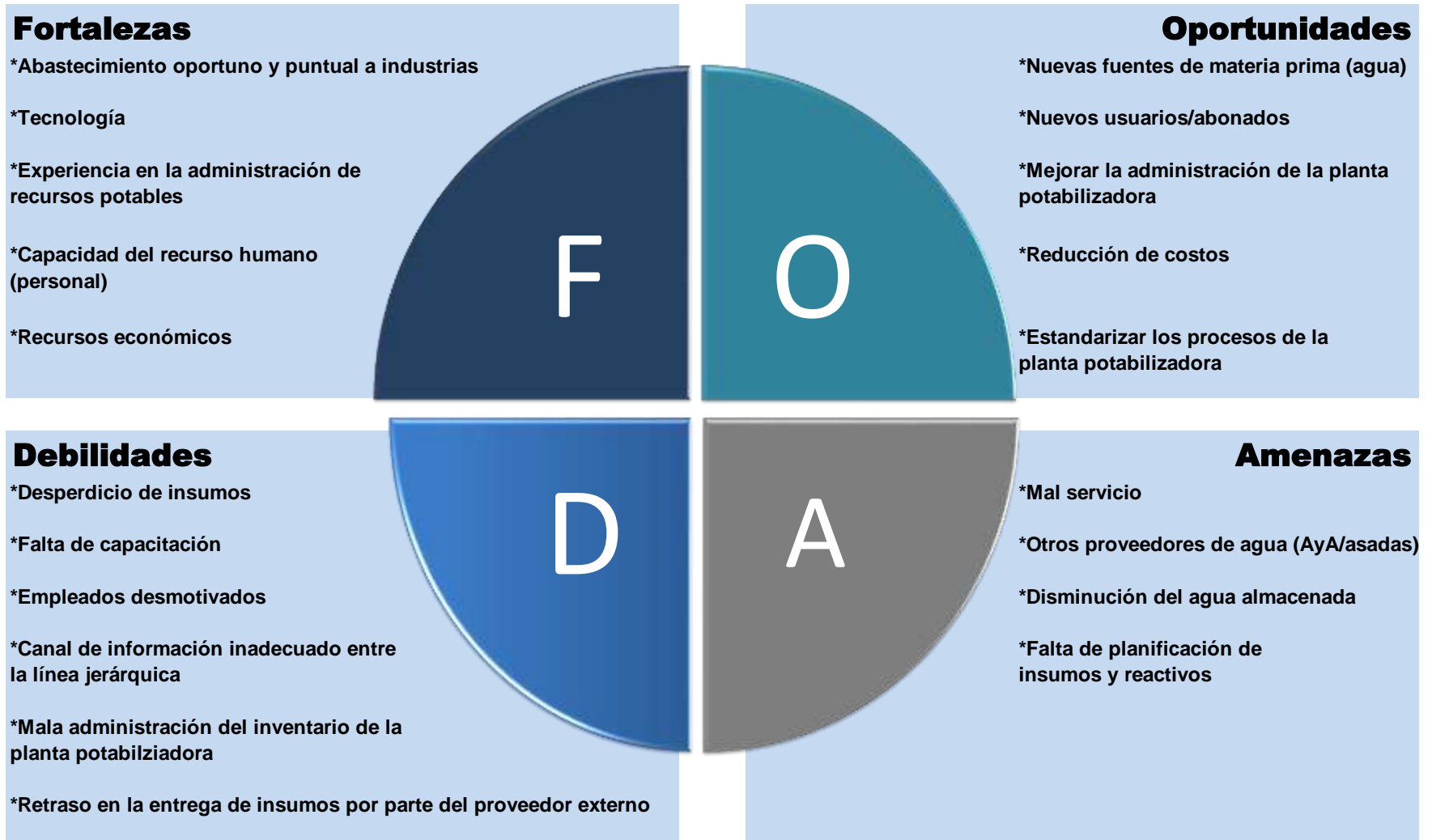
Si todo está dentro de los rangos normales, se efectúa un aforo de dosificaciones; no obstante, si hay condiciones que no son normales, se le pasa un informe a la jefatura junto con las acciones por llevar a cabo para normalizar la situación y lograr rangos aceptables en la producción de agua.

Después del aforo de dosificaciones, se hace una revisión de las piletas de reactivo para procurar tener una cantidad que permita trabajar sin interrupciones durante el turno. Posterior a la revisión de las piletas, se efectúa un recorrido por los módulos y se revisa el estado de cada válvula presente en el proceso.

4.1.2 FODA

El FODA es un análisis profundo de las bases del negocio al determinar sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en función de obtener el máximo beneficio a favor de la empresa.

Figura 4.2: FODA



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se describe el FODA:

Fortalezas

- Abastecimiento oportuno y puntual a industrias: se busca cumplir y ofrecer el recurso hídrico, porque además de un servicio, es una oportunidad a otros beneficios para la comunidad en cuestiones de empleo.
- Tecnología: existe un equipo con el conocimiento y los recursos necesarios para crear alternativas nuevas y tecnológicas en distintas áreas de la institución.
- Experiencia en la administración de recursos potables: la Municipalidad de Cartago se encuentra entre los principales proveedores de agua que tienen un control riguroso y métodos de administración modernos.
- Capacidad del recurso humano (personal): cuenta con el personal óptimo y necesario para cubrir las necesidades de la institución y cumplir el compromiso con la comunidad.
- Recursos económicos: por la cantidad de abonados y los recursos disponibles por parte del Estado, para el desarrollo de cada comunidad se administran y distribuyen razonablemente los recursos económicos, con el propósito de no afectar el funcionamiento normal de la entidad.

Oportunidades

- Nuevas fuentes de materia prima (agua): existen otras fuentes o nacientes disponibles que pueden adquirirse o llegarse a tratados para obtener más materia prima.
- Nuevos usuarios/abonados: a pesar de que en términos territoriales y de otros cobros del ayuntamiento, el cantón central pertenece a la Municipalidad de Cartago, hay un porcentaje que cuenta con otros proveedores de recurso hídrico; por ello, se deben adquirir nuevos abonados y expandir el servicio.
- Mejorar la administración de la planta potabilizadora: como es una administración reciente, requiere de un análisis adecuado. En cuanto a esto, con la investigación que se realiza, se identifican puntos de mejora significativos.

- Reducción de costos: la reducción de costos es un proceso que beneficia la administración del dinero.
- Estandarizar los procesos de la planta potabilizadora: para el traslado de conocimientos, es importante tener una línea única que impida una alteración o pérdida del proceso.

Debilidades

- Desperdicio de insumos: debido a maniobras independientes entre operarios, existen variables en el uso y consumo de insumos.
- Falta de capacitación: una vez establecidos los lineamientos paso a paso, es importante realizar una capacitación del proceso y mantener un constante acercamiento con los empleados con retroalimentaciones.
- Empleados desmotivados: por la ubicación y la distancia de la jefatura, existe una falta de acompañamiento y entendimiento en cuanto a situaciones que se desconocen.
- Canal de información inadecuado entre la línea jerárquica: se requiere un método para comunicar información de forma constante, debido a los cambios que puedan llevarse a cabo, y al que todos tengan acceso.
- Mala administración del inventario de la planta potabilizadora: no existe un sistema o control de inventario adecuado en la planta.
- Retraso en la entrega de insumos por parte del proveedor externo: debido a la falta de planificación y control, el proveedor recibe la solicitud de los pedidos en períodos inadecuados o muy cortos; por ello, las entregas se distancian o no coinciden con las necesidades en planta.

Amenazas

- Mal servicio: la atención y el trato requieren refuerzo y atención para mejorar el servicio.
- Otros proveedores de agua (AyA/asadas): mientras existan puntos de mejora en la administración recientemente adquirida, para otros proveedores surge la oportunidad de aumentar su cobertura de servicios a abonados disponibles.

- Disminución del agua almacenada: ante un mal proceder en la potabilización del recurso hídrico, se amenaza con el agotamiento o disminución de este.
- Falta de planificación de insumos y reactivos: es un riesgo a nivel económico y de funcionalidad no planificar correctamente los insumos y reactivos.

4.1.3 Matriz FODA

La matriz FODA es un instrumento que permite abordar puntos de mejora al proyectarse estrategias que aprovechan al máximo las oportunidades del negocio.

Tabla 4.1: Matriz FODA

Factores externos Factores internos	Oportunidades-aprovecharlas	Amenazas-superarlas
		<ul style="list-style-type: none"> *Nuevas fuentes de materia prima (agua) *Nuevos usuarios/abonados *Mejorar la administración de la planta potabilizadora *Reducción de costos *Estandarizar los procesos de la planta potabilizadora
Fortalezas-explorarlas	Estrategias FO-crecimiento	Estrategias FA-defensivas
<ul style="list-style-type: none"> *Abastecimiento oportuno y puntual a industrias *Tecnología *Experiencia en la administración de recursos potables *Capacidad del recurso humano (personal) *Recursos económicos 	<ul style="list-style-type: none"> *Atraer nuevos abonados o usuarios por medio de ideas innovadoras y la adquisición de nuevas fuentes de recurso hídrico *Aprovechar la tecnología para implementar nuevos sistemas que reduzcan los procesos manuales y administrativos de la planta potabilizadora 	<ul style="list-style-type: none"> *Mejorar el servicio para aumentar la demanda al atender prontamente las incidencias y, así, no permitir que otros proveedores afecten los ingresos *Intensificar adecuadamente la administración de la planta potabilizadora, para desarrollar una planificación más efectiva
Debilidades-minimizarlas	Estrategia DO-refuerzos	Estrategia DA-supervivencia o retiro
<ul style="list-style-type: none"> *Desperdicio de insumos *Falta de capacitación *Empleados desmotivados *Canal de información inadecuado entre la línea jerárquica *Mala administración del inventario de la planta potabilizadora *Retraso en la entrega de insumos por parte del proveedor externo 	<ul style="list-style-type: none"> *Capacitar al personal para mejorar la administración de la planta potabilizadora *Reducir los desperdicios de insumos y, con ello, disminuir los costos de la planta potabilizadora *Motivar al personal mediante un análisis y aplicación adecuada del canal de información de asuntos importantes 	<ul style="list-style-type: none"> *Eliminar el mal servicio mediante la motivación y capacitación *Planificar las solicitudes de insumos y reactivos para evitar retrasos en la necesidad de insumos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez desarrollado el FODA, se obtiene una matriz estratégica que busca minimizar las dificultades o lo que no se desea, y aumentar las ventajas y posibilidades de mejora en la institución.

Las cuatro estrategias mencionadas en esta investigación son parte de un proceso importante en la gestión de recursos hídricos, pero se debe tomar el camino más familiarizado con el proyecto. Por lo tanto, inicialmente se eligen las estrategias DO y DA, en las cuales la prioridad es mejorar la administración, gestión y lineamientos, lo que posibilita reducir los reprocesos en la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago.

Tabla 4.2: Estrategia DO y DA

Estrategia DO-refuerzos	Estrategia DA-supervivencia o retiro
<p>*Capacitar al personal para mejorar la administración de la planta potabilizadora</p> <p>*Reducir los desperdicios de insumos y, con ello, disminuir los costos de la planta potabilizadora</p> <p>*Motivar al personal mediante un análisis y aplicación adecuada del canal de información de asuntos importantes</p>	<p>*Eliminar el mal servicio mediante la motivación y capacitación</p> <p>*Planificar las solicitudes de insumos y reactivos para evitar retrasos en la necesidad de insumos</p>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se detallan las cuatro estrategias:

Estrategia DO

- Capacitar al personal para mejorar la administración de la planta potabilizadora.
- Reducir los reprocesos que ocasionan desperdicios de insumos y costos mayores en la planta potabilizadora.
- Motivar al personal mediante un análisis y aplicación adecuada del canal de información de asuntos relevantes.

Estrategia DA

- Eliminar el mal servicio mediante la motivación y capacitación.
- Planificar las solicitudes de insumos y reactivos para evitar retrasos en la necesidad de insumos.

Estrategia FO

- Atraer nuevos abonados o usuarios por medio de ideas innovadoras y adquisición de nuevas fuentes de recurso hídrico.
- Aprovechar la tecnología para implementar nuevos sistemas que reduzcan los procesos manuales y de administración de la planta potabilizadora.

Estrategia FA

- Mejorar el servicio para aumentar la demanda al atender prontamente las incidencias y, así, no permitir que otros proveedores afecten los ingresos.
- Intensificar adecuadamente la administración de la planta potabilizadora, para desarrollar una planificación más efectiva.

4.1.4 SIPOC

El SIPOC es una caracterización de los procesos al analizar los puntos clave de estos, desde el análisis de proveedores hasta los clientes finales.

Tabla 4.3: SIPOC

S	I	P	O	C
Proveedor	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Centro de control	Información de las condiciones en el sistema	Consulta vía telefónica o por mensaje de texto de la situación del momento	Informe de las condiciones del agua en la planta potabilizadora	Departamento de Acueductos
Almacén	Necesidad de insumos	Se solicita vía correo electrónico el pedido correspondiente	Pedido de insumos	Planta potabilizadora
AyA	Proveedor de agua cruda	Tranportar el agua en el embalse a las líneas de conducción	Agua cruda	Usuarios/planta potabilizadora
Proveedores industriales	Insumos químicos y reactivos	Se envía el pedido de insumos químicos y reactivos	Insumos para almacén	Almacén/planta potabilizadora

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el SIPOC de este proyecto, se identifican cuatro proveedores, a saber:

- Centro de control: esta área, perteneciente al Departamento de Acueductos, se encarga de controlar los rangos de recurso hídrico en los distintos tanques de almacenamiento y administra una distribución equitativa para todos los habitantes.
- Almacén.
- AyA: institución encargada de distribuir el recurso hídrico a otros consumidores, es totalmente ajena a la planta potabilizadora.

- Proveedores industriales: empresas que brindan insumos necesarios para la potabilización del agua.

También, se determinan cuatro entradas, que son las siguientes:

- Información de las condiciones en el sistema: muchas de las maniobras ejecutadas por el centro de control requieren de movimientos de agua de distintas válvulas y reservas, de las cuales la planta potabilizadora es de las principales.
- Necesidad de insumos: la administración de distintos insumos puede variar por las condiciones atmosféricas que causan un caudal muy sucio, por lo tanto, se requiere de mayor insumo. Sin embargo, en otras ocasiones la variabilidad es por maniobras distintas entre los operarios de la planta potabilizadora.
- Proveedor de agua cruda: en este caso proviene del embalse, que lo administra el AyA.
- Insumos químicos y reactivos: sulfato de aluminio, carbón activado e hipoclorito de calcio.

A su vez, en cuanto a los procesos, estos son:

- Consulta vía telefónica de la situación del momento: debe existir una línea de comunicación que no afecte al consumidor final, es decir, la población.
- Solicitud del pedido correspondiente por medio de correo electrónico.
- Transporte de agua cruda a través de las líneas de conducción.
- Hacer pedidos de insumos químicos.

Ahora bien, entre las salidas, se enumeran las siguientes:

- Informe de las condiciones del agua en la planta potabilizadora: este informe se ejecuta manualmente en bitácoras.
- Pedido de insumos: se solicitan al almacén de acuerdo con la necesidad.
- Obtención de agua cruda: es la que ingresa por medio del embalse.
- Insumos para almacén: los insumos los registra el almacén y los traslada al cliente interno según corresponda.

Por último, los clientes corresponden a:

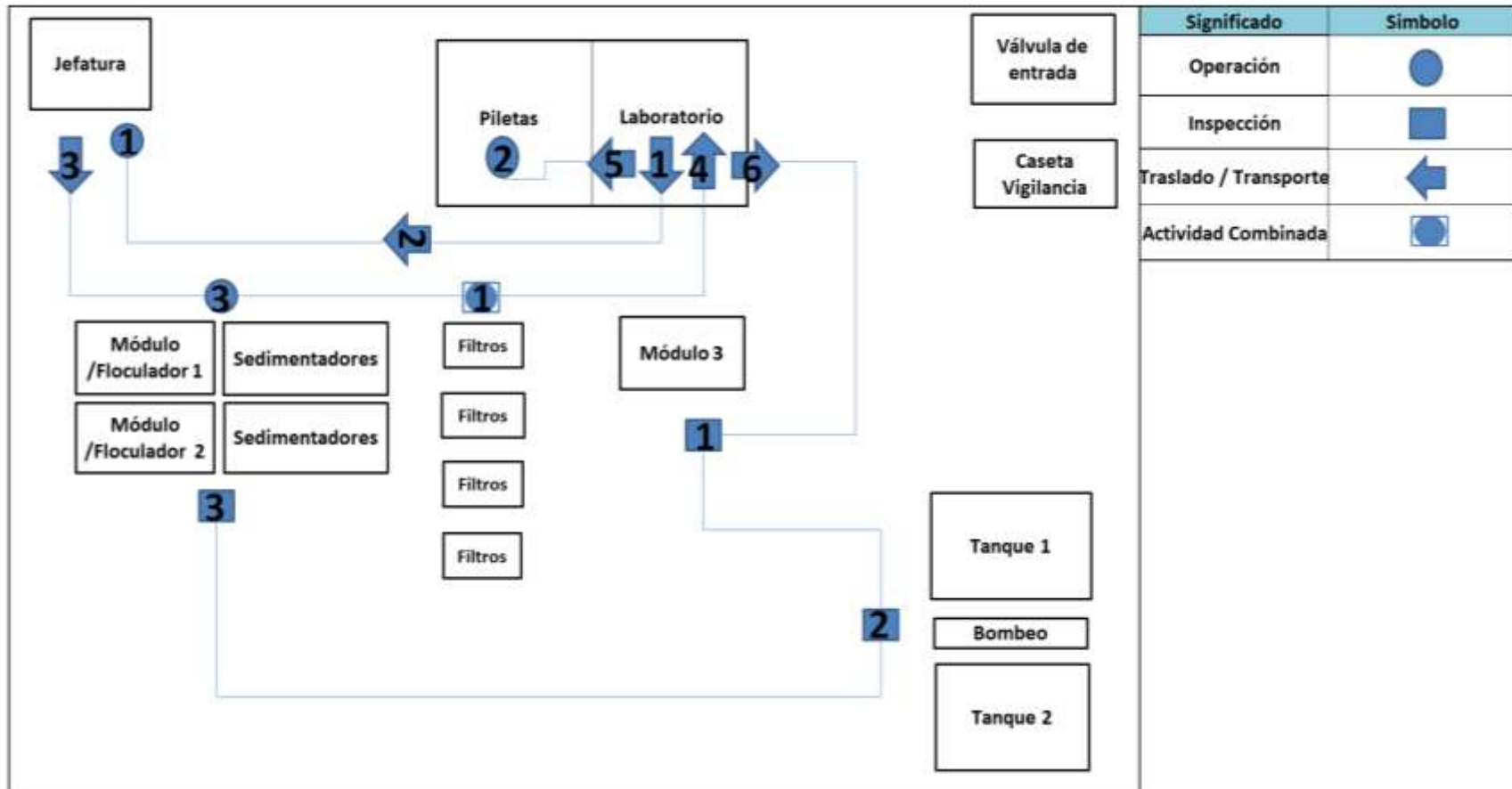
- Departamento de Acueductos.
- Planta potabilizadora.
- Usuarios.
- Almacén.

4.1.5 Diagrama de recorrido

Este diagrama representa los recorridos que efectúan los colaboradores mientras ejecutan sus funciones durante el turno.

El propósito de este recorrido es mostrar de manera visual las ubicaciones, recorridos, movimientos de personas y transportes de materiales, para identificar dónde es óptima la circulación o dónde se pueden experimentar retrasos o bloqueos.

Figura 4.3: Diagrama de recorrido



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el diagrama de recorrido se observa la distribución de la planta potabilizadora. Al respecto, el punto de partida del proceso es el Laboratorio, donde se ubica el personal u operarios de la presente investigación. Así, mediante el diagrama de flujo, se aprecia el traslado que ejecutan en la jornada laboral con el fin de asegurarse de que el recurso hídrico esté en óptimas condiciones.

Los puntos de recorrido de los operarios se detallan a continuación y sus respectivas medidas:

- Reporta acciones a la jefatura: en el recorrido, esta actividad consta del traslado #1, #2 y realizar la operación #1, que consiste en informar de variaciones importantes que puedan comprometer el ciclo de potabilización del agua. Este recorrido se compone de **12 metros**.
- Muestra las condiciones: está conformado por el traslado #3, dirigiéndose a floculadores con el #2 de operación y #1 de actividad combinada, porque se inspecciona y se muestrean las condiciones. Una vez recolectadas las muestras, se envían al laboratorio con el traslado #4. Este recorrido consta de **18 metros**.
- Revisa la piletta de reactivos: mientras las muestras están en distintos instrumentos o herramientas de prueba, se procede al traslado #5 y se revisan las piletas de reactivo, lo cual se asigna como la operación #2. Esta distancia es de 8 metros.
- Revisa módulos y volúmenes: como último recorrido del operario, en circunstancias rutinarias normales, efectúa el traslado #6, con las inspecciones #1, #2 y #3 para verificar módulos, volúmenes en tanques y bombeo. Esta revisión suma **53 metros**.

En resumen, el diagrama de recorrido se compone en término de cifras de seis traslados, tres operaciones, tres inspecciones y una actividad combinada, que en conjunto suman **109 metros** aproximadamente que recorren los operarios por cada ciclo del proceso.

4.1.6 Análisis del campo de fuerzas

Este análisis es una representación de las fuerzas existentes en los procesos. Mediante este, se identifican cuáles fuerzas están interesadas en mejorar y cuáles se resisten al

cambio, lo que da como resultado conocer dónde se debe invertir más tiempo y espacio para fortalecer los procesos.

Los pasos para realizar el análisis del campo de fuerzas son:

Figura 4.4: Pasos para el análisis de campo de fuerzas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con el propósito de identificar las fuerzas, se les consulta a los operarios y personal del Área de Acueductos, se levanta una lista de las fuerzas y, por el mismo medio de consulta, estas se clasifican en interesadas y desvinculadas al indicárseles a los entrevistados que mencionen una puntuación de mayor a menor valor sobre el interés de las fuerzas en la investigación y mejora del proceso de potabilización del agua.

Figura 4.5: Clasificación de las fuerzas identificadas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el análisis de campos de fuerza, por medio de la investigación y observación, se clasifican dos fuerzas: interesadas y desvinculadas del proceso. Al respecto, las cinco áreas que se resaltan como interesadas (Área de Acueductos, planta potabilizadora, Centro de Control, Alcaldía y Área Financiera) son simpatizantes e impulsoras de mejorar el funcionamiento y gestión de la planta potabilizadora, mientras que las fuerzas desvinculadas (usuarios, AyA y otras municipalidades) reciben el recurso hídrico u otros tratados, pero dicha gestión no les afecta directamente.

Figura 4.6: Calificación del análisis de campo de fuerzas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para determinar el proceso clasificatorio, se entrevista a los operarios de la planta potabilizadora y se les indica que clasifiquen con 5 a 0 puntos la participación de las fuerzas según la previa clasificación obtenida; de esta manera, se establece lo siguiente:

Fuerzas interesadas

- Área de Acueductos = 4 puntos.
- Planta potabilizadora = 5 puntos.
- Centro de Control = 3 puntos.
- Alcaldía = 2 puntos.
- Área Financiera = 1 punto.

Fuerzas desvinculadas

- Usuarios = 5 puntos.
- AyA = 3 puntos.

- Otras municipalidades = 2 puntos.

Figura 4.7: Resultado del análisis de campo de fuerzas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.2 MEDIR

En el medir se exponen todos los cálculos y fórmulas representativos de la investigación. En otras palabras, se procede a ejecutar mediciones y mostrar evidencias cuantitativas de la situación en estudio en la institución.

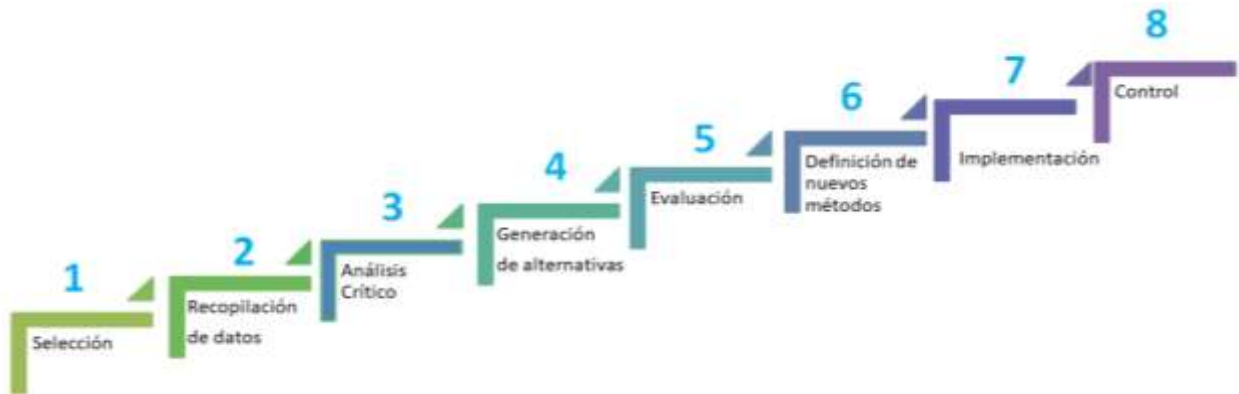
4.2.1 Estudio de trabajo

El estudio de trabajo permite ver de un modo organizado cómo se gestionan las etapas del proyecto, lo que posibilita una metodología sistemática óptima. Para ello, se deben seguir ocho pasos:

1. Selección: primeramente, se eligen las áreas por estudiar y detalles del entorno.
2. Recopilación de datos: se busca la información mediante el sistema, bitácoras y otros medios.
3. Análisis crítico: se analiza la información recopilada y medida.
4. Generación de alternativas: se fórmula una propuesta de solución a la causa principal que se determine.
5. Evaluación: se evalúan los resultados y los beneficios obtenidos o por alcanzar.
6. Definición del nuevo método: el nuevo método se debe desarrollar y exponer a los interesados.
7. Implementación: luego de la aprobación del método que se adecua a la necesidad, este se implementa para obtener los resultados esperados.

8. Control: se emplea para no perder la implementación de la nueva herramienta o metodología.

Figura 4.8: Análisis del desarrollo secuencial del estudio de trabajo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.2.2 Estudio de tiempos

Por medio de un cronómetro, el estudio de tiempos permite efectuar un muestreo de tiempos con los operarios para definir el estado de productividad de la planta potabilizadora.

El orden en que se desarrolla el estudio de tiempos es el siguiente:

1. Tiempo observado (cronometrado).
2. Tiempo normal.
3. Tiempo estándar.

4.2.2.1 Tiempo observado

Se seleccionan tres operarios para realizarles diez tomas de tiempo en minutos con la ayuda de un cronómetro, los días 12, 13 y 14 de mayo, en la jornada diurna que comprende de las 5:00 a.m. a las 2:00 p.m.

Seguidamente, se describe la toma de tiempos:

Tabla 4.4: Tiempo observado cronometrado

Turnos	A		Tiempo jornada diaria(h)								8 horas	
Horario	5:00 am - 2:00 pm											
Operario	A											
Fecha	Tiempo cronómetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T10	Promedio	
12/5/2025	Tiempo cronómetro(h)	0,50	0,59	0,63	0,63	0,51	0,47	0,89	0,61	0,55	0,59778	
12/5/2025	Tiempo cronómetro(m)	41,20	35,40	36,50	37,80	30,60	32,05	53,40	45,40	33,00	38,37	
Operario	B											
Fecha	Tiempo cronómetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T10	Promedio	
13/5/2025	Tiempo cronómetro(h)	0,50	0,64	0,65167	0,645	0,52	0,55333	0,55833	0,64	0,63	0,59	
13/5/2025	Tiempo cronómetro(m)	30,00	38,40	39,10	38,70	31,20	33,20	33,50	38,40	37,80	35,59	
Operario	C											
Tiempo cronómetro(h)	Tiempo cronómetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T10	Promedio	
14/5/2025	Tiempo cronómetro(h)	0,59	0,49	0,33	0,7	0,61	0,49	0,55	0,55	0,83	0,57	
14/5/2025	Tiempo cronómetro(m)	35,4	29,4	19,8	33,2	36,6	29,4	33	33	49,8	33,29	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir de la toma de tiempos hecha, se selecciona un tiempo promedio entre los datos obtenidos de los operarios, a quienes por temas de confidencialidad se les llama operario A (tiempo de 38.86 minutos), operario B (tiempo de 35.63 minutos) y operario C (34.82 minutos). De esta forma, el promedio es de 36.44 minutos y el operario B es el punto medio cerca del rango promedio.

Tabla 4.5: Tiempo cronometrado promedio del operario B

Operario		B									
Fecha	Tiempo cronómetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T10	Promedio
13/5/2025	Tiempo cronómetro(h)	0,50	0,64	0,35	0,82	0,52	0,46	0,72	0,48	0,63	0,57
13/5/2025	Tiempo cronómetro(m)	30,00	38,40	39,10	38,70	31,20	33,20	33,50	38,40	37,80	35,59

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez seleccionadas las diez tomas de tiempo del operario promedio, se realiza la separación y formulación de la muestra de la siguiente manera:

Tabla 4.6: Cálculo de la muestra

x	x²
30,00	900
38,40	1474,56
39,10	1528,81
38,70	1497,69
31,20	973,44
33,20	1102,24
33,50	1122,25
38,40	1474,56
36,00	1296
37,80	1428,84
Σ	356,30 12798,4

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Teniendo la cifra seleccionada en minutos, se aplica la fórmula para encontrar la cantidad de muestras necesaria con una confianza del 95 %, lo que se explica a continuación:

- n = tamaño de la muestra que se desea establecer.
- n' = cantidad de observaciones del estudio preliminar.
- Σ = suma de los valores.
- X = valor de cada operación.
- 40 = constante para un nivel de confianza de 95 %.

Y se desarrolla del siguiente modo:

Figura 4.9: Fórmula del tamaño de la muestra

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \Sigma x^2 - \Sigma(x)^2}}{\Sigma x} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{10(12798,39) - (356,30)^2}}{356,30} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{((127983,90) - (126949,69))}}{356,30} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{1034,21}}{356,30} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{1286,40}{356,30} \right)^2$$

$$n = 13,03 \approx 13$$

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según la fórmula ejecutada, se obtiene un resultado de 13.03, lo cual se redondea a una cifra menor al ser 3 menor a 5. Así, se determina que trece muestras es la cantidad necesaria para que la toma de tiempo tenga aproximadamente un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 4.7: Tiempo cronometrado con la cifra de la muestra

Operario	B													
Fecha	13/5/2025										15/5/2025			
Tiempo cronómetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T10	T11	T12	T13	Promedio	
Tiempo cronómetro(h)	0,50	0,64	0,35	0,82	0,52	0,46	0,72	0,48	0,63	0,63	0,63	0,63	0,58	
Tiempo cronómetro(m)	30,00	38,40	39,10	38,70	31,20	33,20	33,50	38,40	37,80	37,80	37,80	37,80	36,14	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por lo tanto, mediante las tres muestras adicionales para cumplir con la fórmula de muestreo, realizadas el 15 de mayo, se obtiene un promedio de 36.14 minutos.

4.2.2.2 Tiempo normal

El tiempo normal consiste en el tiempo que un cuerpo o persona requiere para cumplir una tarea a un ritmo normal. En cuanto a la fórmula del tiempo normal, es la siguiente:

$$TN = (TO) (1+SUMA DE VALORES DE CADA FACTOR)$$

Para la fórmula anterior, es necesario sumar valores asignados de factores que pueden ser relevantes en el proceso en investigación. Por consiguiente, se usa como método el sistema Westinghouse con la tabla respectiva:

Tabla 4.8: Sistema de valoración Westinghouse

Sistema de valoración Westinghouse						
Habilidad			Esfuerzo			
+0.15	A1	Superhábil	+0.13	A1	Excesivo	
+0.13	A2	Superhábil	+0.12	A1	Excesivo	
+0.11	B1	Excelente	+0.10	B1	Excelente	
+0.08	B2	Excelente	+0.08	B2	Excelente	
+0.06	C1	Bueno	+0.05	C1	Bueno	
+0.03	C2	Bueno	+0.02	C2	Bueno	
0.0	D	Promedio	0.0	D	Promedio	
-0.05	E1	Regular	-0.04	E1	Regular	
-0.10	E2	Regular	-0.08	E2	Regular	
-0.16	F1	Pobre	-0.012	F1	Pobre	
-0.22	F2	Pobre	-0.17	F2	Pobre	
Condiciones			Consistencia			
+0.06	A	Ideal	+0.04	A	Perfecta	
+0.04	B	Excelente	+0.03	B	Excelente	
+0.02	C	Buena	+0.01	C	Buena	
0.0	D	Promedio	0.0	D	Promedio	
-0.03	E	Regular	-0.02	E	Regular	
-0.07	F	Pobre	-0.04	F	Pobre	

Fuente: Camilo, 2008.

A partir de la tabla de valoración, se realiza una valoración mediante el método de observador de las habilidades, esfuerzo, condiciones y consistencia en el proceso.

Tabla 4.9: Evaluación Westinghouse para la planta potabilizadora

Evaluación Westinghouse			
Habilidades	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia
D	E2	D	C
0	-0,08	0	0,01
Total=0,07			

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La evaluación Westinghouse en habilidades se califica con **categoria D**, es decir, está en promedio, y un puntaje de **0**; en esfuerzo, con **E2**, correspondiente a regular, y un puntaje de **-0.08**; condiciones, con **D**, por estar en promedio, y un puntaje de **0**, y consistencia con **categoria C**, lo que se traduce en buena, y un puntaje de **0.01**. Así, se obtiene un total de **0.07 puntos**.

De acuerdo con el puntaje obtenido, se aplica la fórmula del tiempo normal:

$$TN = (TO) (1 + \text{SUMA DE VALORES DE CADA FACTOR})$$

$$TN = (36,13)(1,07)$$

$$TN = 38,66$$

El tiempo normal obtenido es de 38.66 minutos por cada ciclo de proceso, siendo un proceso controlado, regulado y con condiciones atmosféricas despejadas y soleadas.

4.2.2.3 Tiempo estándar

El tiempo estándar es el tiempo con todas las condiciones y factores que rodean un proceso. En este, el trabajador realiza a un ritmo normal las funciones respectivas:

Tabla 4.10: Suplementos

REFERENCIA MÁS COMÚN PARA APLICAR SUPLEMENTOS					
1. Suplementos constantes			E) Condiciones atmosféricas		
	Hombres	Mujeres	Suplemento de Kata (milicalorías/Cm ² /Seg)	Suplemento	
Necesidades personales	5	7	16	0	
Fátiga	4	4	14	0	
			12	0	
			10	3	
2. Suplementos variables			8	10	
A) Trabajar de pie	2	4	6	21	
			5	31	
B) Postura incomoda			4	45	
Ligeramente incomoda	0	1	3	64	
Incomoda	2	3	2	100	
Muy incomoda	7	7			
			F) Concentración intensa	Hombres	Mujeres
			Baja precisión	0	0
			De precisión o fatigosos	2	2
			Gran precisión o muy fatigosos	5	5
C) Uso de fuerza o energía muscular			G) Ruido		
Peso levantado por Kg			Continuo	0	0
2.5	0	1	Intermitente y fuerte	2	2
5	1	2	Intermitente y muy fuerte	5	5
7.5	2	3	Estridente y fuerte		
10	3	4	H) Tensión mental		
12.5	4	6	Proceso complejo	1	1
15	5	8	Atención dividida en varios objetos	4	4
17.5	7	10	Muy complejo	8	8
20	9	13	I. Monotonía		
22.5	11	16	Algo monótono	0	0
25	13	20 (máx)	Bastante monótono	1	1
30	17	---	Muy monótono	4	4
33.5	22	---	J) Tedio		
D) Mala iluminación			Algo aburrido	0	0
Ligeramente deficiente	0	0	Aburrido	2	1
Bastante deficiente	2	2	Muy aburrido	5	2
Absolutamente insuficiente	5	5			

Fuente: Camilo, 2008.

Finalmente, para obtener el tiempo estándar, se usa la tabla de suplementos que clasifica en puntajes, según se trate de un hombre o mujer, las condiciones laborales que pueden afectar un proceso de trabajo, a criterio del observador:

Tabla 4.11: Tabla de suplementos de la planta potabilizadora

Tabla de suplementos			
		Puntaje	
1	Suplementos constantes		
	Necesidades personales	5	
	Fatiga	4	
2	Suplementos variables		
	A	Trabajo de pie	2
	B	Postura incómoda	7
	C	Uso de fuerza	13
	D	Mala iluminación	0
	E	Condiciones atmosféricas	0
	F	Concentración intensa	5
	G	Ruido	2
	H	Tensión mental	4
	I	Monotonía	4
	J	Tedio	0
Total		46	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En suplementos constantes correspondientes a hombres, se asigna una puntuación total de 9 puntos entre necesidades personales y fatiga. Por su parte, en suplementos variables, se obtienen los siguientes resultados: trabajo de pie 2 puntos; postura incómoda 7 puntos, porque deben agacharse o estar en constante inclinación; uso de fuerza 13 puntos, pues levantan hasta 25 kg cuando no hay ayuda para colocar los insumos y reactivos; mala iluminación 0 puntos; condiciones atmosféricas 0 puntos; concentración intensa 5 puntos, por el cuidado que implica; ruido 2 puntos, por los motores de bombeo; tensión mental 4 puntos, porque deben estar pendientes de varias pruebas y trabajos a la vez; monotonía 4 puntos, ya que la labor es repetitiva, y tedio 0 puntos, siendo el total de 46 puntos. Con este último puntaje, se aplica la fórmula:

$$TE = (TN)(1+\text{SUMA DE SUPLEMENTOS EN DECIMALES})$$

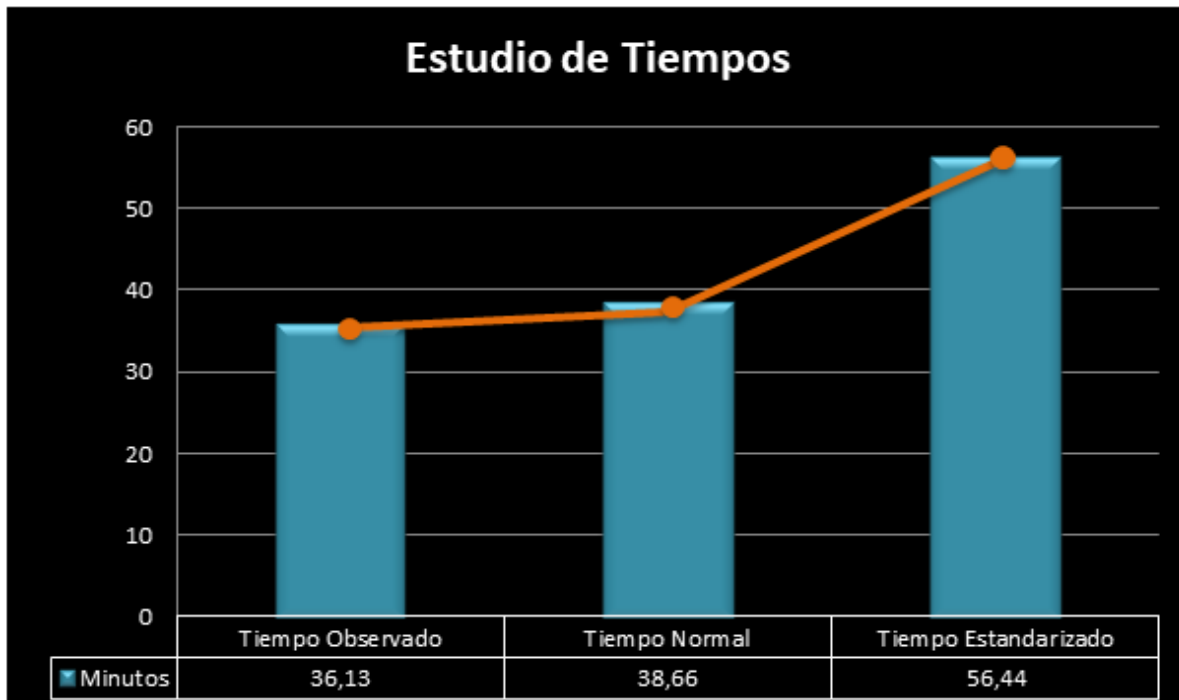
$$TE = (38,66) (1+0,46)$$

$$TE = (38,66) (1,46)$$

$$TE = 56,44$$

De este modo, el tiempo estándar obtenido es de 56,44 minutos.

Figura 4.10: Gráfico del estudio de tiempos



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.2.2.4 Razón de productividad

A partir del tiempo obtenido, se debe encontrar el valor de productividad en el ciclo cronometrado y, así, comprobar la eficiencia. Por lo tanto, se determina la razón de productividad:

Figura 4.11: Razón de productividad

RP=	$\frac{1}{\text{Tiempo estándar}}$
RP=	$\frac{1}{56,44}$
RP=	0,017
RP=	1,7%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La razón de productividad se desarrolla por cada ciclo producido entre el tiempo estándar obtenido, lo cual arroja 1,7 %, o sea, por cada ciclo entre el tiempo estándar hay un 0.017 de efectividad, pues mayormente existe una pérdida en traslados, que son tiempos suplementarios, improductivos o muertos.

4.2.3 Estudio de movimientos

El estudio de movimientos va de la mano con el estudio de tiempos y como parte del estudio de trabajo. En cuanto a este, una vez temporizado el proceso, se analizan los movimientos, con el fin de estudiar, detectar y reducir la mayor cantidad de movimientos ineficientes.

4.2.4 Análisis Therbligs

El análisis Therbligs tiene como objetivo optimizar las funciones de los colaboradores, en este caso de los operarios, mediante la observación y el análisis de los movimientos realizados en el proceso.

Tabla 4.12: Simbología y clasificación de los movimientos Therbligs

THERBLIGS					
EFICIENTES			INEFICIENTES		
1		Alcanzar	1		Planear
2		Tomar	2		Buscar
3		Mover	3		Seleccionar
4		Soltar	4		Inspeccionar
5		Ensamblar	5		Demora evitable
6		Desmontar	6		Demora inevitable
7		Usar	7		Colocar en posición
8		Preparar posición	8		Descansar
			9		Sostener

Fuente: Raúl López y Asociados, 2025.

Según la simbología y clasificación de los movimientos de Therbligs, se analiza la descripción de los pasos y, con criterio de observador, se organizan de acuerdo con su acción y su respectiva característica; por consiguiente, se obtiene lo siguiente:

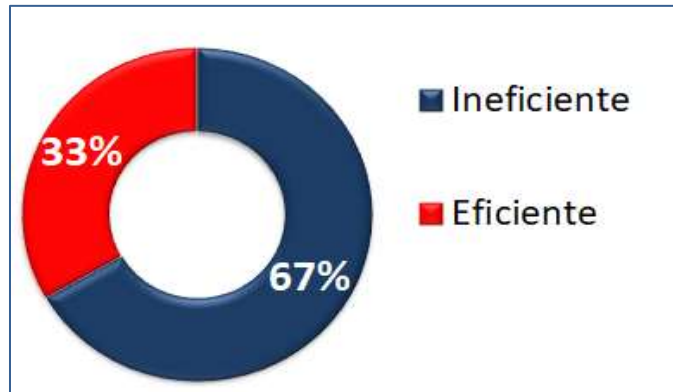
Tabla 4.13: Clasificación de movimientos Therbligs

No.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Clasificación Therbligs	
1	Entrega entre turnos mediante un informe verbal	Planear	Ineficiente
2	Revisa la tabla de registros en papel	Inspección	Ineficiente
3	Se traslada a la oficina de jefatura	Mover	Eficiente
4	Reporta acciones a jefatura	Demora inevitable	Ineficiente
5	Se traslada a los floculadores y filtros	Mover	Eficiente
6	Muestra las condiciones	Inspección	Ineficiente
7	Traslada las muestras a laboratorio	Mover	Eficiente
8	Se aplican pruebas según sea el caso	Inspección	Ineficiente
9	Se traslada a piletas	Mover	Eficiente
10	Realiza aforo de dosificaciones	Inspección	Ineficiente
11	Revisa piletas de reactivo	Inspección	Ineficiente
12	Revisa módulos y volúmenes	Inspección	Ineficiente

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Clasificados los procesos, se efectúa un conteo, este arroja que existen cuatro movimientos eficientes y ocho ineficientes según el desarrollo del proceso en estudio. Gráficamente, se expresa así:

Figura 4.12: Gráfico porcentual de movimientos Therbligs



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.2.5 Evaluación REBA

La evaluación REBA (evaluación rápida del cuerpo entero) es un método que permite asignar un puntaje, debidamente estudiado, de acuerdo con la posición del cuerpo en el proceso. Luego de asignar el puntaje, se usan tres tablas, clasificadas con A, B y C, que por medio de una matriz numérica resultan en un único número, el cual indica al final una evaluación.

Tabla 4.14: Análisis de condiciones REBA

Análisis REBA	
Posición de cuello	2
Posición de torso	4
Posición de piernas	2
Puntaje matriz Tabla A	6
Puntaje de fuerza de carga +	1
<u>Puntaje A</u>	<u>7</u>
Posición de brazo	3
Posición de antebrazo	1
Posición de muñeca	1
Puntaje tabla B	3
Puntaje de Acoplamiento +	1
<u>Puntaje B</u>	<u>4</u>
Puntaje REBA	
Puntaje C	8
Puntaje de Actividad +	1
<u>Puntaje REBA</u>	<u>9</u>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El **puntaje A**, resultado de las posiciones del cuello, torso y piernas, es igual a **7**; el **puntaje B**, correspondiente a las posiciones del brazo, antebrazo y muñeca, resulta en **4**; finalmente, el **puntaje C** es **8** más **1** punto del puntaje de actividad, el motivo es porque la acción implica cambios rápidos de postura o existe inestabilidad. Así, el puntaje **REBA** es **9**.

Tabla 4:15: Puntaje REBA

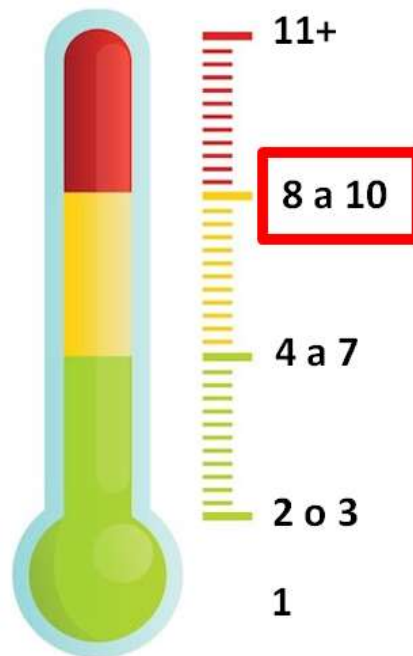
Puntaje REBA	
1	riesgo mínimo
2 o 3	riesgo bajo, podría requerir modificación
4 a 7	riesgo medio, investigar más, modificar pronto
8 a 10	riesgo alto, investigar e implementar modificación
11 +	riesgo muy alto, implementar modificación

Fuente: Jeffs, 2023.

Con el resultado obtenido de 9 puntos, se busca en la tabla de puntaje REBA a qué corresponde el mismo. De esta forma, 9, que está en el rango de 8 a 10, se refiere a “riesgo alto, investigar e implementar modificaciones”.

Ahora bien, mediante un termómetro de riesgo, se aprecia la ubicación actual del proceso estudiado en la evaluación REBA:

Figura 4.13: Ubicación del proceso en el puntaje REBA



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se adjunta la ficha de la evaluación REBA con sus respectivas imágenes:

Figura 4.14: Ficha del análisis REBA

A. Análisis de cuello, torso y piernas

Paso 1: Posición de cuello +2

Puntaje cuello

Paso 1a: Ajuste...

Cuello torcido: +1
Cuello se inclina de lado: +1

Paso 2: Posición de torso +4

Puntaje

Paso 2a: Ajuste...

Torso torcido: +1
Torso se inclina de lado: +1

Paso 3: Piernas +2

Puntaje piernas

Paso 4: Ver puntaje de postura en Tabla A

Con los valores de los pasos 1-3 arriba, busque el puntaje en la **Tabla A**

Paso 5: Sumar puntaje fuerza/carga

Si la carga es < 11 lbs: +0
Si la carga es de 11 a 22 lbs: +1
Si la carga es > 22 lbs: +2
Ajuste: Si hay choque o aumento rápido de fuerza: +1

Paso 6: Puntaje A, buscar fila en Tabla C

Sume los valores de los pasos 4 y 5 para obtener el puntaje A. Busque la fila en la tabla C.

B. Análisis de brazo y muñeca

Paso 7: Posición de brazo

Paso 7a: Ajuste...

Hombro levantado: +1
Brazo en abducción: +1
Brazo apoyado o persona recargada: +1

Paso 8: Posición de antebrazo

Paso 9: Posición de muñeca

Paso 9a: Ajuste...

Muñeca desviada de línea media o torcida: +1

Paso 10: Ver puntaje de postura en Tabla B

Con los valores de los pasos 7-9 arriba, busque el puntaje en la **Tabla B**

Paso 11: Sumar puntaje de acoplamiento

Asa con buen acoplamiento y agarre abierto	bueno, +0
Agarre manual aceptable pero no ideal o acoplamiento aceptable con otra parte del cuerpo	regular, +1
Agarre manual inaceptable pero posible	poor, +2
Si asa, redonda, inseguro con cualquier parte del cuerpo	inaceptable, +3

Paso 12: Puntaje B, buscar columna en Tabla C

Sume los valores de los pasos 10 y 11 para obtener el puntaje B. Busque la columna en la **Tabla C** y emparejela con la fila del puntaje A del paso 6 para obtener el puntaje de la **Tabla C**.

Paso 13: Puntaje de actividad

- +1 1 o más partes del cuerpo se sostienen por más de 1 minuto (estáticas)
- +1 Acciones repetidas de poco alcance (más de 4x por minuto)
- +1 Acción causa cambios rápidos y grandes de postura o tiene base inestable

Tabla A	Cuello															
	1				2				3				4			
Posturas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Puntaje de postura del torso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

	Antebrazo									
	1					2				
Muñeca	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Puntaje de brazo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

	Tabla C											
Puntaje A	Puntaje B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	9	9	9	9	9
6	5	5	5	6	7	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	8	9	9	10	10	10	9	9	11	12	12	12
10	10	10	10	9	9	9	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	9	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

6

+

8

=

1

=

9

Puntaje postura A Puntaje Tabla C Puntaje de actividad **Puntaje REBA**

Puntaje REBA	
1	riesgo mínimo
2 o 3	riesgo bajo, podría requerir modificación
4 a 7	riesgo medio, investigar más, modificar pronto
8 a 10	riesgo alto, investigar e implementar modificación
11 +	riesgo muy alto, implementar modificación

Fuente: Jeffs, 2023.

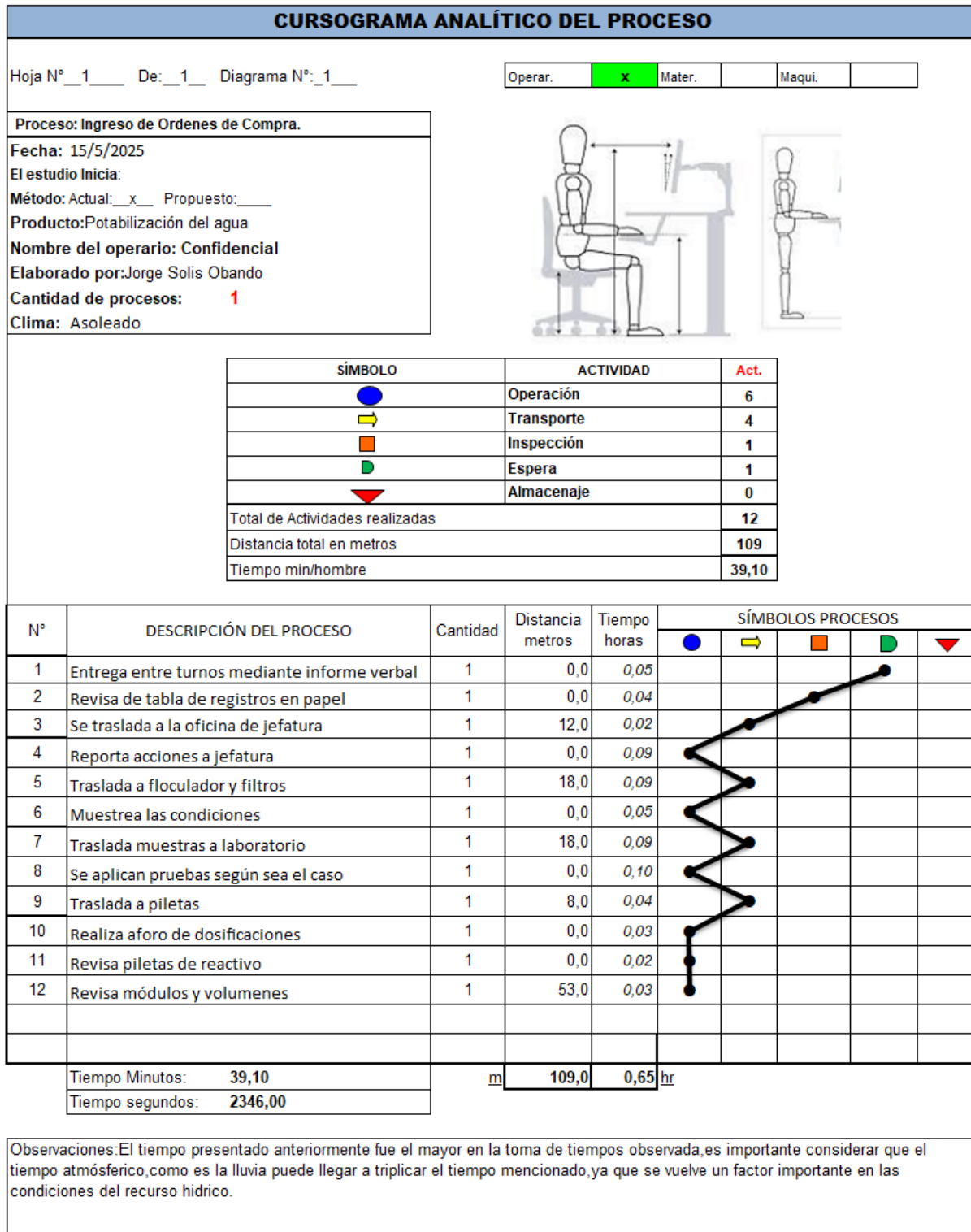
4.2.6 Cursograma

El cursograma es una herramienta que permite visualizar el trayecto del proceso, incluyendo operaciones, transporte, inspección, espera y almacenaje.

El cursograma analítico anterior consta de doce procesos de los cuales seis son operaciones, cuatro transportes, una inspección y una espera, para un total de 196 metros recorridos y 39.10 minutos en total. Este tiempo es el mayor cronometrado del operario B.

A continuación, se aprecia el cursograma del proceso:

Figura 4.15: Cursograma del proceso de potabilización



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.2.7 VSM

El VSM es una herramienta que ayuda a observar el flujo de procesos, personas y materiales existentes en procesos de producción, desde el recibo de la materia prima hasta obtener el producto ideado o necesario para el éxito de la operación.

El objetivo de este mapa es tener la oportunidad de comprender y visualizar cada detalle que agregue valor al proceso y, de esta manera, determinar los posibles puntos de mejora.

Para una correcta aplicación, se desarrolla en cinco partes, a saber:

Figura 4.16: Pasos del VSM



Fuente: Elaboración propia, 2025.

1. Identificación del proceso

El proceso en estudio es la potabilización del agua, por lo que se busca información histórica acerca de los datos de ingresos de agua, caudal y registro de procesos.

Además, con el desarrollo del estudio de tiempos, se calcula el tiempo improductivo promedio, como parte de la identificación del proceso.

Tabla 4.16: Cálculo del tiempo improductivo

Tiempo improductivo	
Tiempo estándar	56,44
Tiempo observado	36,13
	<i>20,31 minutos</i>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

2. Calcular el ingreso de materia prima

El cálculo del ingreso de agua cruda se realiza mediante el sistema de caudal de bombeo.

Tabla 4.17: Tabla de ingreso y salida hídrica promedio

Ingreso hídrico promedio				
Caudal	L/S	Hora	Día	Mes
Caudal de bombeo	300	1080000	25920000	777600000

Salida hídrica promedio				
Caudal	L/S	Hora	Día	Mes
Caudal de bombeo	210	756000	18144000	544320000

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez promediada la cantidad de litros por segundo de la base de datos, se obtienen 300 l/s en una hora y se formula la operación de salida de caudal de bombeo que resulta en 210 l/s.

3. Determinar la demanda

La demanda, como recurso indispensable para vivir, es de consumo diario. Al respecto, se lleva a cabo el registro promedio de los rangos de demanda de agua potable de noviembre 2024 a abril 2025.

Por esto, según el histórico de seis meses, a la planta potabilizadora de Cartago ingresan 202,49 l/s del caudal bombeo, 104.50 l/s del caudal gravedad, 47.96 l/s del caudal tanque Cola y 50 l/s del caudal Paraíso.

Tabla 4.18: Histórico de la demanda hídrica

	Caudal de bombeo	Caudal de gravedad	Caudal tanque Cola	Caudal Paraíso
nov-24	201,3	103,88	45,69	48
dic-24	203,87	103,84	46,88	56
ene-25	201,92	102,86	48,88	44
feb-25	202,3	105,08	49,32	54
mar-25	203,6	107,71	47,8	49
abr-25	201,92	103,65	49,2	49
Promedio	202,49	104,50	47,96	50

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Determinado el promedio total de los caudales que alimentan a la planta potabilizadora, se suma para obtener el total de demanda por la población de la localidad.

Tabla 4.19: Demanda hídrica

Demanda hídrica promedio				
Caudal	L/S	Hora	Día	Mes
Caudal de bombeo	202,49	728784	17490816	524724480
Caudal de gravedad	104,50	376200	9028800	270864000
Caudal de salida tanque Cola	47,96	172656	4143744	124312320
Caudal Paraíso	50	180000	4320000	129600000
Total aproximado	404,95	1457640	34983360	1049500800

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La demanda total hídrica promedio es de 404,95 l/s; así, por hora se demandan 1 457 640 l/s, en un día 34 983 360 l/s y por mes 1 049 500 800 l/s.

4. Ejecutar el takt time

El *takt time* (tiempo de ciclo) es el ritmo o pauta que debe tenerse para determinar la capacidad de producción de una empresa ante un pedido. En este caso, se identifica el

tiempo de procesamiento contra la demanda de litro por segundo de agua potable, para ampliar el conocimiento en términos de demanda y consumo de agua potable. Relacionado a esto, el Departamento de Medición y Grandes Fuentes de AyA (2018, como se citó en Paz con la Naturaleza et al., s.f.) indica: “Se estima que el consumo mínimo de agua por persona en Costa Rica es de 200 litros por día, lo que equivale a un estañón diario por habitante”.

Tabla 4.20: Cálculo del takt time

Variable	Operación	Resultado	Medida
Jornada laboral	*	8	Horas
Tiempo de almuerzo	*	1	Horas
Tiempos improductivos	*	0,34	Horas
Número de turnos	*	3	Días
Días horas x mes	*	30	Días
Demanda mensual	*	1049500800	Litros/segundo
Tiempo efectivo por jornada	8 horas-0,34 horas	7,66	Horas
Tiempo efectivo por día	7,66 horas*60	459,6	Minutos por día
Tiempo disponible	459,6 min*60 seg	27576	Segundos por día
Demanda diaria	1049500800/30	34983360	Litros por día
Tiempo <i>takt</i> segundos	27576 seg/día/34905600	0,0008	Segundos/litros
Tiempo <i>takt</i> minutos	0,0008 seg*60	0,0473	Minutos/litros
Tiempo <i>takt</i> minutos 200 litros	0,0473 min*200 litros	9,4591	Minutos

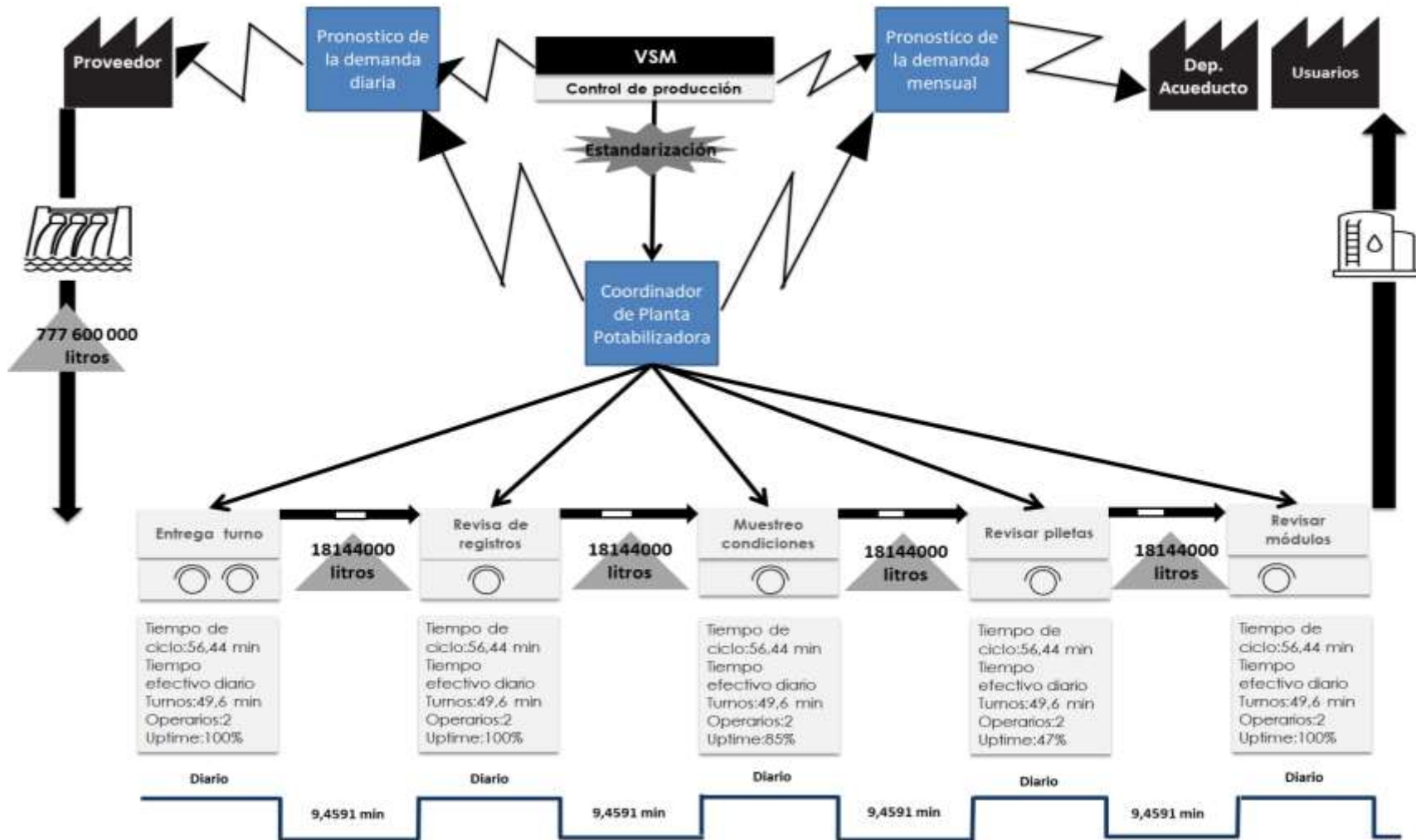
Fuente: Elaboración propia, 2025.

La jornada laboral consta de 8 horas, por tres turnos existentes; en cuanto a esto, la hora de almuerzo no es parte del tiempo efectivo, por ello, no se contempló. Tomando los cálculos correspondientes de tiempos efectivos, improductivos y demanda, se determinó que el *takt time* minutos es de 0.0473 minutos por litros. En otras palabras, para producir un litro por segundo de agua potable, se requiere de 0.0473 minutos por litro.

Ahora bien, se utiliza la información del Departamento de Medición y Grandes Fuentes de AyA (2018, como se citó en Paz con la Naturaleza et al., s.f.) para calcular que, con el consumo diario de una persona en Costa Rica, a saber, 200 litros, la planta potabilizadora requiere de 9.4591 minutos diarios para cubrir su necesidad.

5. Confeccionar el VSM

Figura 4.17: VSM



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El mapa de valor anterior se divide en dos partes:

- Flujo de información: esta parte indica los extremos del mapa de valor. El inicio corresponde al proveedor y el final del ciclo al usuario, que en este caso es el Departamento de Acueductos y Abonados.
- Flujo del material: el proceso inicia con el ingreso de 300 L/S de agua y tiene una salida de 210 L/S de agua aproximadamente. Además, esta etapa se conforma de cinco procesos: el primero consta de dos operarios, en el resto la participación disminuye a dos participantes.

En cuanto al tiempo efectivo, es el siguiente:

- Proceso A: el tiempo es del 100 %.
- Proceso B: el tiempo es del 100 %.
- Proceso C: el tiempo es del 85 %.
- Proceso D: el tiempo es del 47 %.
- Proceso E: el tiempo es del 100 %.

Por último, con ayuda del cursograma se detalla la escalera de tiempo, que muestra una razón de productividad de 1.7 %.

4.2.8 Encuesta

La encuesta es un método de recolección de datos e investigación en el que por medio de preguntas se puede cuantificar la respuesta de los consultados.

Referente a esta, Falcón y Herrera (2005) definen:

Encuesta escrita: se realiza a través de un cuestionario autoadministrado, el cual como su nombre lo indica, siempre es respondido de forma escrita por el encuestado.

Cuestionario: se realiza de forma escrita mediante un instrumento o formato en papel, medios magnéticos o electrónicos contentivo de una serie de preguntas.

Se le denomina cuestionario autoadministrado porque debe ser llenado por el encuestado sin intervención del encuestador (p.13).

Confeccionado el respectivo cuestionario, se envía al personal involucrado en la investigación, para ello se aplica la fórmula de muestra de poblaciones finitas:

Figura 4.18: Fórmula de la muestra de poblaciones finitas

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Fuente: Bomba, 2018.

Figura 4.19: Simbología de la fórmula de la muestra de poblaciones finitas

n = Tamaño de muestra buscado	Nivel de confianza	Z _{alfa}
N = Tamaño de la Población o Universo	99,7%	3
Z = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)	99%	2,58
e = Erro de estimación máximo aceptado	98%	2,33
p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)	96%	2,05
q = (1 - p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado	95%	1,96
	90%	1,645
	80%	1,28
	50%	0,674

Fuente: Bomba, 2018.

Al efectuar la fórmula, se obtiene un resultado de muestra de 10,72, que con redondeo corresponde a una cantidad necesaria de once personas para obtener respuestas, con un nivel de confianza del 95 %.

Figura 4.20: Cálculo del tamaño de la muestra finita

Parametro	Insertar Valor
N	11
Z	1,960
P	50,00%
Q	50,00%
e	5,00%

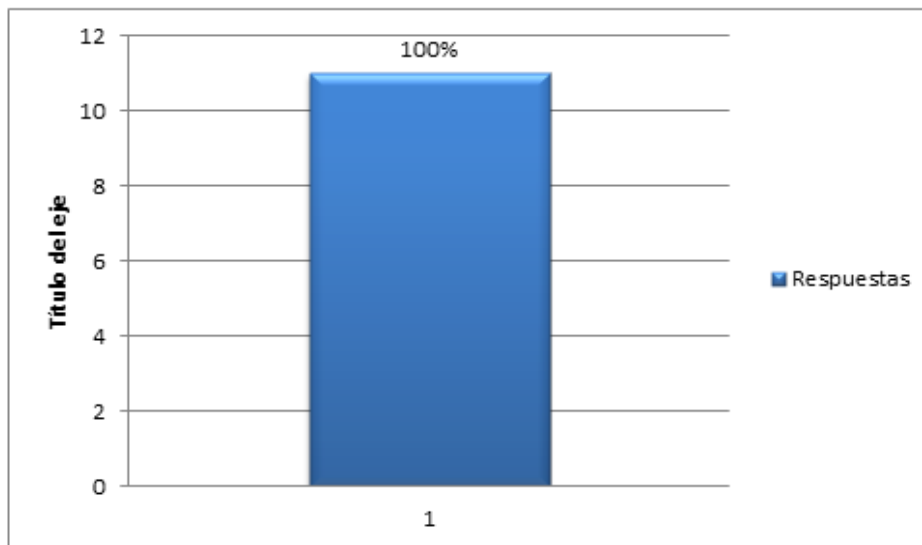
Tamaño de muestra
 "n" =
10,72

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La encuesta se le distribuye al personal total y cerca de la planta potabilizadora de Cartago, conformado por cinco operadores, tres controladores y tres tipos de jefaturas del área, y se obtiene lo siguiente:

La encuesta se aplica a 11 personas y se recibe la misma cantidad de respuestas, o sea, 11. De este modo, la respuesta es del 100 %.

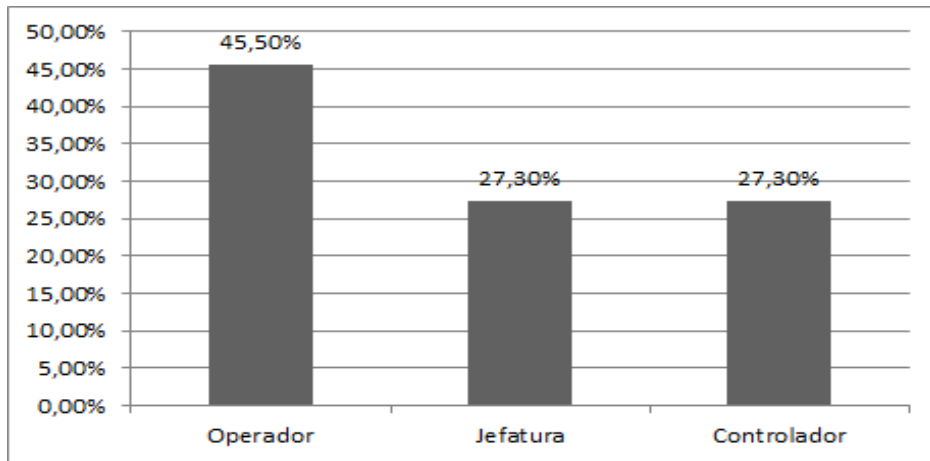
Figura 4.21: Porcentaje de respuestas de la entrevista



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir de la respuesta positiva obtenida, a continuación se desarrollan gráficamente los resultados del cuestionario ejecutado:

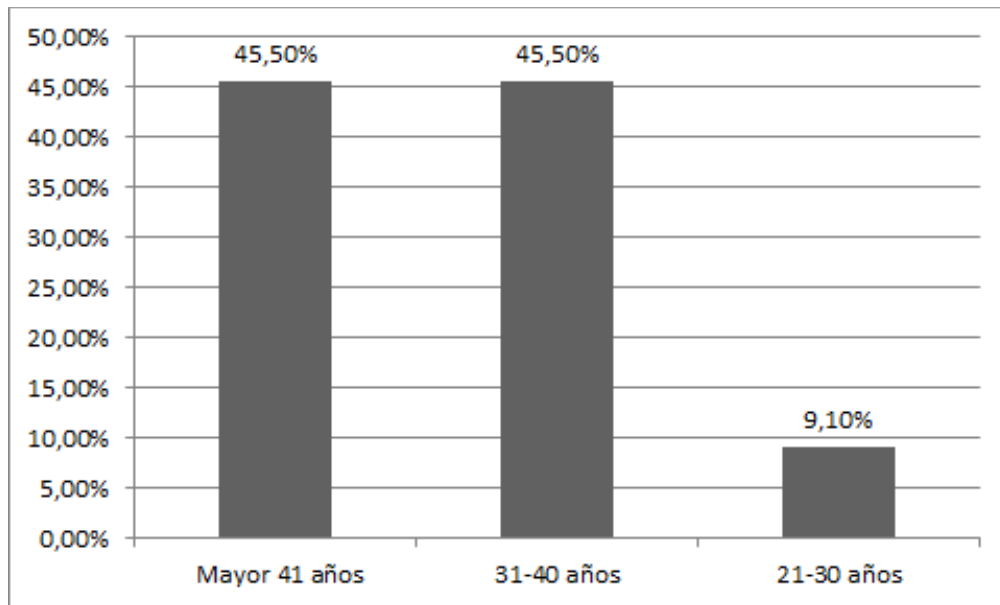
Figura 4.22: ¿Qué puesto desempeña en la institución?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la pregunta 1, acerca del puesto que desempeñan los colaboradores en la institución, se obtiene que 45.50 % de los encuestados son operarios y, con un mismo porcentaje de 27.30 %, están la jefatura y los controladores.

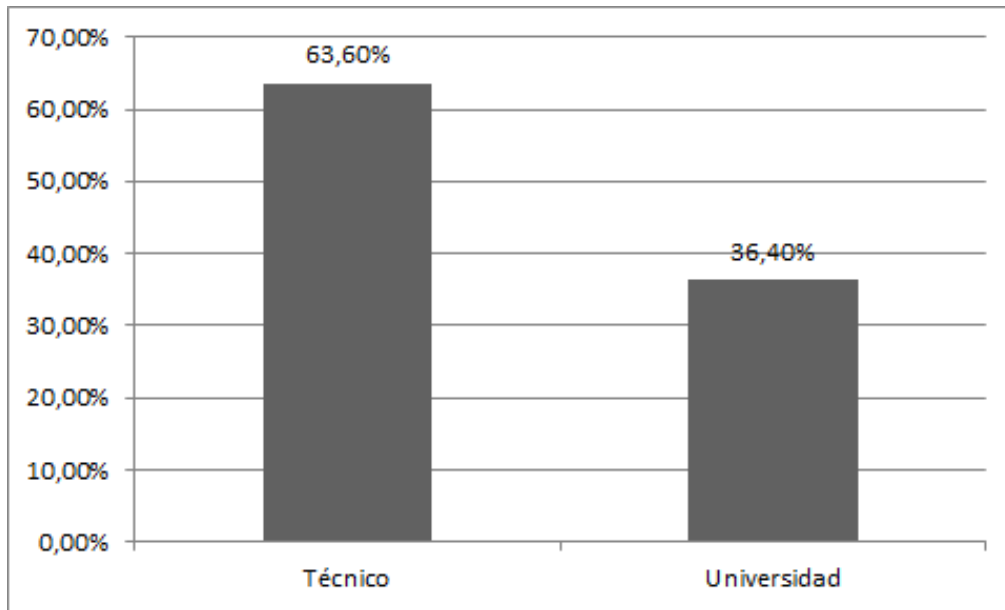
Figura 4.23: ¿En qué rango de edad se encuentra?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con relación a la pregunta 2, sobre el rango de edad, un 45,50 % del personal entrevistado es mayor de 41 años, un 45,50 % se ubica en un rango entre los 31 a 40 años y un 9,10 % se encuentra entre los 21 a 30 años.

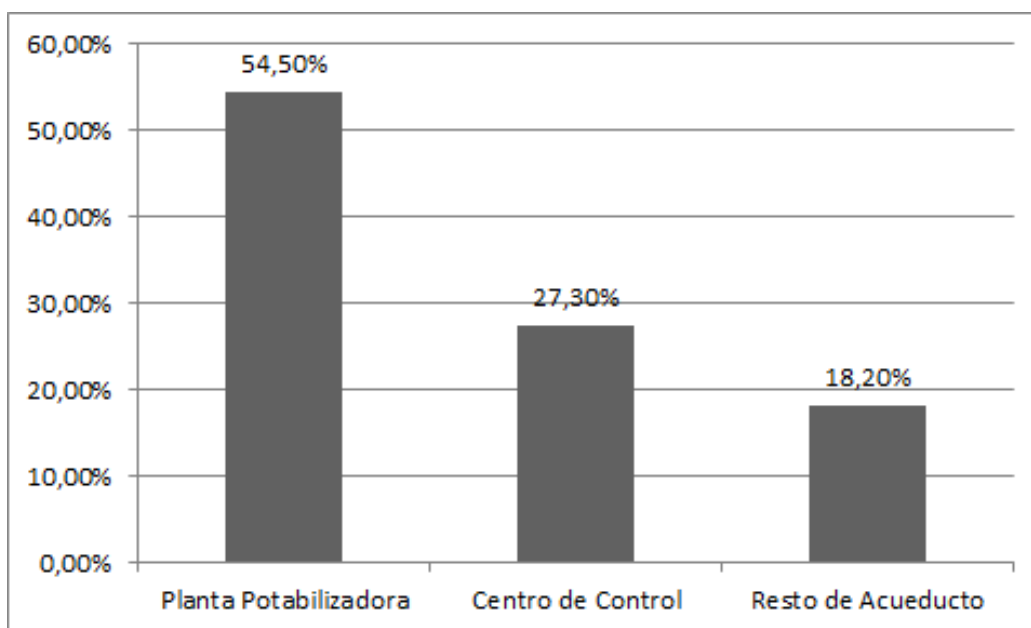
Figura 4.24: ¿Cuál es su nivel académico?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Referente a la pregunta 3, en cuanto al nivel académico obtenido, un 63.60 % de los encuestados son técnicos y un 36,40 % son universitarios.

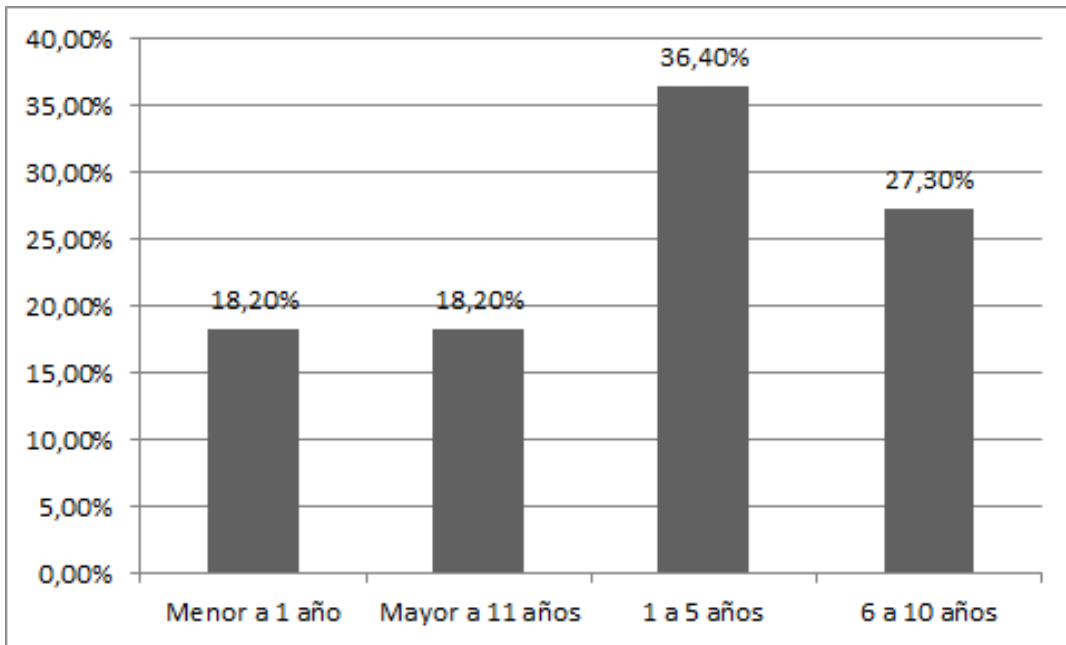
Figura 4.25: ¿En qué área de la Municipalidad de Cartago trabaja?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la pregunta 4, sobre el área de la municipalidad en la que trabajan los colaboradores, un 54,50 % se ubica en la planta potabilizadora, un 27.30 % en el Centro de Control y un 18,20 % en el resto del acueducto.

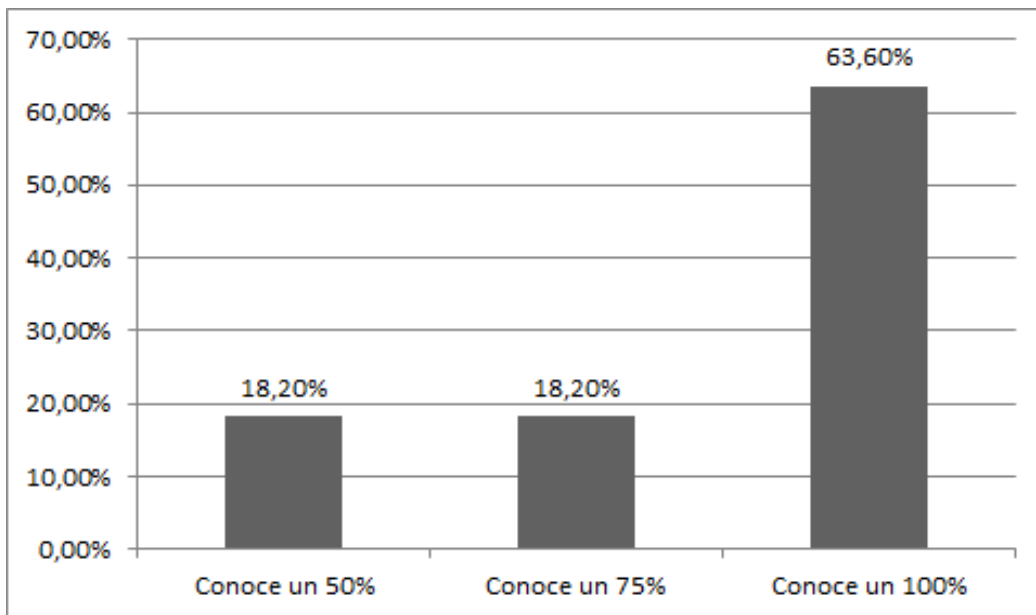
Figura 4.26: ¿Cuánto tiempo tiene de laborar en la Municipalidad de Cartago?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Respecto a la pregunta 5, acerca del tiempo que tienen los colaboradores de laborar en la municipalidad, un 36,40 % de 1 a 5 años, un 27,30 % de 6 a 10 años y, con un mismo porcentaje de 18,20 %, más de 11 años y menos de 1 año.

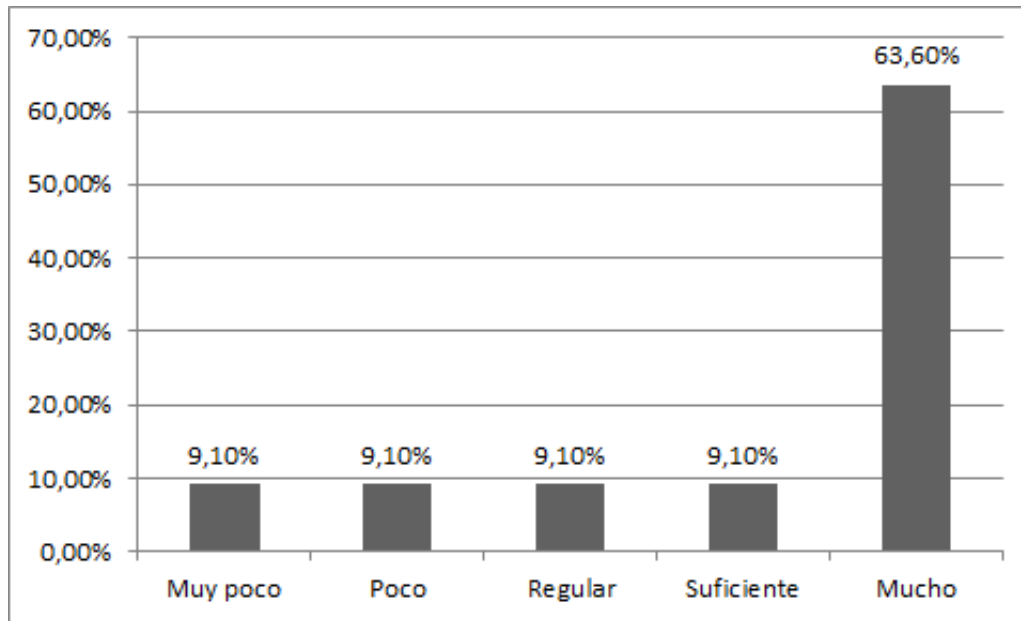
Figura 4.27: En términos porcentuales, ¿cuánto conoce el funcionamiento de la planta potabilizadora?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto a la pregunta 6, un 63,60 % conoce un 100 % del funcionamiento de la planta potabilizadora; un 18,20 %, un 75 % y otro 18,20 %, un 50 %.

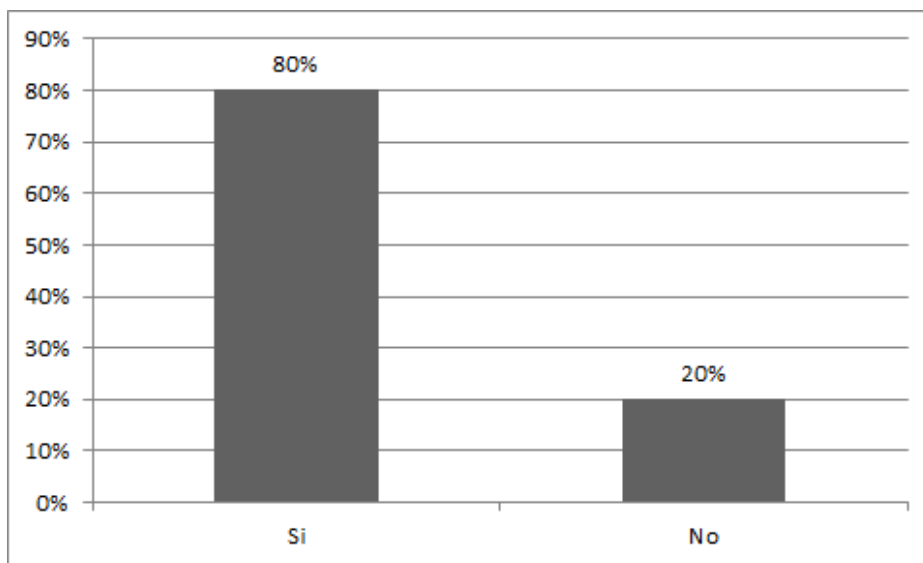
Figura 4.28: En una escala del 1 a 5, siendo 5 mucho y 1 muy poco, ¿cuánto afectan los procesos de potabilización y respuesta de la planta potabilizadora?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Referente a la pregunta 7, sobre la afectación de los procesos de potabilización y respuesta de la planta potabilización, la opción “mucho” obtiene un 63.60 %, más de la mitad, mientras que las demás categorías (“suficiente”, “regular”, “poco”, “muy poco”) un 9.10 %.

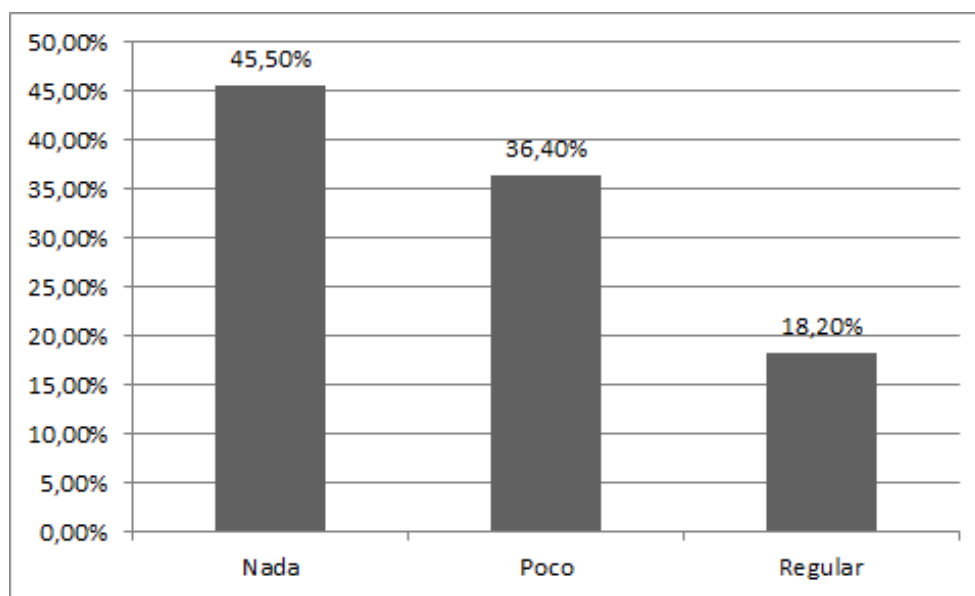
Figura 4.29: ¿Considera usted que es necesario un manual estandarizado de los procesos debidamente documentado?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la pregunta 8, un 80 % del personal indica que es necesario un manual estandarizado de los procesos debidamente documentado y un 20 % contesta que no.

Figura 4.30: ¿Considera usted que tiene sentido de pertenencia y trabajo en equipo en la planta potabilizadora?



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el caso de la pregunta 9, acerca del sentido de pertenencia y trabajo en equipo en la planta potabilizadora, un 45,50 % de los encuestados contesta “nada”, mientras que un 36,40 % responde “poco” y un 18.20 % señala “regular”.

Figura 4.31: ¿Cuáles puntos y recomendaciones brindaría para mejorar el funcionamiento de la planta potabilizadora?

Mejor ambiente laborar,proactividad,Incentivar al personal, capacitación,
El problema es uqe no manejan bien la planta,la jefatura a cargo
Mejor comunicación y trato de la jefatura, mejores horarios,ser mas flexibles
Los compañeros no cooperan tienen falta de equipo,se creen un area independiente a acueductos
Que todo se haga uniformemente y capaciten a todos nosotros
Capacitar a los demas, y que me ayuden a trabajar en equipo,capacitación
Tercearizar servicios
Capacitación y pronta respuesta a los demas,mejor trato
He realizado tablas para controlar situaciones y no funciona ,ni hay participación,se centra las ideas en una sola persona.endiosada

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Finalmente, la pregunta 10 se formula con la oportunidad de respuesta abierta para crear una lluvia de ideas, como se observa en la imagen anterior.

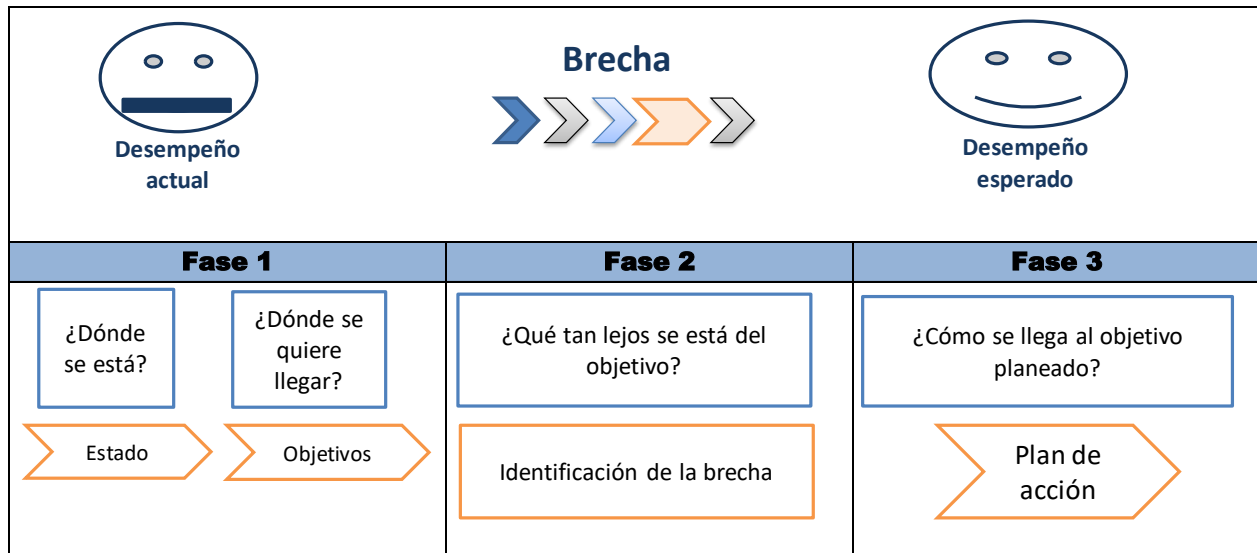
4.2.9 Análisis de brecha GAP

El análisis de brecha permite comparar el estado y desempeño real de la institución con uno o varios puntos de referencia.

Por lo tanto, para un efectivo análisis, medición de la situación actual y la mejora que se busca alcanzar a futuro, se desarrolla en tres fases:

1. Análisis del estado actual y expectativas de futuro.
2. Descripción de la brecha.
3. Solucionar la brecha.

Figura 4.32: Esquema del análisis de brecha GAP



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Fase 1

En la primera fase es necesario conocer las condiciones del área y tener una posible perspectiva de a dónde se desea llegar.

Cuestionario de análisis:

¿Dónde se está?

Se realiza una investigación con el fin de encontrar las causas de la falta de estandarización en el proceso.

¿Dónde se quiere llegar?

A presentar una propuesta de estandarización del proceso de potabilización de agua cruda en la planta potabilizadora de agua de la Municipalidad de Cartago, mediante la metodología DMAIC y el análisis de brecha, según la norma ISO 24512-2024.

Una vez desarrollado el cuestionario inicial, es importante hacer un resumen del estado actual del área y dónde se desea llegar en términos cuantitativos.

4.2.9.1 Estudio de insumos

Este insumo corresponde a materiales peligrosos que los operarios deben utilizar como parte del proceso de potabilización del recurso hídrico, por eso se efectúa una cuantificación aproximada.

Tabla 4.21: Análisis de insumos

INSUMOS				
Análisis de insumos				
Canales	Resultados obtenidos (1 noviembre 2024 al 30 abril 2025)	Resultados obtenidos (1 noviembre 2024 al 30 abril 2025)		
	Cantidad de consumo condiciones normales	Cantidad de consumo condiciones inusuales	Diferencia de margen	Diferencia de margen %
Sulfato de aluminio floculante	504 sacos	588 sacos	84	86%
Polímero catiónico	1,8 estañones	2,5 estañones	0,7	72%
Cloro gas	1,0 tonelada	1,3 tonelada	0,3	77%
Carbón activado	448 sacos	616 sacos	168	73%
			Promedio de margen % de insumos	77%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De este modo, la variabilidad de los insumos es en promedio de un 77 % mensual.

4.2.9.2 Matriz de riesgos laborales

Los riesgos son una condición laboral a la que todas las personas están expuestas; sin embargo, con una planeación y prevención ante riesgos e incidentes, en su mayoría se pueden evitar o mitigar.

Ahora bien, mediante una matriz de riesgos, se efectúa un estudio de riesgos laborales a los que están expuestos los operarios de la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago.

A continuación, se aprecia la matriz de riesgos laborales:

Tabla 4.22: Matriz de riesgos laborales

		Probabilidad				
		Nada probable	Ligeramente probable	Un poco probable	Muy probable	Extremadamente probable
Severidad	Insignificante	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
	Menor	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	Moderado	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	Crítico	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Catastrófico	Medio	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La matriz de riesgos laborales se desarrolla de modo vertical, de arriba abajo, en severidad (insignificante, menor, moderado, crítico y catastrófico) y en horizontal, de izquierda a derecha, en probabilidad (nada probable, ligeramente probable, un poco probable, muy probable, extremadamente probable).

Así, con ayuda de la observación y los comentarios de los operadores, se levanta una lista de riesgos presentes e implementos que de existir permitirían mitigar fatalidades y otros que por conocimiento deben estar en el plan de riesgos laborales.

La lista de riesgos identificados es la siguiente:

1. Ruido y vibración.
2. Pizarra informativa.
3. Limpieza y orden de los espacios.
4. Atención médica.
5. Temperaturas extremas.
6. Equipo de protección individual.
7. Posturas forzadas en el levantamiento de bolsas.
8. Sistema de evacuación.
9. Mantenimiento de la maquinaria.
10. Manual de uso de herramientas y equipo.
11. Rotulación en el manejo de químicos y áreas peligrosas.

Tabla 4.23: Análisis de riesgos laborales

		Probabilidad				
		Nada probable	Ligeramente probable	Un poco probable	Muy probable	Extremadamente probable
Severidad	Insignificante	Atención médica	Limpieza y orden de espacios			
	Menor	Temperaturas extremas	Ruido y vibración		Equipo de protección individual	
	Moderado	Pizarra informativa		Posturas forzadas en el levantamiento de bolsas		
	Crítico			Sistema de evacuación		Manual de uso de herramientas y equipo
	Catastrófico			Mantenimiento de maquinaria	Rotulación y manejo de químicos y áreas peligrosas	

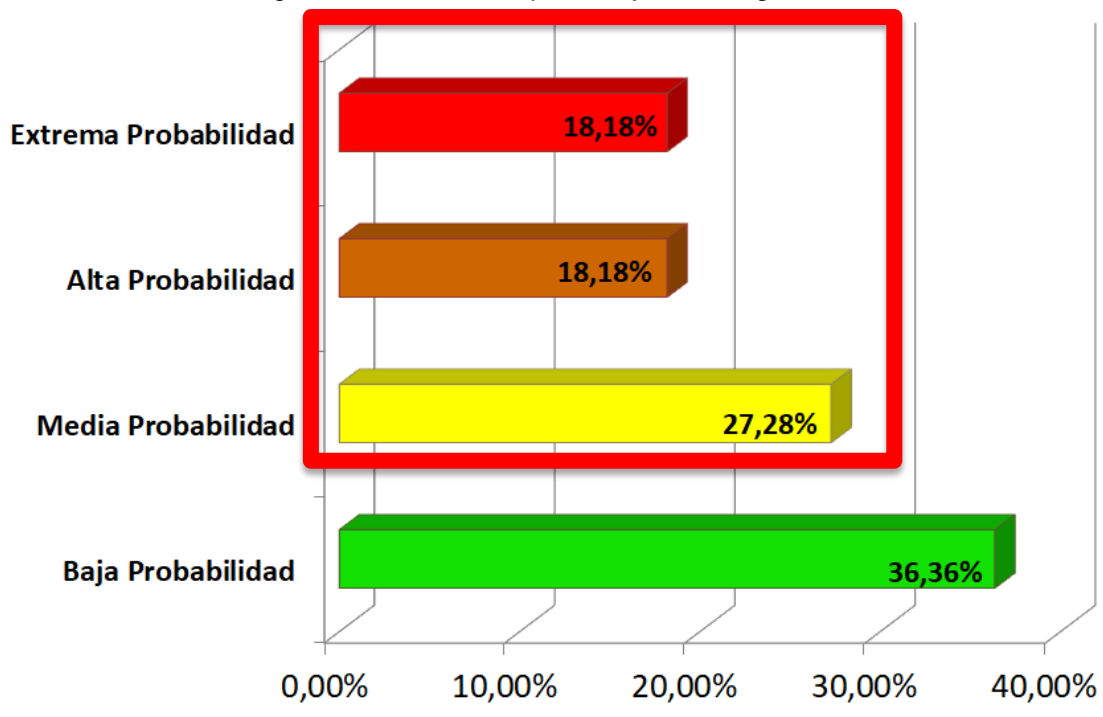
Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir de la lista obtenida, se colocan los riesgos según su grado de incidencia, como se aprecia en la tabla anterior:

1. Ruido y vibración: los motores de bombeo ocasionan un fuerte ruido y vibración.
2. Pizarra informativa: existente, pero no se usa para brindar información importante.
3. Limpieza y orden de los espacios: las áreas de trabajo se encuentran limpias y ordenadas, tarea que los mismos operarios realizan.
4. Atención médica: se cuenta con un doctor de empresa.
5. Temperaturas extremas: son regulares, varían según las condiciones climáticas.
6. Equipo de protección individual: los colaboradores cuentan solo con guantes y mascarilla, el demás equipo de protección es inexistente.

7. Posturas forzadas en el levantamiento de bolsas: no hay una guía por parte del Área de Salud Ocupacional que permita enseñar el levantamiento correcto del peso.
8. Sistema de evacuación: no hay rotulación ni un sistema ante incidentes.
9. Mantenimiento de la maquinaria: no se cuenta con una planeación.
10. Manual de uso de herramientas y equipo: no existe.
11. Rotulación en el manejo de químicos y áreas peligrosas: no existe.

Figura 4.33: Gráfico de porcentajes de riesgo laboral



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con la tabla de análisis de riesgos laborales ejecutada, se obtuvo con mayor puntaje, un **36,36 %**, la baja probabilidad ante riesgos existentes; sin embargo, la sumatoria de los riesgos restantes, desde media hasta extrema probabilidad, es de **63,64 %**, en otras palabras, la existencia de riesgos laborales es más del 50 %.

4.2.9.3 Estudio de mantenimiento de la maquinaria y herramientas

El mantenimiento de la maquinaria y herramientas es de suma importancia porque genera una vida útil prolongada e impide paros o limitaciones en la jornada laboral de los operarios.

Existen tres mantenimientos por evaluar:

1. Mantenimiento preventivo.
2. Mantenimiento correctivo.
3. Mantenimiento predictivo.

Tabla 4.24: Evaluación de la maquinaria y herramientas

Maquinaria y herramientas					
	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento predictivo	¿Funcional?	
				Sí	No
Sensores de niveles		x		x	
Sensores de encendido		x		x	
Estación de control		x		x	
Agitadores de piletas		x		x	
Bombas		x		x	
Equipo de pruebas y muestreo		x		x	
Válvulas		x		x	
Equipo de cómputo		x		x	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según la tabla de evaluación de la maquinaria y herramientas, las ocho identificadas están funcionando, pero no cuentan con un plan de mantenimiento previo o predictivo que permita extender su vida útil y evitar inconvenientes por paros de funcionamiento en el equipo. En términos porcentuales, un **100 %** de la maquinaria y herramientas reciben solo mantenimiento correctivo.

Tabla 4.25: Análisis de la fase 1

Fase 1			
Análisis de condiciones			
Canales	Resultados obtenidos (1 noviembre 2024 al 30 abril 2025)	Resultados deseados (1 noviembre 2024 al 30 abril 2025)	
	Diferencia de margen	Porcentaje de diferencia del margen	Dismuir porcentaje de diferencia del margen
Tiempo del proceso	20,31 minutos	64,01%	5%
Necesidad del manual	6 personas	54,54%	5%
Afectación al proceso de potabilización	7 personas	63,63%	5%
Variabilidad en el consumo de insumos	0,3-168 según conversión	77,00%	5%
Riesgos laborales	7 riesgos	63,64%	5%
Mantenimiento de maquinaria y herramientas	8 máquinas	100,00%	5%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El estado actual del análisis de condiciones se describe así:

Tiempo del proceso: en el estudio de tiempos, se obtiene que el tiempo estándar es de 56.44 minutos y el tiempo observado es de 36.13 en condiciones normales. Por criterio del observador, se conoce que se realizan ocho de estos ciclos del proceso aproximadamente, es decir, uno por hora. Al restar los tiempos correspondientes, se determina que la diferencia de margen es de 20,31 minutos.

Necesidad del manual: con ayuda del cuestionario de entrevista, se consulta a once personas y seis indican que se requiere urgentemente un manual sobre cómo atender el proceso.

Afectación del proceso potabilización: de igual manera, se entrevista a once personas de las cuales siete mencionan que el proceso y la respuesta atenta o incorrecta afecta a otras áreas y a la misma planta potabilizadora.

Variabilidad del consumo de insumos: mediante el análisis de insumos, se obtiene que en promedio hay una variabilidad de uso de un 77 % entre condiciones normales y condiciones inusuales.

Riesgos laborales: se identifican once riesgos laborales. Al respecto, siete presentan una clasificación de media a extrema, siendo un 63,64 % de posibles riesgos a los que se expone el personal.

Mantenimiento de maquinaria y herramientas: de las ocho máquinas observadas existentes, un 100 % no recibe ningún mantenimiento predictivo y preventivo, se reparan solo si fallan.

Fase 2

En la segunda fase, se describe la situación por medio de las brechas cuantitativas existentes.

Tabla 4.26: Análisis de la fase 2

Fase 2		
Descripción de la situación		
Existe brecha	¿De cuánto es la brecha?	¿Por qué existe la brecha?
20,31 minutos	64%	Por el tiempo de ciclo, tiempo de traslados y tiempos suplementarios
6 personas	55%	El personal coincide que una guía permitiría que todos trabajen uniformemente cada subproceso y en un orden correcto
7 personas	64%	El personal coincide que la respuesta en la planta potabilizadora complica las maniobras y procesos de la misma, afectando no solo aspectos internos del área, sino también externos
0,3-168 según conversión	77%	La variabilidad del consumo o uso de insumos es por condiciones climatológicas o según el operario atienda la situación que se presente
7 riesgos	64%	Porque la administración recientemente adquirió la planta potabilizadora y no se preparó de forma adecuada en planeación de riesgos laborales, no existe un plan de evacuación ni un sistema de información ante riesgos químicos u otros
8 máquinas	100%	No existe un planeamiento preventivo o predictivo para asistir en materia mecánica a las máquinas y herramientas

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Existen seis brechas resumidas de la situación definida y medida del estudio. Referente a esto, el mayor porcentaje de brecha es de **100 %** y el menor es de **55 %**, siendo la brecha analizada en su totalidad mayor al **50 %** de afectación en el proceso investigado.

Fase 3

En la tercera fase, se deben analizar los motivos detectados para hacer una lluvia de ideas de posibles soluciones, desde el criterio del observador.

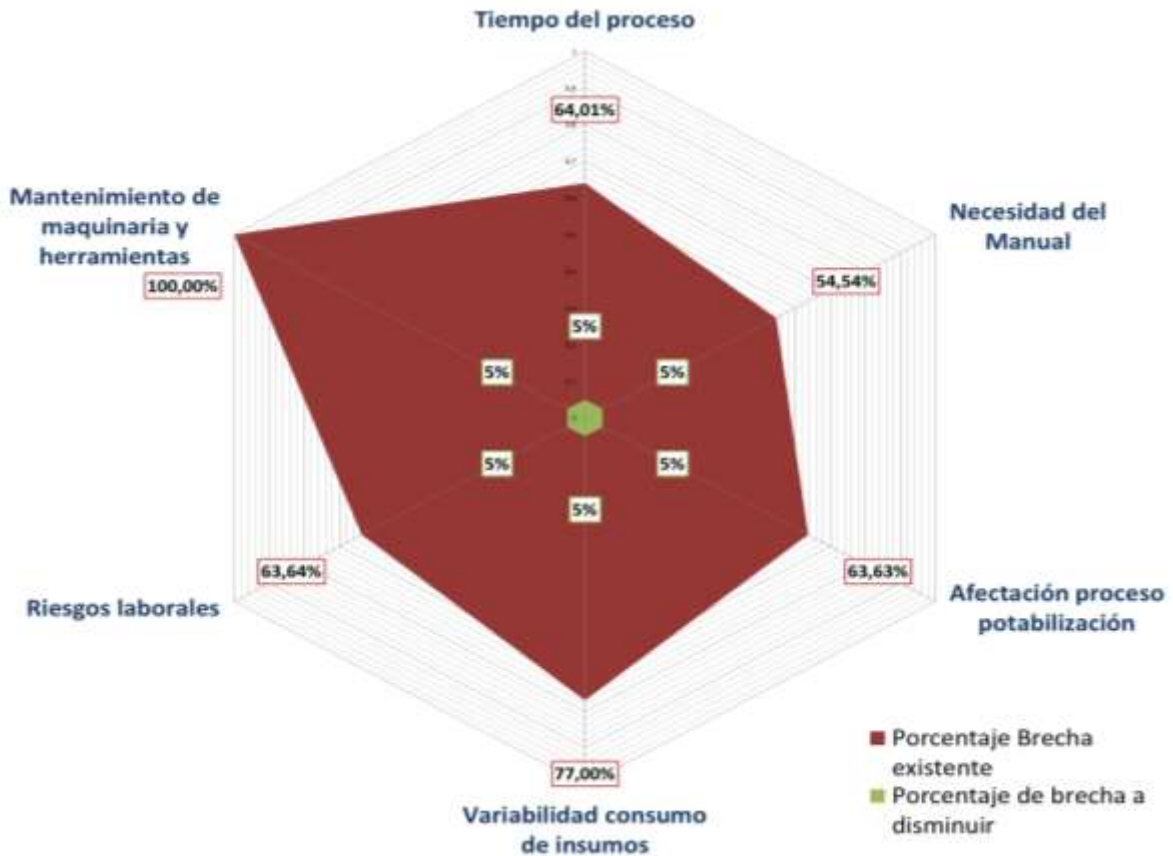
Tabla 4.27: Análisis de la fase 3

Fase 3	
Motivos	/ Soluciones
Por el tiempo de ciclo, tiempo de traslados y tiempos suplementarios.	Crear un orden para que las inspecciones se ejecuten en orden y no se realicen reprocesos por traslados.
El personal coincide que una guía permitiría que todos trabajen uniformemente cada subproceso y en un orden correcto.	Estandarizar el proceso.
El personal coincide que la respuesta en la planta potabilizadora complica las maniobras y procesos de la misma, afectando no solo aspectos internos del área, sino también externos.	Capacitar al personal y mejorar el canal de comunicación, permitiendo una interpretación y atención de las incidencias adecuadamente.
La variabilidad del consumo o uso de insumos es por condiciones climatológicas o según el operario atienda la situación que se presente.	Cada operario resuelve las incidencias de distintas maneras, por ello, se requiere optimizar o unificar los procesos.
Porque la administración recientemente adquirió la planta potabilizadora y no se preparó de forma adecuada en planeación de riesgos laborales, no existe un plan de evacuación ni un sistema de información ante riesgos químicos u otros.	Se requiere un plan de evacuación y un sistema de riesgos laborales, además de colocar la respectiva rotulación en áreas de manejo de sustancias peligrosas y medidas de evacuación ante incidentes.
No existe un planeamiento preventivo o predictivo para asistir en materia mecánica a las máquinas y herramientas.	Para prolongar el equipo, es necesario crear un mantenimiento preventivo o una guía rápida de los cuidados que se requieren, con un cronograma de revisión técnica predictiva.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Finalmente, se muestra el análisis de brecha por medio de un gráfico de radar:

Figura 4.34: Gráfico de radar



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el gráfico de radar, el margen porcentual por disminuir es considerable, ya que en su mayoría supera un 50 % de la afectación, representada por el color vino, a diferencia del porcentaje por disminuir propuesto de un 5 %, representado por una porción pequeña de color verde en el radar.

4.3 ANALIZAR

Como parte del proceso DMAIC, luego de haber definido y medido la situación actual en estudio, se identifican las causas profundas de los problemas y se plantean las oportunidades de mejora.

4.3.1 Lluvia de ideas

Este método suele realizarse en equipo, mediante la opinión creativa de los participantes. Estas ideas sirven para retroalimentar, adoptar, probar nuevos procedimientos y resolver problemas.

Para llevarlo a cabo, se debe seguir una secuencia de cuatro actividades, a saber:

1. Selección del tema.
2. Generación de ideas.
3. Registrar ideas.
4. Análisis y evaluación.

En este caso, con ayuda de la pregunta 10 del cuestionario más la opinión y criterio del observador, se obtienen trece ideas que brindan el panorama de afectación:

Figura 4.35: Lluvia de ideas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.3.2 Ishikawa

Conocido como diagrama de pescado, por su forma en espina de pescado, determina las causas potentes o posibles de modo gráfico por medio de 6 M, las cuales son:

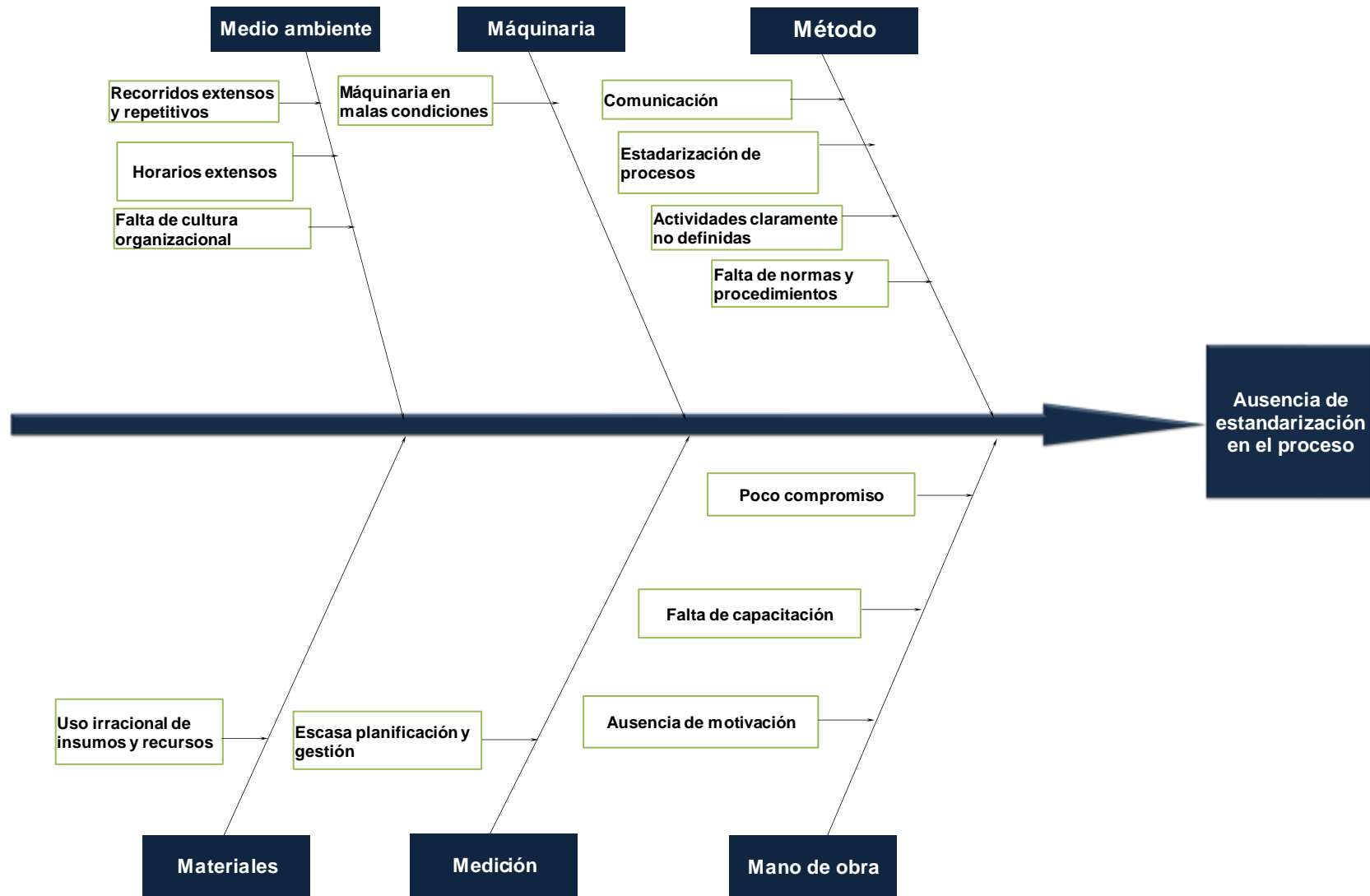
- M1: mano de obra.
- M2: maquinaria.
- M3: método.
- M4: medición.
- M5: medio ambiente.
- M6: materiales.

Referente a esta herramienta, Salesforce LATAM (2024) expresa:

La gran ayuda que el diagrama de Ishikawa le brinda a tu negocio consiste en facilitar la visualización de causas problema. Y esto porque su formato de espina de pescado nos permite observar con más claridad las etapas y procesos e identificar los principios propulsores de los problemas. Y, a continuación, resolverlos.

El diagrama de Ishikawa de esta investigación es el siguiente:

Figura 4.36: Diagrama de Ishikawa



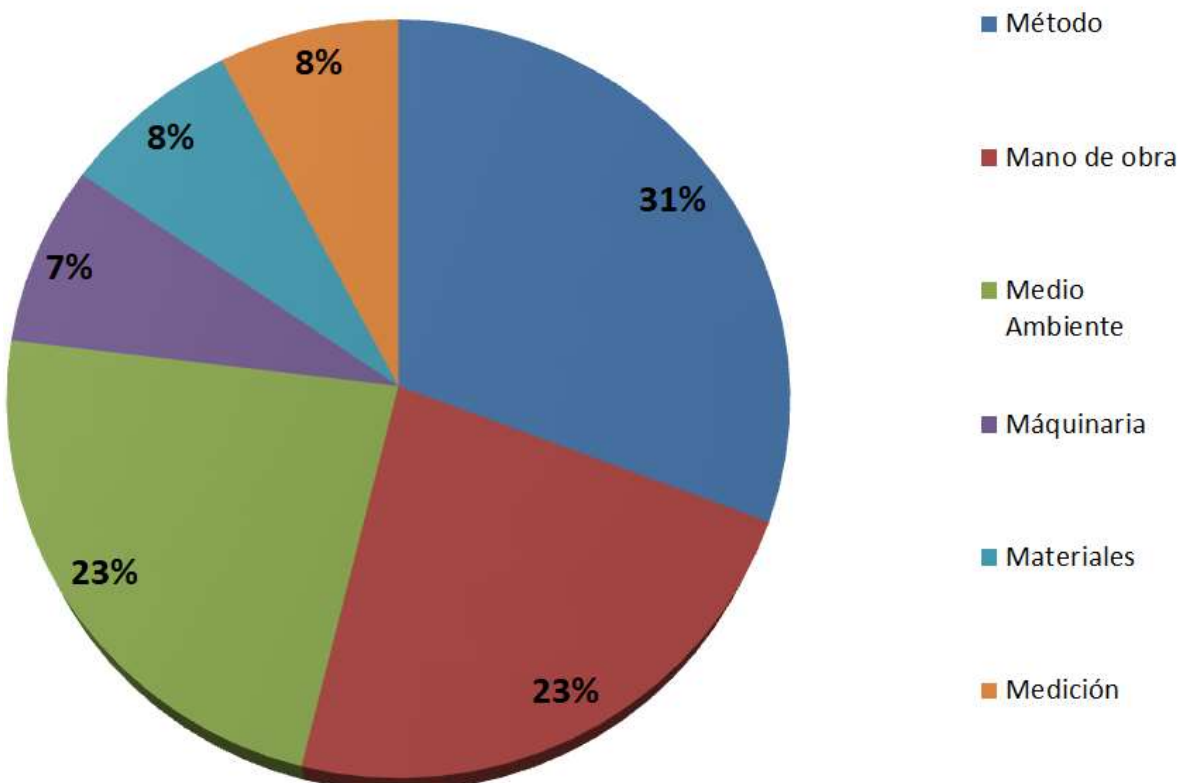
Fuente: Elaboración propia, 2025.

El diagrama de Ishikawa obtenido tiene como causa raíz la ausencia de estandarización en el proceso, a su vez dicho problema posee seis causas con sus respectivas subcausas.

La causa con mayor afectación es la de método con cuatro subcausas (comunicación inefectiva, estandarización de procesos, actividades no definidas claramente, faltas de normas y procedimientos), seguida de mano de obra con tres subcausas (poco compromiso, falta de capacitación y ausencia de motivación), luego está medio ambiente con tres subcausas (recorridos extensos y repetitivos, horarios extensos y falta de comunicación), después se encuentra maquinaria con un subprocesos (maquinaria en malas condiciones), posteriormente se ubica materiales con un subproceso (uso irracional de insumos y recursos) y, por último, medición con un subproceso (escasa planificación y gestión).

Lo anterior se expresa en porcentajes en la siguiente figura:

Figura 4.37: Gráfico de causa y efecto, Ishikawa



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.3.3 Multivoto

Esta herramienta se desarrolla bajo el método de reducir listas extensas y poder manipular un rango más accesible, la misma se elabora mediante la votación de los participantes. En concreto, se compone de estas tres etapas:

1. Reducción de la lista.
2. Proceso de votación.
3. Análisis de resultados.

Tabla 4.28: Multivoto

N°	Causas posibles	Votación del personal						Total de puntuación
		1	2	3	4	5	6	
1	Escasa planificación y gestión	10	5	10	15	20	15	75
2	Falta de capacitación	0	20	0	15	20	20	75
3	Estadarización de procesos	5	0	10	20	20	15	70
4	Falta de normas y procedimientos	10	0	15	10	10	20	65
5	Maquinaria en malas condiciones	20	5	10	20	10	0	65
6	Ausencia de motivación	10	20	15	0	0	0	45
7	Uso irracional de insumos y recursos	5	5	0	10	10	10	40
8	Falta de cultura organizacional	20	10	0	10	0	0	40
9	Comunicación inefectiva	5	5	10	0	0	10	30
10	Horarios extensos	5	5	20	0	0	0	30
11	Poco compromiso	0	10	10	0	0	10	30
12	Recorridos extensos y repetitivos	10	10	0	0	0	0	20
13	Actividades claramente no definidas	0	5	0	0	10	0	15
Total		100	100	100	100	100	100	600

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Respecto al primer punto, en este caso no se reduce la lista de trece elementos obtenida en la lluvia de ideas, al considerarse por el observador que abarca las necesidades estudiadas en el proceso de investigación.

En cuanto al segundo paso, se realiza el proceso de votación en el que se eligen los cinco operarios y un jefe o coordinador. A cada participante se le asignan 100 puntos para que los distribuyan libremente entre las trece causas posibles.

Por último, en la tercera fase se efectúa un análisis de resultados en el cual se ordenan las causas de mayor a menor según el puntaje resultante de izquierda a derecha.

4.3.4 Pareto

El Pareto permite visualizar el 80 % de las consecuencias del 20 % de las causas. Sobre esta herramienta, Joseph (1975) menciona:

El principio de Pareto, denominado también regla del 80/20 o ley del 80/20, es un concepto formulado por el economista italiano Vilfredo Pareto en 1896.

En concreto, Pareto estudió la propiedad de la tierra en Italia y lo que descubrió fue que el 20 % de los propietarios poseían el 80 % de las tierras, mientras que el restante 20 % de los terrenos pertenecía al 80 % de la población restante.

En el caso de la planta potabilizadora, el Pareto obtenido es el siguiente:

Tabla 4.29: Pareto de la planta potabilizadora

Pareto					
Nº	Categoría/Descripción	Total de puntuación	Frecuencia Acumulada	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
1	Escasa planificación y gestión	75	75	13%	13%
2	Falta de capacitación	75	150	13%	25%
3	Estandarización de procesos	70	220	12%	37%
4	Falta de normas y procedimientos	65	285	11%	48%
5	Maquinaria en malas condiciones	65	350	11%	58%
6	Ausencia de motivación	45	395	8%	66%
7	Uso irracional de insumos y recursos	40	435	7%	73%
8	Falta de cultura organizacional	40	475	7%	79%
9	Comunicación inefectiva	30	505	5%	84%
10	Horarios extensos	30	535	5%	89%
11	Poco compromiso	30	565	5%	94%
12	Recorridos extensos y repetitivos	20	585	3%	98%
13	Actividades claramente no definidas	15	600	3%	100%

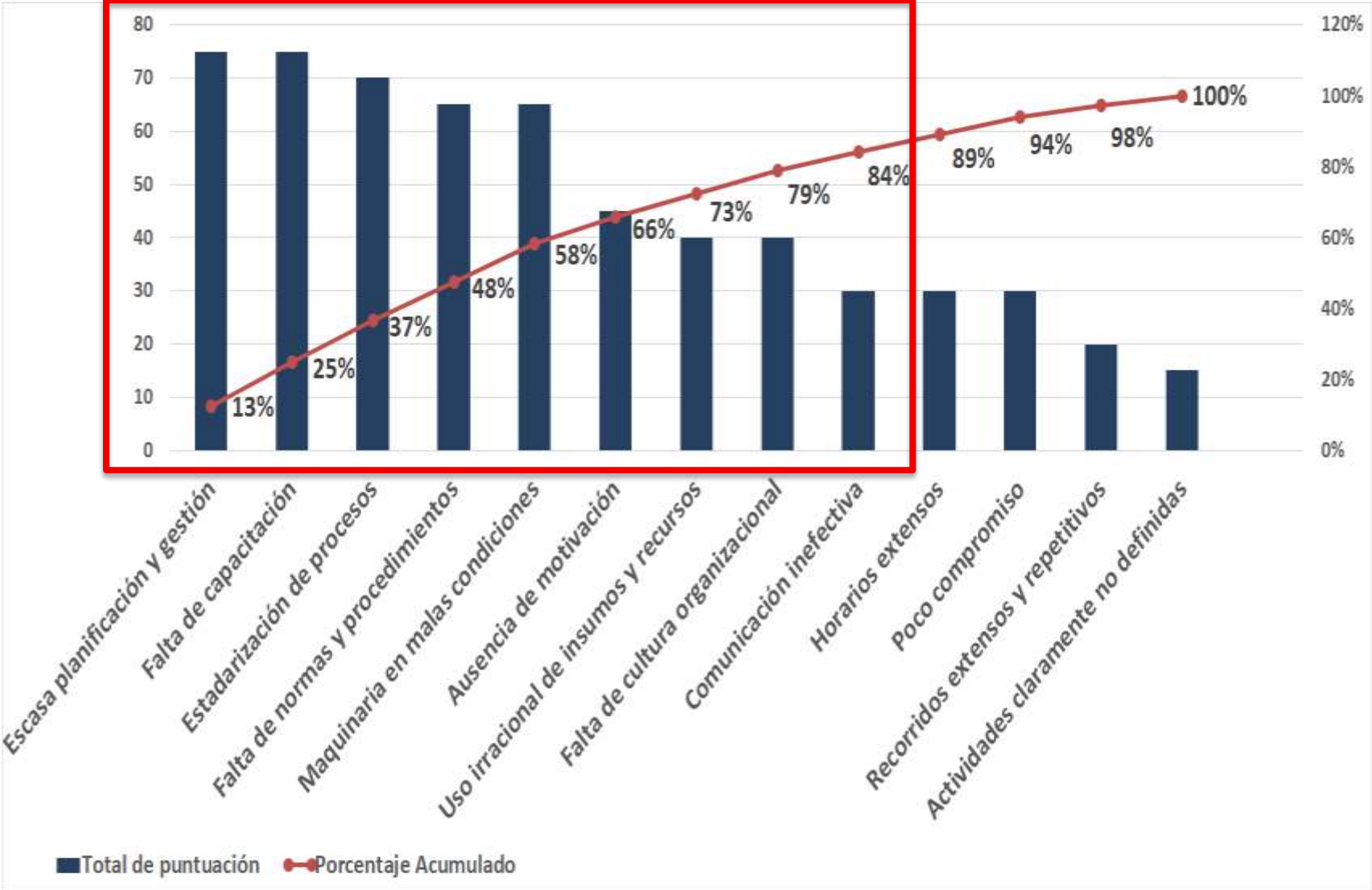
Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la lista ordenada obtenida del multivoto, se aplica la fórmula de frecuencia acumulada que consiste en sumar la primera cifra con la segunda y así sucesivamente hasta lograr una cifra acumulativa que sume los 600 puntos distribuidos inicialmente en el multivoto.

En la columna “porcentaje” se establece el resultado porcentual de los 100 puntos, mientras que en “porcentaje acumulado” se suman los porcentajes sucesivamente hasta obtener un resultado de 100 %.

Al aplicar la ley **80/20**, se obtiene como resultado que un **79 %** de las consecuencias es por **falta de cultura organizacional**, en donde un **25 %** de las causas es por **falta de capacitación**. Lo expuesto se representa gráficamente así:

Figura 4.38: Gráfico de Pareto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.3.5 Diagrama de relación o interrelación

Esta herramienta permite visualizar la conexión existente entre las distintas causas y problemas identificados en el proceso en estudio; por ello, es importante resaltar que mediante el Pareto se seleccionan las ocho principales causas:

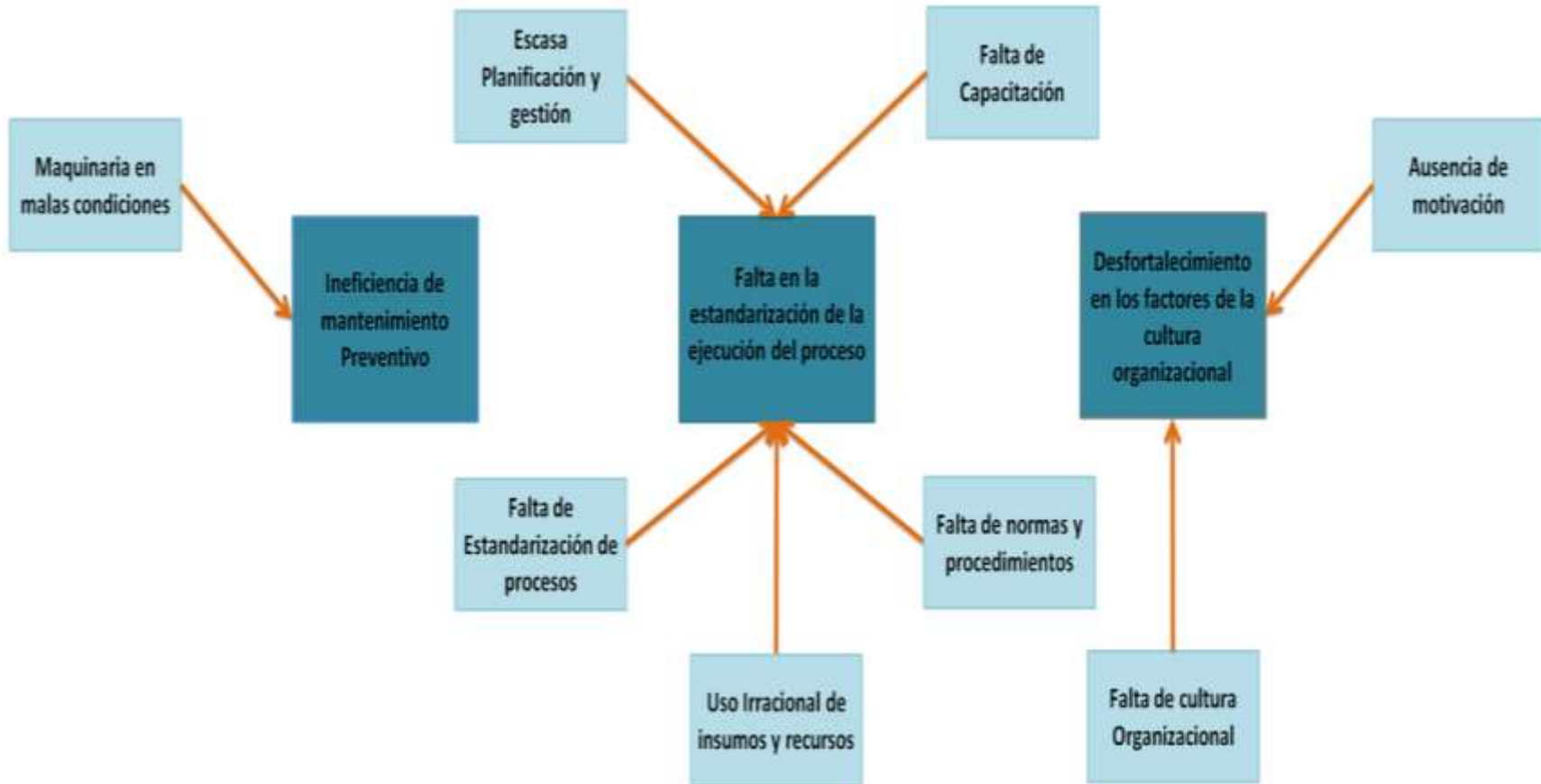
1. Falta de normas y procedimientos.
2. Falta de estandarización de procesos.
3. Uso irracional de insumos y recursos.
4. Falta de cultura organizacional.
5. Ausencia de motivación.
6. Maquinaria en malas condiciones.
7. Falta de capacitación.
8. Escasa planificación y gestión.

Como principal problema, con un 79 % de las consecuencias, se encuentra la falta de estructura organizacional, lo cual causa falta de capacitación, maquinaria en malas condiciones y usos irracionales de insumos y recursos.

Esta falta de estructura organizacional también causa falta de estandarización del proceso y falta de normas y procedimientos, pues al no haber normativa ni procedimientos, se genera escasa planificación y gestión, de este modo se origina igualmente la ausencia de motivación y el uso irracional de recursos.

A continuación, se indica el diagrama de interrelación:

Figura 4.39: Diagrama de interrelación



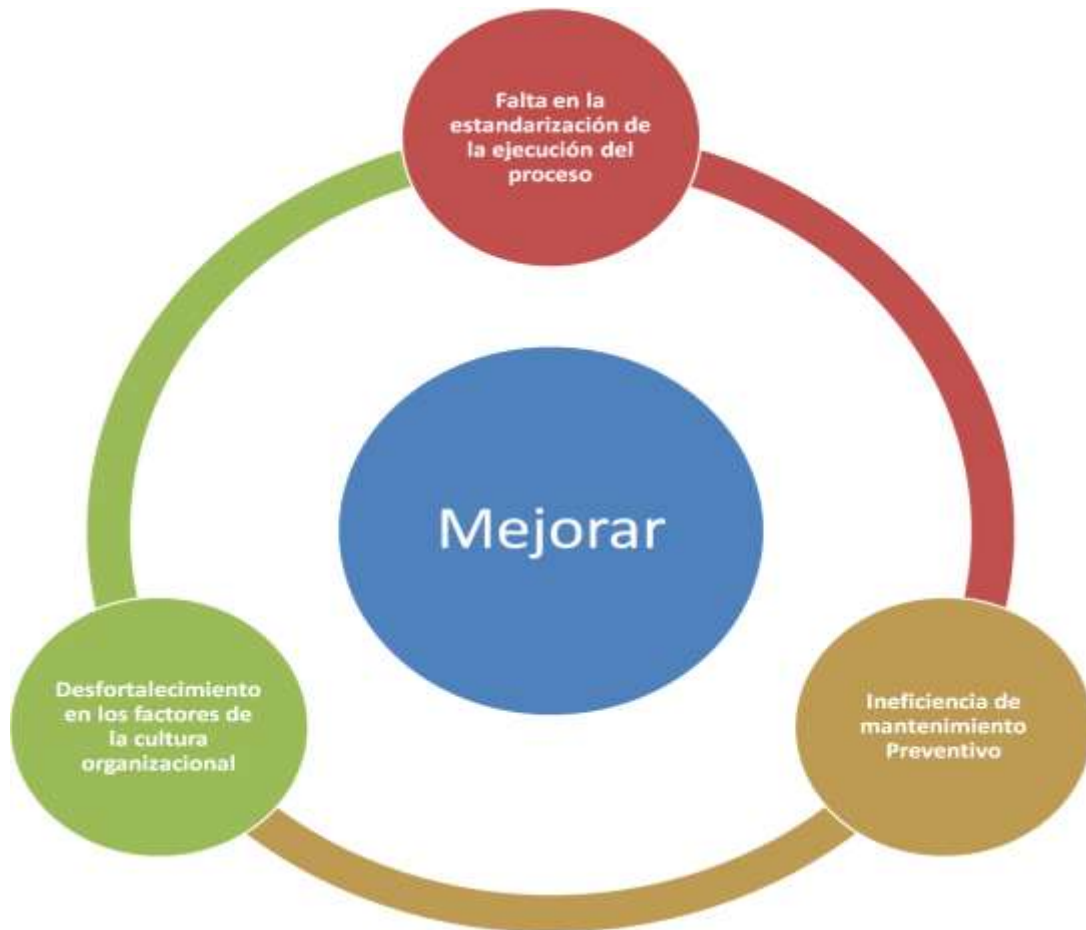
Fuente: Elaboración propia, 2025.

CAPÍTULO V. PROPUESTA

En el capítulo anterior, con ayuda del diagrama de interrelación, se detectan tres principales causas con mayor porcentaje de criticidad, a saber:

1. Ineficiencia de mantenimientos preventivos.
2. Desfortalecimiento en los factores de la cultura organizacional.
3. Falta de estandarización de la ejecución del proceso.

Figura 5.1: Causas identificadas para mejorar



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1 MEJORAR

En este apartado se exponen las propuestas de mejora según el análisis previo realizado en el proyecto de investigación, en el que por medio de distintas herramientas ingenieriles se detectan las principales causas o problemas que requieren atenderse con mayor prontitud.

5.1.1 Propuesta A. TPM

Mediante esta propuesta se busca disminuir la **ineficiencia de mantenimientos preventivos** en la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago y se compone de las siguientes causas:

- Maquinaria en malas condiciones

Tabla 5.1: Distribución de las funciones en cuanto al TPM

Responsables	Funciones
1) Ingeniero electromecánico	Levantar los pasos y lineamientos sobre la propuesta de TPM, además de velar por su implementación
2) Recursos Humanos	Recolectar e impartir la capacitación en materia de la propuesta de TPM
Participantes	Funciones
1) Coordinador de área	Supervisar el TPM
2) Operarios	Aprendices en mantenimiento autónomo
3) Ingeniero electromecánico	Guía, responsable e implementador del TPM
4) Recursos Humanos	Recolector y capacitador

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El TPM es un sistema que les permite a los colaboradores involucrarse, ayudar, aprender y comunicarles a los respectivos encargados si la maquinaria y herramientas presentan alteraciones o requieren cambios, lo cual hace más productivo el equipo y erradica de forma considerable los paros de producción por maquinaria en malas condiciones o pérdida de equipo dañado por deterioro.

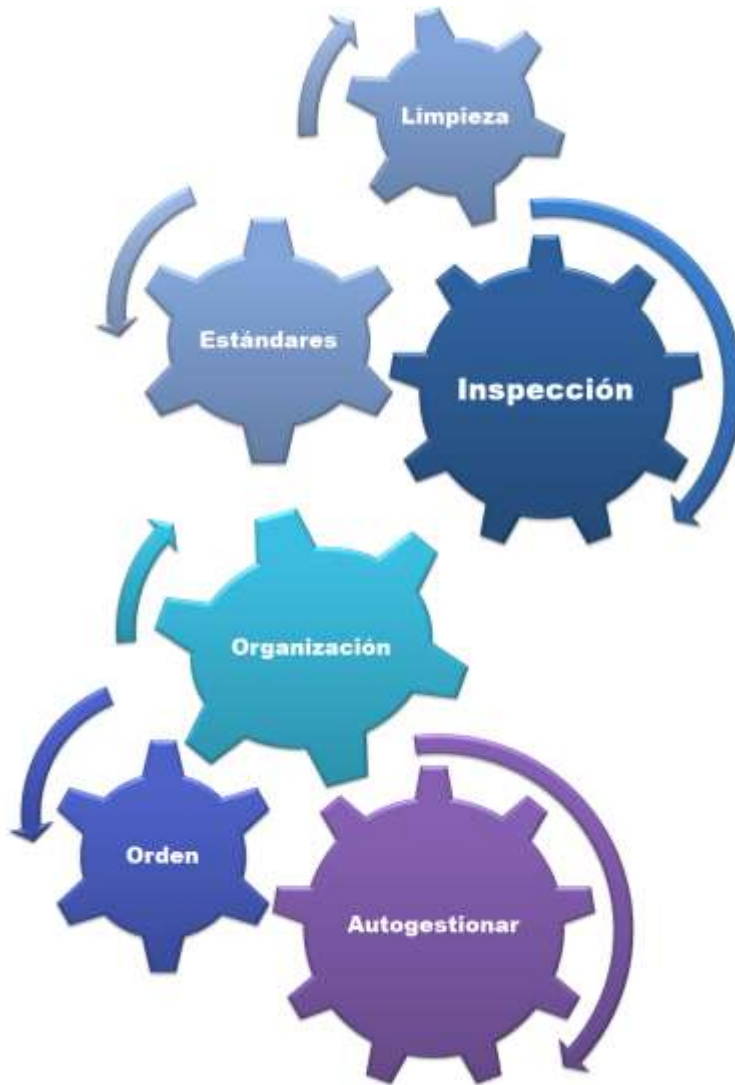
TPM tiene ocho pilares importantes que se detallan a continuación:

- 1) Mantenimiento autónomo:** los colaboradores llevan a cabo funciones de limpieza, calibración y otros en el equipo. En cuanto a esto, con paños microfibrá y alcohol de uso propílico, se debe limpiar el exterior de la estructura de la maquinaria o herramienta. La participación en este pilar es de los operarios de planta.
- 2) Mejora enfocada en *kaizen*:** al estar el colaborador en contacto con el equipo, puede detectar mejoras constantemente. Para ello, se utiliza el *kaizen* como método de control y la participación está a cargo del ingeniero de control interno, el coordinador de área y el ingeniero de electromecánica.

- 3) **Mantenimiento planificado:** la planeación previa posibilita eliminar fallar y evitar las mismas a futuro, en un ambiente más controlado. Al respecto, el coordinador de área es el responsable de calendarizar previamente los mantenimientos.
- 4) **Gestión de la calidad:** un mantenimiento correcto permite que el servicio prestado sea de la calidad esperada. Los operadores deben responsabilizarse de hacer una limpieza adecuada según se haya establecido estructuralmente y el coordinador de área debe supervisar que la limpieza sea adecuada para mantener la calidad del mantenimiento.
- 5) **Gestión temprana de equipos:** asegurarse de que la colaboración de los operarios es fácil para ellos. Mediante la capacitación, el personal puede gestionarse tempranamente. Los responsables de este pilar son Recursos Humanos y el ingeniero de electromecánica.
- 6) **Capacitación y educación:** es importante que los colaboradores conozcan el funcionamiento del TPM; por lo tanto, el ingeniero de electromecánica y el Área de Recursos Humanos son los responsables.
- 7) **Seguridad, salud y medio ambiente:** se debe priorizar un ambiente adecuado y sano para los colaboradores con una guía de cómo se debe efectuar el mantenimiento autónomo. El responsable de esta área es el ingeniero en salud ocupacional.
- 8) **TPM en la administración:** los altos mandos deben ser parte de la inspección del equipo y alertas. Es un trabajo constante y en conjunto; por eso, los operarios y el coordinador de área deben ser el equipo responsable de observar y brindar las observaciones positivas y de mejora identificadas.

Con el fin de que los ocho pilares se desarrollen simultáneamente, se recomienda seguir seis pasos rápidos, usando la ayuda visual en cada maquinaria o herramienta. El afiche para ejecutar el mantenimiento recomendado es el siguiente:

Figura 5.2: Afiche recomendado del TPM



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Siguiendo la indicación del TPM, se muestra la siguiente tabla de control del TPM, de autogestión para el área de la planta potabilizadora de Cartago:

Tabla 5.2: Guía del TPM de la planta potabilizadora

Mantenimiento productivo total				
Máquinas	Limpieza	Inspección	Calibración	Reemplazo
Sensores de niveles	Se debe sacar el dispositivo y limpiar los sensores en caso de tener maleza o suciedad	Revisión del funcionamiento adecuado	N/A	Después de la limpieza, no se recupera un estado funcional, se deben reemplazar los sensores
Sensores de encendido				
Estación de control	Limpieza del tablero	Revisión del funcionamiento adecuado	N/A	N/A ***Está bajo contrato de tercerización
Agitadores de piletas	Limpieza de aletas o agitadores	Revisión del funcionamiento adecuado	N/A	Después de la limpieza, no se recupera un estado funcional, se deben reemplazar los agitadores
Equipo de pruebas y muestras	Limpieza de cada pieza	Revisión del funcionamiento adecuado	Calibrar filtros y tornillos	Después de la limpieza, no se recupera un estado funcional, se deben reemplazar las piezas
Bombas	Limpieza externa o suciedad	Revisión del funcionamiento adecuado	N/A	N/A ***Está a cargo del personal de mantenimiento
Válvulas	Limpieza externa o suciedad	Revisión del funcionamiento adecuado	N/A	N/A ***Está a cargo del personal de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Esta guía del TPM cubre las maquinarias que se encuentran dentro del proceso de potabilización del agua. En cuanto a la misma, es fundamental implementarla de manera periódica, aprovechando los turnos en los que hay más de un colaborador, preferiblemente el turno B de 2:00 p.m. a 10:00 p.m., cuando se experimentan menos

variables y consumo, lo que permite dividir las labores sin desatender el ciclo productivo establecido, lo cual no incurriría en tiempo ni costos adicionales.

Por último, como parte de la propuesta, para llevar un control de la aplicación del mantenimiento autónomo o productivo, se brinda una plantilla de seguimiento:

Tabla 5.3: Muestra de la plantilla de control del TPM para la planta potabilizadora

Control de Mantenimiento productivo total						
Máquinas	Limpieza	Inspección	Calibración	Reemplazo	Fecha de Aplicación	Responsable
Sensores de niveles	X				2025	Operario A
Sensores de encendido		X		X	2025	Operario B
Estación de Control					2025	Operario A
Agitadores de Piletas		X			2025	Operario B
Equipo Pruebas y Muestras			X		2025	Operario A
Bombas					2025	Operario B
Válvulas		X		X	2025	Operario A

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por medio de la propuesta A de TPM, se maximiza la eficiencia de los equipos, lo que disminuye costos y se aprovechan los equipos al máximo porcentaje posible porque no sufren fallas imprevistas o constantes por la maquinaria en mal estado. Además, se logra un servicio de mejor calidad, con menos defectos, y se evitan reclamos y descontentos por parte de los consumidores finales.

En el TPM es importante el conocimiento, identificación y aportación de todos los involucrados en los procesos, ya que su participación ayuda al cuidado y mantenimiento de los equipos.

5.1.2 Propuesta B. Organización teal (verde azulado)

Mediante esta propuesta se busca disminuir el **desfortalecimiento en los factores de la cultura organizacional y la falta de estandarización en la ejecución del proceso.**

Al respecto, se compone de las siguientes causas:

- Falta de cultura organizacional.
- Ausencia de motivación.
- Escasa planificación y gestión.
- Falta de normas y procedimientos.
- Uso irracional de los insumos y recursos.

Tabla 5.4: Distribución de las funciones en cuanto a la organización teal

Responsables	Funciones
1) Jefe de planta	Guiar el desarrollo de la propuesta a una organización <i>teal</i>
2) Recursos Humanos	Recolectar e impartir la capacitación en cuanto a la propuesta de organizaciones <i>teal</i>
3) Ingeniero de control interno	Levantamiento del proceso correcto de la propuesta (autogestión, plenitud y evolución)
Participantes	Funciones
1) Jefe de planta	Velar por el cumplimiento y sano desarrollo de la propuesta
2) Coordinador de área	Aprendices y equipo de trabajo en rumbo a una organización <i>teal</i>
3) Operarios	Aprendices y equipo de trabajo en rumbo a una organización <i>teal</i>
4) Ingeniero de informática	Convertir las indicaciones manuales a digitales
5) Recursos Humanos	Recolector y capacitador
6) Ingeniero de control interno	Supervisar el cumplimiento del proceso de la propuesta

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la investigación previa realizada, se determina que al adquirirse la administración total de la planta potabilizadora, se formó de modo apresurado una estructura organizacional sin un análisis oportuno, esto porque el abastecimiento de agua potable no se podía detener.

Por consiguiente, para una estructura organizacional adecuada, se utiliza un modelo nuevo llamado organizaciones *teal* del autor Federic Laloux, el cual posee tres principios claves y posibilita distribuir las decisiones y labores entre el equipo y no solo en la parte alta de la jerarquía. El proceso es el siguiente:

Figura 5.3: Principios de la organización teal

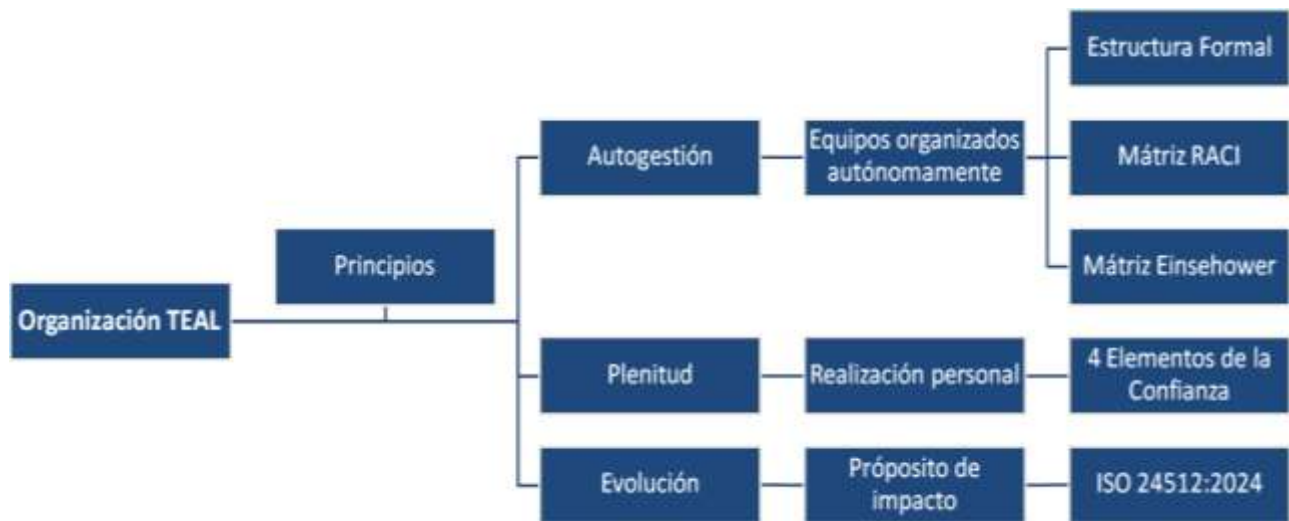


Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con estos tres principios básicos se desarrollan diferentes herramientas que ayudan a reducir dicho desfortalecimiento.

Mediante el análisis previo, se detecta que la organización carece de una estructura formal para la planta potabilizadora, sin embargo, la institución en general posee una jerarquía muy rígida de estructura vertical. Por lo tanto, referente a la situación de falta de trabajo en equipo, utilizar un ordenamiento en la planta potabilizadora, pero siguiendo el patrón de la institución, no aportaría unión. Por esto, las organizaciones *teal* son estructuras definidas con jerarquías horizontales y autosuficientes, lo que aporta un modelo evolutivo no solo al área, sino a toda la institución. A continuación, se muestra la metodología propuesta:

Figura 5.4: Propuesta de desarrollo de la organización teal



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se describe cada principio y las respectivas herramientas.

5.1.2.1 Autogestión

La autogestión beneficia porque impulsa a que los empleados sean más proactivos, por ende, los procesos son más autosuficientes, y se obtienen mejores resultados y empleados con una mayor identificación.

De este modo, para este primer principio, se propone implementar tres herramientas:

1. Estructura formal (organigrama, definir roles).
2. Matriz RACI.
3. Matriz de Eisenhower.

5.1.2.1.1 Establecer una estructura formal y definir roles

En la investigación no se detecta un organigrama formal específico del área, por lo que se define una estructura formal representada gráficamente, lo cual permite que los colaboradores visualicen qué posición y rol cumplen en la organización.

A pesar de existir muchas organizaciones con metodologías sin organigrama, donde las responsabilidades son libres, con el análisis anterior se identifica que en el área hay una gran necesidad de comprender cuál es el rol de cada uno y a quién se le debe proporcionar la información de las circunstancias experimentadas.

Figura 5.5: Propuesta de organigrama



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Esta estructura básica facilita visualizar la posición que deben desempeñar y, en caso de una situación de apoyo o solución, a quién deben acudir.

Una vez expuesta la localización del puesto en una estructura visual, se procede a describir los roles por cumplir en la organización y sus funciones, lo que es responsabilidad de **Recursos Humanos**.

Definición de roles

Los roles definidos posibilitan saber las cualidades requeridas para asumir el rol correspondiente, además de las funciones que cada uno debe ejercer, con el fin de no invadir roles de otros compañeros o áreas.

Asimismo, los roles determinados ayudan a que el personal disminuya su tiempo ocioso y aumente el efectivo, porque pueden planificar de manera adecuada las responsabilidades establecidas.

Tabla 5.5: Roles de la planta potabilizadora

Puesto	Cualidades	Funciones
Jefe de planta	Ingeniero en biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> *Atención a las incidencias de la potabilización del agua *Análisis y pruebas del laboratorio químico en cuanto a insumos y sustancias *Asistencia de reuniones ante la Dirección y Alcaldía
Coordinador de área	Estudiante avanzado de ingeniería/técnico en potabilización de agua	<ul style="list-style-type: none"> *Supervisión del personal *Planificación de insumos *Ingreso de pedidos de insumos y materiales en el sistema *Rendición de cuentas al jefe de planta
Operario de planta	Técnico en potabilización de agua	<ul style="list-style-type: none"> *Revisión de condiciones *Muestreo de las condiciones *Reportar acciones mediante Teams *Realizar aforo de dosificaciones *Revisión de piletas de reactivo *Revisión de módulos y volúmenes

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Teniendo el organigrama y los roles definidos, se propone utilizar un archivo compartido en la aplicación Teams. Relacionado a esto, ya la planta cuenta con una computadora, al igual que la jefatura, como medio de comunicación. Así, se realiza la solicitud al coordinador de área de la instalación de Teams en la planta potabilizadora.

5.1.2.1.2 Matriz RACI

En cuanto a la matriz RACI, los responsables del desarrollo de la herramienta son el ingeniero de control interno, Recursos Humanos, el coordinador de área, el ingeniero de control interno y los operarios.

Esta matriz permite llenar un control con detalles y según la clasificación de cuatro letras de acuerdo con la responsabilidad del colaborador. También, tanto el coordinador como el jefe pueden estar al tanto de cómo se lleva a cabo el turno, lo que elimina dos procesos del diagrama de flujo:

1. La entrega de turno.
2. Traslado a la jefatura.

La tabla para llenar en el archivo compartido es la siguiente:

Tabla 5.6: Matriz RACI

R: Responsable A: Aprobador	C: Consultado I: Informado	Turno A				Turno B				Turno C			
		R	A	C	I	R	A	C	I	R	A	C	I
Revisión de condiciones													
Muestreo de condiciones													
Reportar acciones mediante Teams													
Realizar aforo de dosificaciones													
Revisión de piletas de reactivo													
Revisión de módulos y volúmenes													

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El rol de clasificador consiste en colocar en cada una de las tareas la letra correspondiente a cada funcionario y un detalle en rojo cuando hay modificaciones relevantes. En este caso, las seis funciones son responsabilidad del operario, por lo que las casillas se rellenan de esta manera:

- R: responsable = operarios.
- A: aprobador = coordinador de área.
- C: consultado = operarios.
- I: informado = coordinador de área/jefe de planta.

A continuación, se brinda un ejemplo:

Tabla 5.7: Ejemplo de la matriz RACI de la propuesta

R: Responsable A: Aprobador	C: Consultado I: Informado	Turno A				Turno B				Turno C			
		R	A	C	I	R	A	C	I	R	A	C	I
Revisión de condiciones		X	X										
Muestreo de condiciones		X		X									
Reportar acciones mediante Teams		X <i>*Bajos niveles de agua, inferior a lo permitido,</i>	X <i>*Se consulta a la empresa responsable de embalse</i>										
Realizar aforo de dosificaciones		X			X								
Revisión de piletas de reactivo		X											
Revisión de módulos y volúmenes		X											

Fuente: Elaboración propia, 2025.

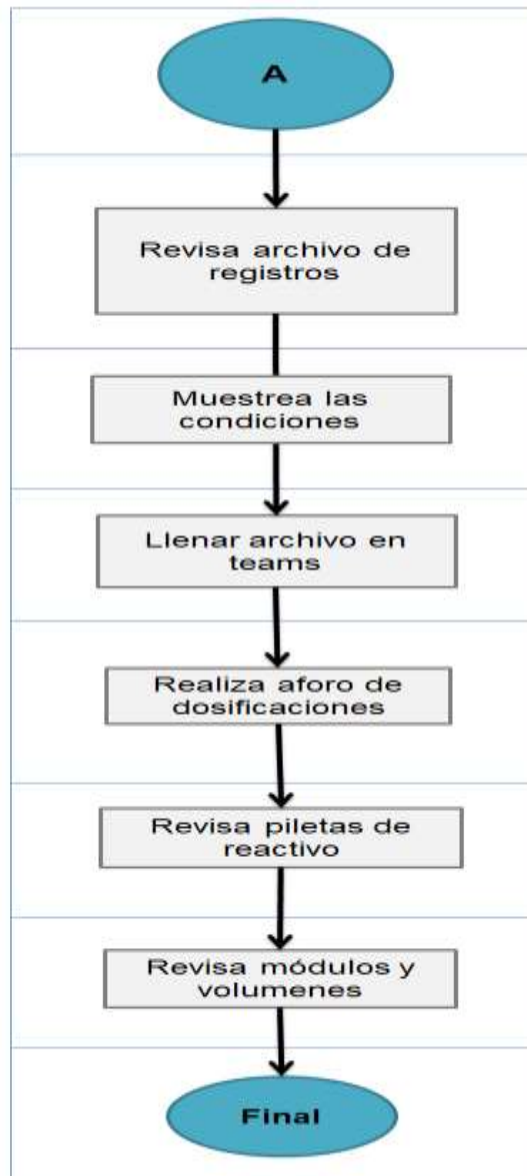
Con base en el tiempo establecido en el cursograma y realizando un ejercicio de prueba con uno de los operarios, se estima que aproximadamente se logra la siguiente reducción de tiempo:

1. La entrega de turno: 0.05 h (**3.0 minutos**).
2. Traslado a la jefatura: 0.02 h (**1.2 minutos**) y con la implementación de Teams, se elimina el traslado a la jefatura de **12 metros**.

Al final de esta propuesta, se reducen 4,2 minutos en total y el ingreso de la información en el archivo es de aproximadamente 2.0 minutos, lo que da un beneficio restante de 2.2 minutos reducidos en el proceso.

El diagrama de la propuesta A con la reducción de pasos queda de la siguiente manera:

Figura 5.6: Propuesta de un diagrama de flujo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El diagrama inicial consta de ocho pasos, pero la presente propuesta es de seis pasos, sin afectar el proceso de potabilización hídrica y disminuyendo un 25 % de las labores.

5.1.2.1.3 Matriz de Eisenhower

Esta herramienta se dirige en beneficio del coordinador de área. Es una metodología de apoyo visual que permite planificar y gestionar mejor las tareas de la planta potabilizadora, como parte de las funciones de supervisión y control de la misma. Para

ello, los responsables son: Recursos Humanos, el jefe de planta y el coordinador de área.

La matriz de Eisenhower facilita que el personal utilice y gestione mejor el tiempo, clasificando las tareas de menos importantes o urgentes a más importantes o urgentes, con el fin de brindar la atención que requiere cada tarea en un tiempo prudente y sin descuidar algún detalle. La matriz se desarrolla así:

Figura 5.7: Matriz de Eisenhower



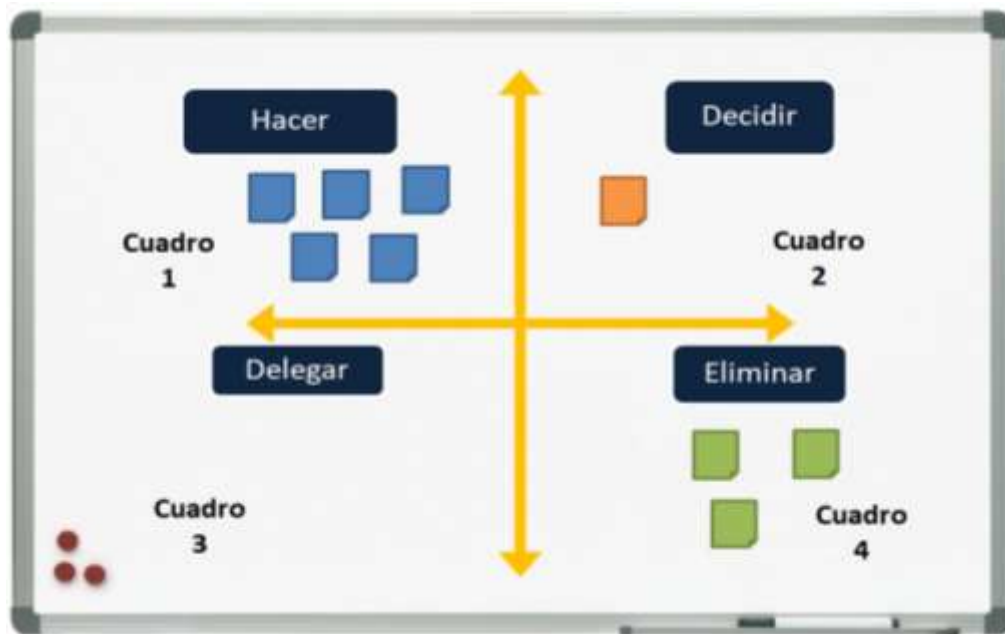
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Es necesario que el coordinador siga la siguiente lista de pasos de la matriz de Eisenhower:

1. **Lista de tareas:** levantar un listado de las labores que son parte de sus funciones.
2. **Clasificación de la urgencia e importancia:** estudiar y analizar cada labor enlistada y organizar si es urgente, importante o ambas.
3. **Creación de la matriz:** se coloca la matriz de Eisenhower en una pizarra y, con marcadores, se debe anotar en cada recuadro la labor, según corresponda.

4. **Asignación de tareas:** una vez dibujada la matriz en la pizarra, se pegan las tareas.
5. **Priorización:** clasificadas las tareas en los recuadros respectivos, se elige cuáles realizar primero.
6. **Acción:** ejecutar las tareas en el orden recomendado:
 - Cuadro 1 (urgente):** se deben llevar a cabo de inmediato.
 - Cuadro 2 (importante):** se pueden planificar a plazo o futuro.
 - Cuadro 3 (urgente):** se delegan las labores.
 - Cuadro 4 (no urgente/no importante):** se eliminan o se posponen.
7. **Evaluación y ajustes:** es fundamental revisar qué tareas retirar y cuáles se han finalizado y renovarlas periódicamente, esto puede ser en un lapso quincenal o mensual.

Figura 5.8: Ejemplo de la matriz de Eisenhower de la propuesta



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.2.2 Plenitud

La plenitud laboral se refiere a que cada colaborador se siente como un ser humano y no como un empleado o número más. De este modo, la plenitud beneficia a que los

empleados se sientan satisfechos y comprometidos con su labor, y alcancen un potencial muy alto en su puesto.

Ahora bien, para este principio, se asigna como responsable a **Recursos Humanos**. Además, para aumentar la plenitud, se recomienda seguir la estructura de los cuatro elementos de la confianza, con base en una capacitación motivacional por parte de Recursos Humanos. Se propone la siguiente estructura por desarrollar:

Figura 5.9: Los cuatro elementos de la confianza



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Crear un ambiente de confianza beneficia a las organizaciones al fortalecer la comunicación y los equipos de trabajo con un ambiente sano y la visión de alcanzar los mismos objetivos por un bien común.

5.1.2.3 Evolución

El último principio para conformar una organización *teal* es el propósito evolutivo. Este consiste en tener una mentalidad más allá de la generación de recursos económicos, en este caso, un compromiso sostenible, ambiental y de ayuda recíproca con la comunidad. En cuanto a los responsables de este principio, son **Recursos Humanos, control interno, el jefe de planta y el coordinador de área**.

Al respecto, la ISO 24512:2024 ayuda a que la gestión y administración de los recursos disponibles para el personal y la distribución del servicio hídrico sean mucho más eficientes, reguladas y aprovechadas, obteniendo mejores indicadores y resultados en el área.

5.1.2.3.1 Análisis de brecha con la ISO 24512:2024 e implementación de propuestas

El objetivo de la ISO 24512:2024 es brindar directrices o una guía para evaluar y mejorarles el servicio a los usuarios, así como orientar en términos de gestión a las instituciones que ofrecen el servicio de agua potable.

El objetivo primordial de todas las instituciones proveedoras de agua en el país debe ser crear bienestar y salud mediante el suministro de agua. Por esto, la ISO 24512:2024 consta de seis acciones y secuencias de implementación, que a continuación se resumen mediante un cuestionario:

Tabla 5.8: ISO 12512:2024

Evaluación de brecha			
Desarrollo ISO 24512:2024	Sí	No	Cumplimiento de mejora
1. Identificación de componentes			
¿Se identificó la estructura?	x		x
¿Se identificaron los insumos?	x		
¿Se identificaron los materiales y herramientas?	x		x
¿Se identificaron los colaboradores?	x		x
¿Se identificaron los procesos?	x		x
2. Definir los objetivos para el servicio			
¿Se brinda agua potable a tiempo?	x		
¿Se gestionan racionalmente los insumos?		x	
¿Se tienen las herramientas y materiales adecuados?	x		x
¿Se gestiona y planifica el proceso de forma congruente?		x	x
3. Gestionar y operar la entidad aplicando directrices			
¿Cuenta con estructuras adecuadas?	x		
¿Posee estructuras de tubería adecuadas?	x		
¿Tiene métodos de ensayo?	x		
¿Los métodos utilizados en la potabilización son los adecuados?	x		x
¿Se realizan pruebas cíclicas de laboratorio?	x		
4. Definir el criterio de evaluación			
¿Existen criterios de evaluación del recurso hídrico y de los trabajadores en el Área de Potabilización?	x		x
5. Definir los indicadores de desempeño			
¿Se verifican los indicadores del recurso hídrico?	x		
¿Se verifican los indicadores de la gestión de la potabilización?	x		
¿Se verifican los indicadores del funcionamiento óptimo de las plantas de tratamiento potable del agua?		x	x
6. Evaluación del desempeño			
¿Existe una evaluación de las condiciones con los resultados de los indicadores?		x	x
Total	15	4	10+C3:F30

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con el análisis previo en el apartado de medir, se detecta que entre los principales datos de afectación de la planta potabilizadora, en promedio hay una afectación de 70.47 %. No obstante, con base en la ISO 24512:2024, en la tabla anterior se identifica que de 19 apartados por considerar en dicha norma, 15 características cumplen para una gestión viable, cuatro no y diez se buscan mejorar.

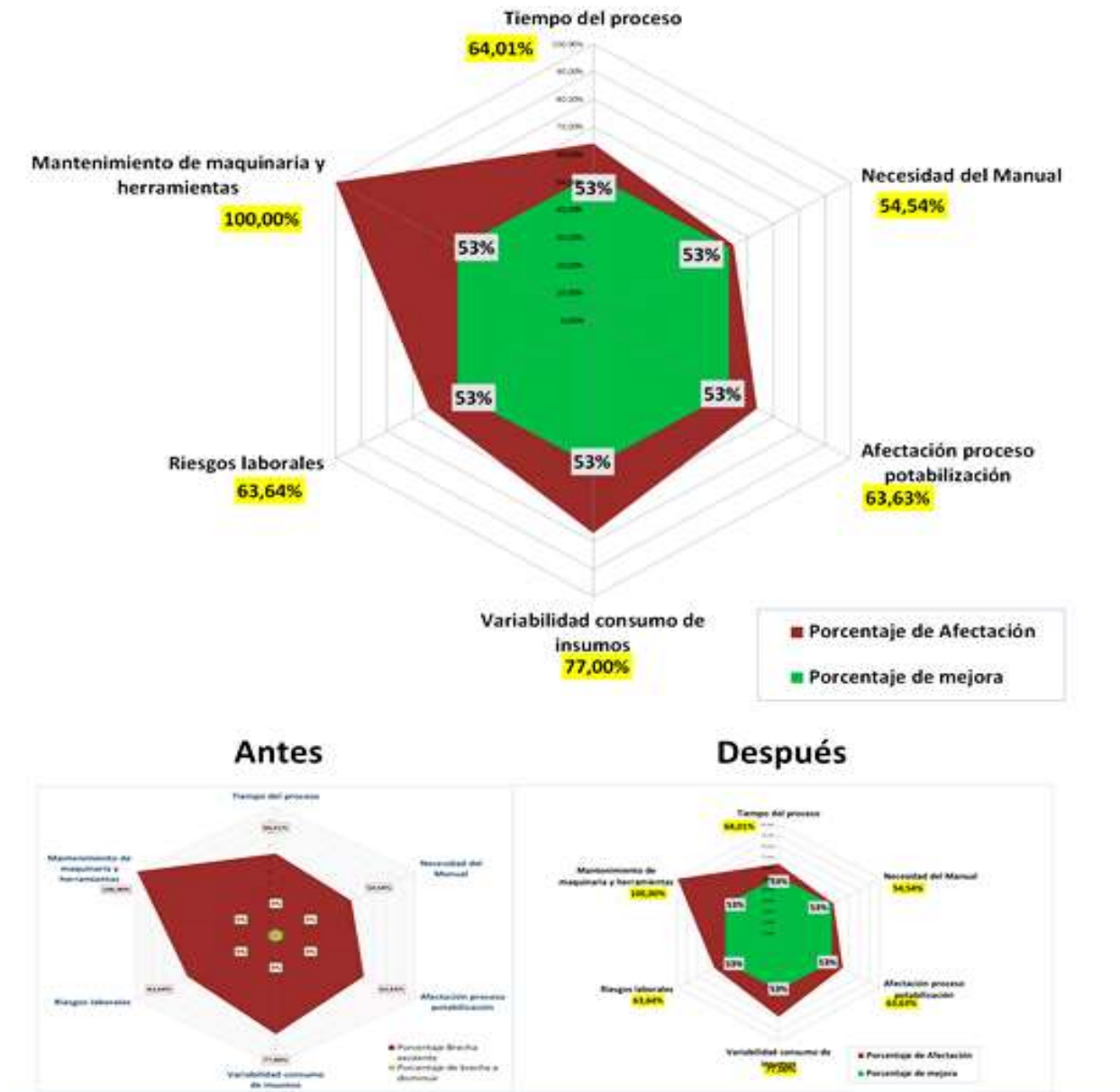
Tabla 5.9: Evaluación de brecha ISO 12512:2024

Evaluación de brecha aplicando la ISO 24512:2024			
Desarrollo ISO 24512:2024	Antes cumplía	No cumplía	Cumplimiento de mejora
1. Identificar los componentes	5		4
2. Definir los objetivos para el servicio	2	2	2
3. Gestionar y operar la entidad aplicando directrices	5		1
4. Definir el criterio de evaluación	1		1
5. Definir los indicadores de desempeño	2	1	1
6. Evaluación del desempeño	0	1	1
Total	15	4	10
Total porcentualmente	78,95%	21,05%	52,63%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir de la evaluación realizada en cuanto a la **ISO 24512:2024**, se muestra la mejora que experimentarían la planta potabilizadora de implementarse las propuestas expuestas y la ISO. Al respecto, se obtiene una cobertura aproximada de mejora del **53 %**, lo cual contrarresta un promedio aproximado del **70.47 %** que con anterioridad existía. Así, más de un **50 %** de la afectación se soluciona:

Figura 5.10: Gráfico de mejora debido a la implementación de la ISO 24512:2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Finalmente, se actualiza el estudio de trabajo y se obtiene el tiempo experimental del operario B según el diagrama de flujo:

Tabla 5.10: Tiempo observado

Operario	B												
Fecha	17/6/2025												
Tiempo cronómetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T10	T11	T12	T13	Promedio
Tiempo cronómetro(h)	0,50	0,53	0,56	0,67	0,524	0,65	0,64	0,54	0,63	0,51	0,43	0,52	0,56
Tiempo cronómetro(m)	30,07	31,79	39,10	38,70	31,45	33,20	33,50	38,40	37,55	30,74	25,54	30,99	33,42

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El tiempo cronometrado es de 33.42 porque se cambia la entrega del turno verbalmente y por el constante traslado a la oficina de la jefatura; además, se agrega el tiempo por ingreso de la información en la matriz RACI y uso de Teams.

Figura 5.11: Tiempo normal y estándar

$$\begin{aligned}
 TN &= (TO)(1+\text{SUMA DE VALORES DE CADA FACTOR}) \\
 TN &= (33,43)(1,00) \\
 TN &= 33,43
 \end{aligned}$$

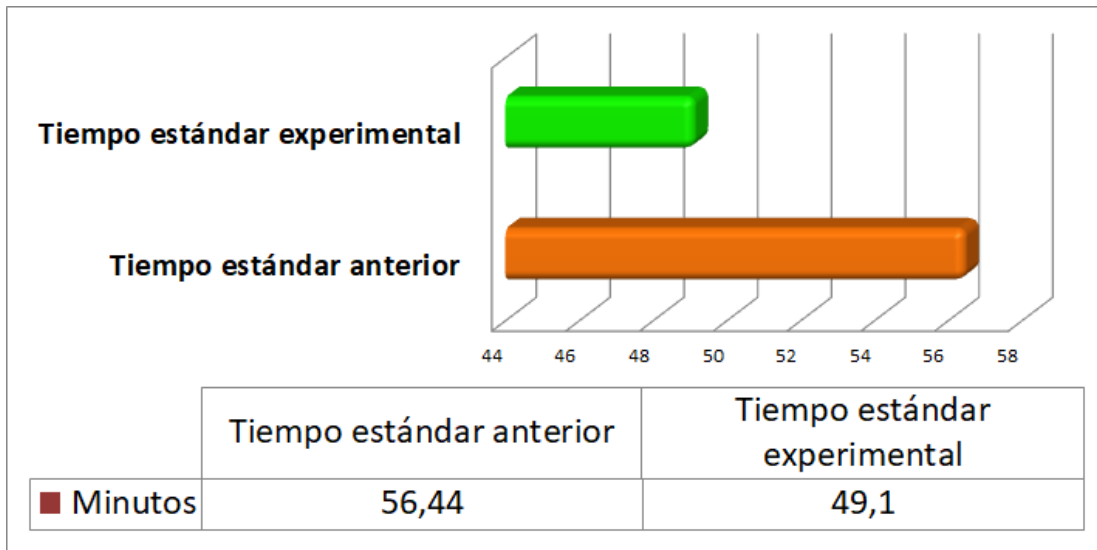
$$\begin{aligned}
 TE &= (TN)(1+\text{SUMA DE SUPLEMENTOS EN DECIMALES}) \\
 TE &= (33,43)(1+0,27)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TE &= (38,66)(1,27) \\
 TE &= 49,10
 \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por último, se obtiene un tiempo estándar experimental de 49.10 minutos, con anterioridad este corresponde a 56.44 minutos; por lo tanto, se logra una disminución experimental aproximada de 7.34 minutos.

Figura 5.12: Gráfico del comparativo de tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.3 Propuesta C. Estandarización del proceso y gestión de recursos

La propuesta C se dirige a mitigar la **falta en la estandarización de la ejecución del proceso**, pues en la investigación se detecta que en el proceso los colaboradores optan por aplicar distintas secuencias de orden de los subprocesos y muchas tareas las deciden por cuenta propia.

Por ese motivo, la propuesta mejora las siguientes causas:

- Falta de estandarización de procesos.
- Escasa planificación y gestión.
- Falta de normas y procedimientos.
- Uso irracional de los insumos y recursos.
- Falta de capacitación.

Tabla 5.11: Distribución de las funciones en cuanto a la estandarización del proceso y gestión

Responsables	Funciones
2) Recursos Humanos	Recolectar e impartir la capacitación en materia de la propuesta del instructivo del proceso
3) Ingeniero de control interno	Revisión del instructivo y almacenamiento del proceso
Participantes	Funciones
1-Jefe de acueductos	Velar por el cumplimiento y sano desarrollo de la propuesta
2-Ingeniero de biotecnología	Verificar el cumplimiento y sano desarrollo de la propuesta, velando porque no afecte las composiciones químicas y medidas establecidas de los insumos
3-Coordinador de área	Aprendices y adoptadores del nuevo instructivo del proceso
4-Operarios de planta	Aprendices y adoptadores del nuevo instructivo del proceso
5-Ingeniero de salud ocupacional	Revisar que el nuevo instructivo cumpla con las normativas y protección del empleado
6-Ingeniero de control interno	Revisión del instructivo y almacenamiento del proceso

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.3.1 Instructivo del proceso

El instructivo colabora en la estandarización de procesos y la falta de procedimientos, al contar con una guía del orden de las funciones por ejecutar.

Existen varios elementos esenciales de un instructivo de procesos, a saber:

Objetivo y alcance: definir la meta a la que se desea alcanzar el beneficio como tal.

Pasos: describir la secuencia de labores en orden cronológico.

Responsabilidades: detallar las responsabilidades del proceso.

Recursos: recordarles a los involucrados el uso de las herramientas o materiales de protección, para resguardar las condiciones físicas de los mismos.

Gestión y control del proceso: inspeccionar periódicamente que se siga el estándar y acompañar en el proceso de adaptación a los compañeros.

Seguidamente, se aprecia la ficha del instructivo del proceso de potabilización de agua para la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago:

Figura 5.13: Propuesta Ficha Instructivo del proceso

Ficha Instructiva del proceso		
Logo de la Institución	Código: PP-001-2025	Hoja 1 de 1
	Proceso: Operación Potabilización del Agua	Edición: 001 Fecha: junio 2025
Objetivo y Alcance del proceso		
Estadarizar el proceso de potabilización del agua mediante una ficha instructiva de una serie de pasos secuencialmente, para que las labores se ejecuten optima y uniformemente		
Entradas		Salidas
Agua Cruda	300 l/s	Salida 210 l/s
Tiempo Estandar		
54,24 minutos por ciclo		
Partes interesadas pertinentes al proceso		Materiales /Recursos
Jefe de Planta Coordinar de Área Operarios de Planta		Guantes Lentes
Pasos		Responsabilidades
1.Revisar archivo de registros		Operario al ingresar verifica estado del turno anterior
2.Muestrea las condiciones		Se realizan las pruebas respectivas con el equipo a disposición
3.Llenar archivo con las condiciones		Ingresar datos importantes,y dar por completada la tarea en el archivo
4.Realizar aforo de dosificaciones		Agregar la medida indicada de los insumos
5.Revisar piletas de reactivo		Hacer la ronda respectiva de revisión
6.Revisar modulos y volumen		Hacer la ronda respectiva de revisión
Diagrama de flujo		
<pre> graph TD A((A)) --> B[Revisa archivo de registros] B --> C[Muestrea las condiciones] C --> D[Llenar archivo] D --> E[Realiza aforo dosificaciones] E --> F[Revisa piletas de reactivo] F --> G[Revisa modulos y volumen] G --> H((Fin)) </pre>		
Gestión y control del proceso		
1.Auditorias de control E 2.Despachos Individuales y reuniones 3.Kaizen Propuesta		
Firmas		
Elaborado por: Jorge Alexander Solis		Aprobado por: Coordinador y jefe de planta

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.4 Propuesta D. Ficha técnica de manipulación de cargas

La ficha se dirige a disminuir una parte de la falta de normas y procedimientos. Referente a esto, en la investigación hecha se identifica que el personal está expuesto a algunos riesgos laborales, los cuales se pueden disminuir. Actualmente en el proceso hay un levantamiento en el ciclo de 25 kilogramos o menos de insumo, pero ellos no tienen una guía de posición básica acerca de cómo se debe ejecutar este. Por lo tanto, con una ficha visual de manejo de cargas al alcance del personal en la zona de levantamiento, se crea una cultura informativa y un adecuado levantamiento de la carga.

Tabla 5.12: Distribución de las funciones en cuanto a la ficha técnica

Responsables	Funciones
1) Ingeniero de salud ocupacional	Crear y brindar la guía adecuada para el uso de cargas
2) Recursos Humanos	Recolectar e impartir la capacitación acerca de la guía de manipulación de cargas
Participantes	Funciones
1) Coordinador de área	Aprendices y adoptadores del nuevo instructivo del proceso
2) Operarios	Aprendices y adoptadores del nuevo instructivo del proceso
3) Ingeniero de salud ocupacional	Apoyar a Recursos Humanos con las normativas y protección del empleado
4) Recursos Humanos	Recolector y capacitador

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para el levantamiento de carga, existe un mecanismo de agarre y de posición, además se debe tener la ropa y los zapatos adecuados para que el individuo no sufra lesiones. A continuación, se enumeran los principales pasos para el levantamiento de sacos:

1. Evaluación de la carga

Evalúe rápidamente si tiene una señalización o aproximado de cuál es el posible peso.

2. Posición de los pies

Colocarlos separados.

3. Agarre del saco

Tomarlo con ambas manos cerca de las puntas o esquinas.

4. Levantamiento

Use las piernas y no recargue el esfuerzo en la espalda.

5. Ayuda mecánica o de personas

Si considera que físicamente no puede levantar el peso, busque ayuda mecánica o de otra persona.

Figura 5.14: Propuesta técnica de manipulación de cargas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.5 Propuesta E. Capacitación mediante el coaching kata

El *coaching kata* es una herramienta que fortalece el conocimiento del equipo de la planta potabilizadora y, a su vez, disminuye la falta de capacitación.

Esta herramienta la implementa Toyota al considerarse de las mejores porque permite que sus áreas nunca dejen de mejorar o trabajar en mejoras y todos conozcan cualquier proceso en la industria.

El *coaching kata* combina la estrecha relación entre el instructor y el aprendiz.

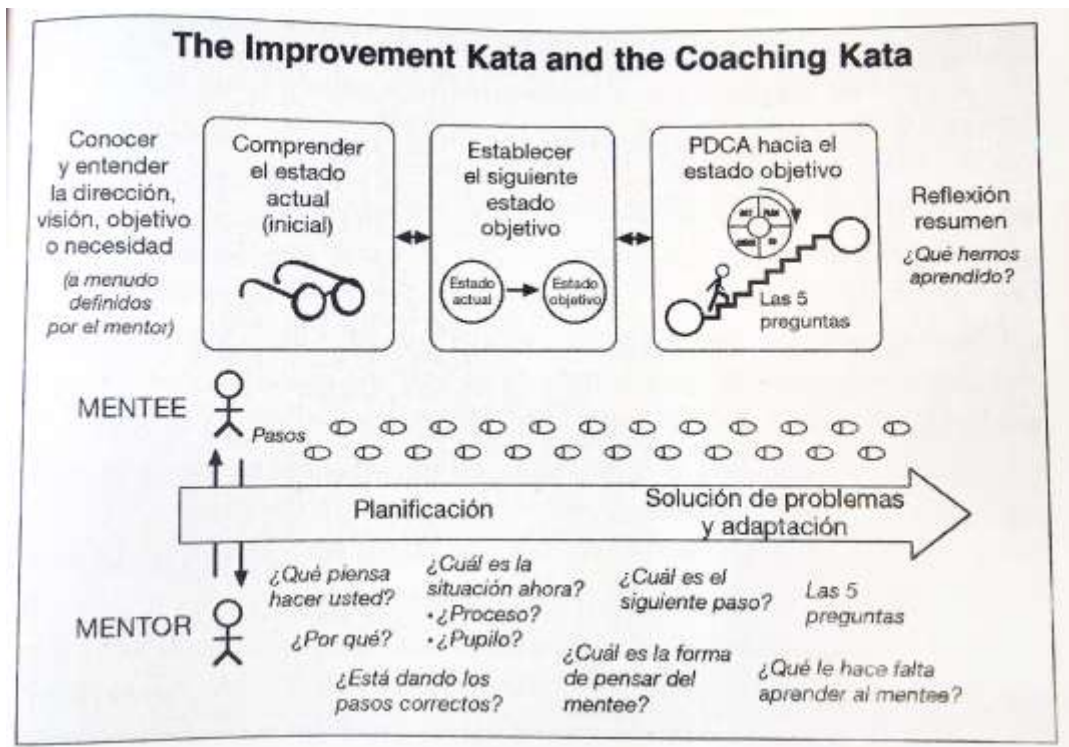
Tabla 5.13: Distribución de las funciones en cuanto a al coaching kata

Responsables	Funciones
1- Recursos Humanos	Recolectar e impartir la capacitación acerca de las propuestas y su control
Participantes	Funciones
1-Jefe de planta	Mentor, quien es el <i>coach</i> de un equipo de trabajo
2-Coordinador de área	<i>Coach</i> , quien guía y prepara a los <i>mentees</i>
3-Operarios de planta	<i>Mentees</i> , quienes se preparan y aprenden para ser futuros <i>coach</i>
4-Ingeniero de control interno	Supervisar el proceso de aplicación y el desarrollo adecuado de la capacitación con Recursos Humanos
5-Ingeniero de salud ocupacional	Apoyar a Recursos Humanos con las normativas y protección del empleado

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El método de capacitación *kata* fomenta que todos los supervisores jefes ayuden a sus equipos de trabajo a aprender y experimentar en conjunto, esto no solo crea lazos de comunicación, sino un hábito de constante aprendizaje y mejora.

Figura 5.15: Diálogo entre mentor y mentee



Fuente: Rother, 2009.

En esta metodología el papel del *coach* es muy importante porque debe motivar y acompañar con un método práctico. A continuación, se define el elenco de los personajes en la planta potabilizadora.

Tabla 5.14: Elenco de personajes del coaching kata

Elenco de personajes en el <i>coaching kata</i>	
Jefe de planta	Su mentor
Coordinador de planta	El <i>coach</i>
Operarios	Sus <i>mentees</i>

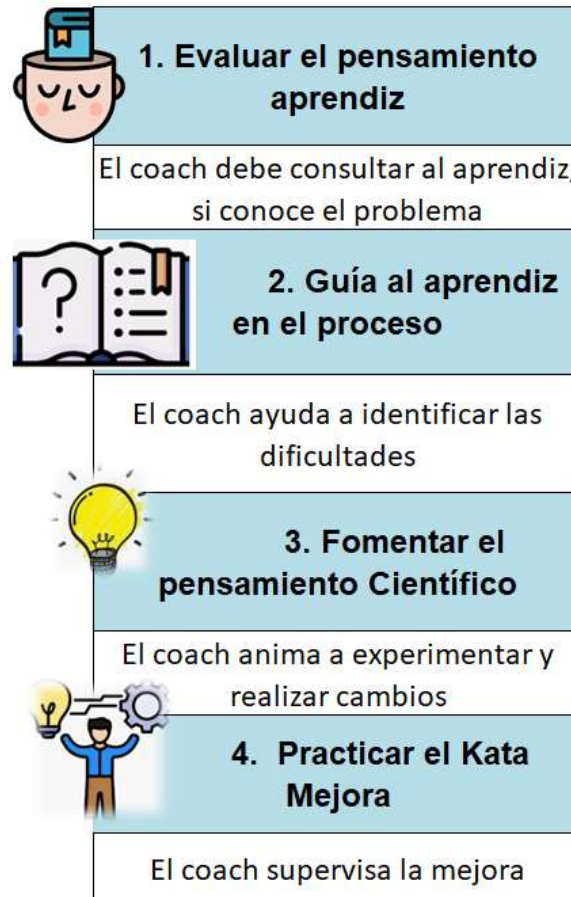
Fuente: Elaboración propia, 2025.

El método consiste resumidamente en cuatro pasos:

1. Evaluar el pensamiento del aprendiz: el *coach* debe consultarle al aprendiz si conoce el problema.
2. Guía al aprendiz en el proceso: el *coach* ayuda a identificar las dificultades.

3. Fomentar el pensamiento científico: el *coach* anima a experimentar y realizar cambios.
4. Practicar el *kata* mejora: el *coach* supervisa la mejora.

Figura 5.16: Pasos del método coaching kata



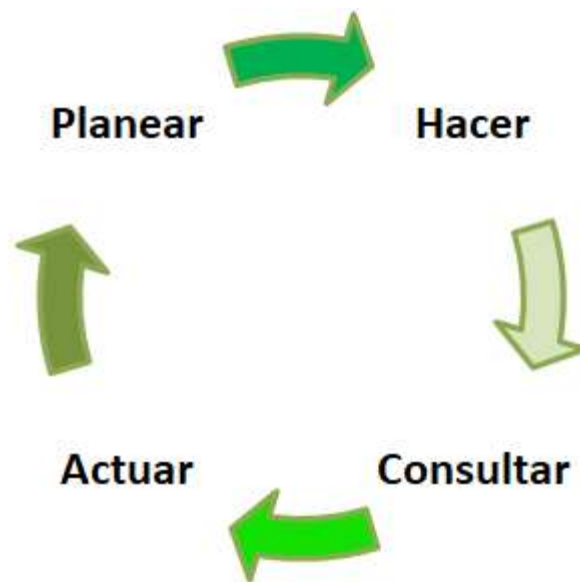
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Llevado a cabo el análisis y la práctica, se debe realizar como *coach* la siguiente pregunta:

¿Qué haría usted en esta situación?

La capacitación se efectúa a partir del siguiente ciclo característico de Toyota *kata*, llamado PDCA:

Figura 5.17: PDCA del método coaching kata

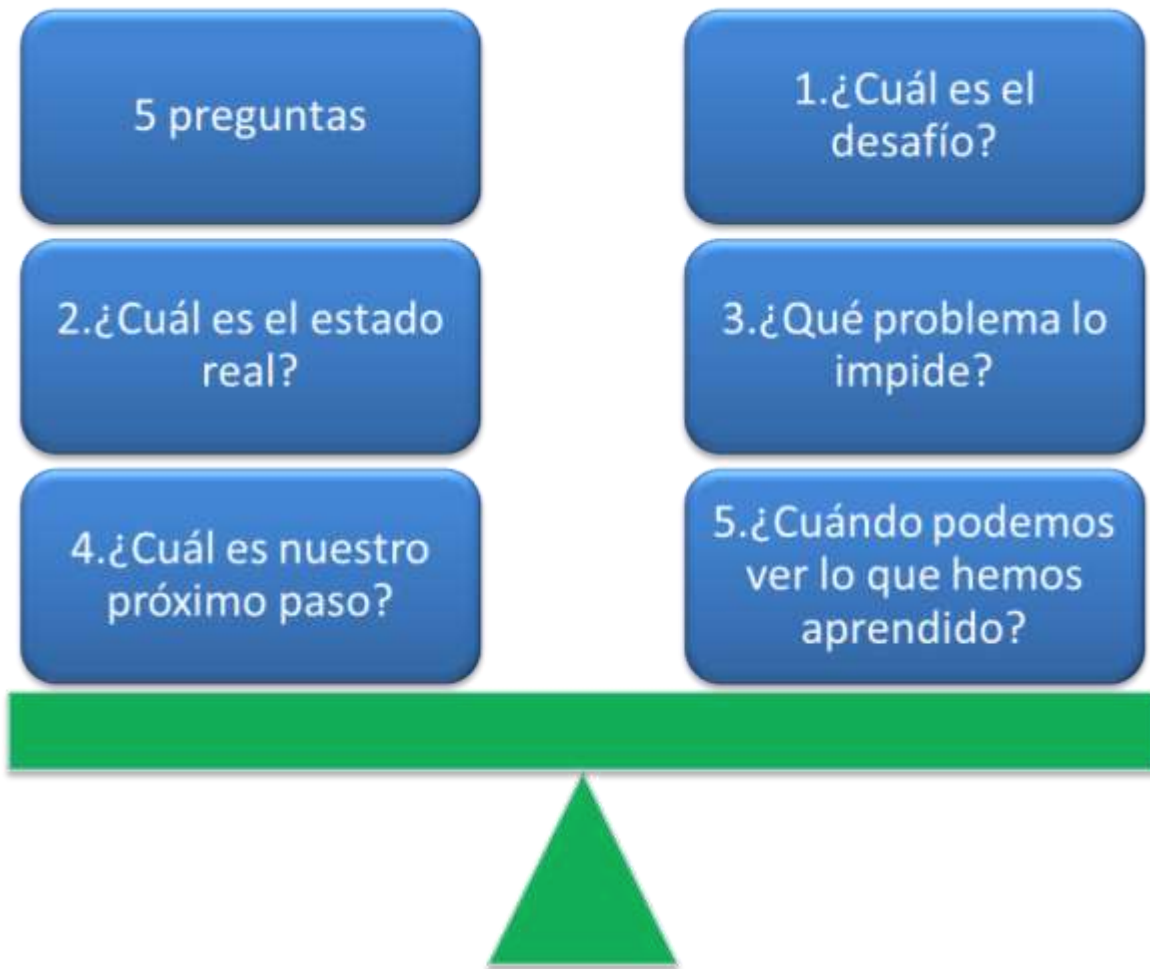


Fuente: Elaboración propia, 2025.

Resistencia al cambio

Finalmente, para manejar la resistencia al cambio, a pesar de que ya se cuenta con el acompañamiento y mentalidad de apoyo en todo el proceso del *coach*, se sugiere manejar las cinco preguntas *coaching kata*:

Figura 5.18: Las cinco preguntas del método coaching kata



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez planteada esta metodología de cinco preguntas, *coaching kata* sugiere el gráfico de Koenigsaecker. En cuanto a este, la punta derecha de la curva acoge con alegría el cambio y está dispuesto a participar, mientras que la punta izquierda de la curva es un grupo menor que lucha activamente contra el mismo. En otras palabras, es normal esperar una actitud difícil ante la incertidumbre, pero con constancia se debe inculcar siempre la filosofía *kata* mejora.

Figura 5.19: Gráfico de Koenigsaecker en coaching kata



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2 CONTROLAR

En todo proceso que se expone a modificaciones, para crear un hábito, cultura y constancia es necesario inspeccionar, supervisar y verificar dicho cumplimiento. Por esto, en controlar se desarrollan metodologías y herramientas que posibilitan cumplir las propuestas y obtener el porcentaje contemplado de mejora o disminución de la afectación.

5.2.1 Auditorías de control para las propuestas A, B, C, D y E

Las auditorías de control permiten dar seguimiento a la estandarización de procesos y la estructura organizacional, con el fin de cumplir las implementaciones, leyes y regulaciones y, al mismo tiempo, detectar, prevenir y, de ser necesario, detener cualquier método o proceso que afecte el correcto funcionamiento del área.

Tabla 5.15: Distribución de las funciones en cuanto a las auditorías

Responsables	Funciones
1- Ingeniero de control interno	Vigilar y consultar que las auditorías obtengan resultados positivos de la adopción del
2- Jefe de planta	Vigilar y consultar que las auditorías obtengan resultados positivos de la adopción del
3- Coordinador de área	Vigilar y consultar que las auditorías obtengan resultados positivos de la adopción del
4- Ingeniero(a) en sistemas	Auditar que el funcionamiento de la aplicación sea el correcto
5- Ingeniero(a) de salud ocupacional	Auditar las prácticas correctas en el proceso, sin arriesgar la salud laboral
6- Ingeniero(a) electromecánico	Auditar el correcto mantenimiento de la maquinaria
7- Ingeniero(a) de biotecnología	Auditar las prácticas correctas en el proceso, sin modificar las composiciones químicas establecidas
8- Operarios	Aprendices y adoptadores del nuevo proceso
9- Recursos Humanos	Acompañar en el proceso de cambio y adaptación a todos los involucrados

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Mediante la visita de los responsables de las auditorías, se lleva un control de las propuestas y el cumplimiento de las mismas, por medio de los siguientes cinco pasos:

Figura 5.20: Pasos para la auditoría de control



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se brinda una breve explicación de cada paso:

1. Planificación detallada

Previamente se debe analizar cuál es el objetivo y cuánto es su alcance de cobertura en el área del proceso. Por ello, es necesario detallar el paso a paso que se debe ejecutar para identificar de manera adecuada los riesgos de la auditoría y preverlos.

2. Definición del alcance

Se debe mapear el proceso o área por auditar, esto implica conocer la cantidad de personal, qué tanto espacio físico se debe abarcar, y contar con los indicadores o el análisis porcentual de la situación en estudio.

3. Ejecución de la auditoría

Cuando la auditoría se lleve a cabo en el proceso, es importante recopilar evidencia mediante la entrevista al personal y la observación, además de revisar si existe documentación o archivos. Esta información se debe comparar y analizar, así como evaluar el impacto.

4. Generación del informe final

En esta etapa se deben resaltar los hallazgos y elaborar planes de acción con sus respectivos responsables, creando plazos adecuados que se cumplan.

5. Seguimiento y monitoreo

Finalmente, se aplican los planes de acción y se les da un seguimiento periódico.

Ahora bien, existe un ciclo de preguntas a lo largo de los cinco pasos que se pueden desarrollar para aplicar con facilidad la auditoría de control, estas son:

Tabla 5.16: Cuestionario de la auditoría de control

1. Planificación detallada	2. Definición del alcance	3. Ejecución de la auditoría	4. Generación del informe final	5. Seguimiento y monitoreo
¿Qué se quiere lograr?	¿Qué proceso se revisará?	¿Cuál es el comparativo de los resultados?	¿Qué plan de acción se realizará?	¿Cada cuánto se va a monitorear?

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El auditor, según las distintas etapas y valoraciones, debe prepararse previo a la revisión e inspección con el cuestionario anterior, pero también se adjunta una plantilla que debe completarse a partir del criterio de observador y experimentado en el proceso por auditar:

Tabla 5.17: Plantilla de auditorías

Auditorías de control																										
Responsable																										
Proceso por revisar																										
Tiempo de auditoría																										
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Auditoría																										
Comentarios y observaciones																										
Porcentaje de mejora																										
Tarea 1	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 2	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 3	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 4	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 5	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 6	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 7	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 8	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 9	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					
Tarea 10	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	Motivo:					

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2.2 Kaizen de control para la propuesta A

Kaizen es una metodología que busca generar pequeños cambios, pero significativos con el tiempo. En resumen, el *kaizen* se centra en la mejora continua.

Tabla 5.18: Distribución de las funciones en cuanto al kaizen de control

Responsables	Funciones
1- Ingeniero de control interno	Retroalimentar y supervisar por el cumplimiento de las 5S
2- Ingeniero electromecánico	Velar por el orden correcto, que se refleje en la limpieza, orden y mantenimiento de las máquinas
3- Coordinador de área	Vigilar por el cumplimiento de las 5S

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El *kaizen* facilita controlar la propuesta A, en cuanto a la organización adecuada del TPM, mediante las 5S:

- *Seiri* (clasificación): separar lo que necesito de lo que no.
- *Seiton* (orden): organizar fácilmente lo que se utilizará.
- *Seiso* (limpieza): mantener el área de trabajo limpia y ordenada.
- *Seiketsu* (estandarización): establecer el estándar de disciplina.
- *Shitsuke* (disciplina): mantener el estándar para visualizar los resultados.

Figura 5.21: 5S del kaizen



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Teniendo claro el uso de las 5S para llevar el control de las áreas por inspeccionar, se propone el uso de la siguiente plantilla:

Tabla 5.19: Control de 5S para la propuesta A

Control de 5'S TPM							
Máquinas	S1	S2	S3	S4	S5	Fecha de Aplicación	Responsable
	Clasificado	Ordenado	Limpio	Estandarizado	Disciplina		
Sensores de niveles	X					2025	Ingeniero de Control Interno Ingeniero Electromecánico
Sensores de encendido		X		X		2025	Ingeniero de Control Interno Ingeniero Electromecánico
Estación de Control						2025	Ingeniero de Control Interno Ingeniero Electromecánico
Agitadores de Piletas		X				2025	Ingeniero de Control Interno Ingeniero Electromecánico
Equipo Pruebas y Muestras			X			2025	Ingeniero de Control Interno Ingeniero Electromecánico
Bombas						2025	Ingeniero de Control Interno Ingeniero Electromecánico
Válvulas		X		X		2025	Ingeniero de Control Interno Ingeniero Electromecánico

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2.3 Reuniones efectivas mediante PDCA para controlar las propuestas A, B, C, D y E

Las reuniones efectivas son esenciales para coordinar adecuadamente tareas. Al respecto, es necesario establecer una planificación previa, enlistar la agenda, así como determinar el tiempo, quiénes son los participantes y los temas para conversar.

Los beneficios que se pueden obtener al llevar a cabo reuniones efectivas son:

- Aumento de la eficiencia de las reuniones y, por consiguiente, de los proyectos.
- Facilitación de la comunicación asertiva.
- Impulso de la colaboración y participación de los integrantes.
- Fomento del intercambio de habilidades y conocimientos del equipo de trabajo.
- Aumento de la productividad del proyecto y equipo.
- Mejora de la gestión del tiempo.
- Ayuda a obtener los resultados rápido y a tiempo.

Tabla 5.20: Distribución de las funciones en cuanto a las reuniones efectivas

Responsables	Funciones
1- Ingeniero de control interno	Controlar el adecuado uso de los materiales y que la ejecución del proceso fluya, según corresponda
2- Ingeniero electromecánico	
3- Ingeniero(a) de salud ocupacional	
4- Ingeniero(a) de control interno	
5- Jefe de acueductos	Abrir a debate la adaptación y la evolución de la mejora, para apoyarse en equipo en las áreas de mayor complicación
2- Ingeniero(a) de sistemas	
6- Ingeniero(a) de biotecnología	
7- Coordinador de área	
9- Recursos Humanos	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por lo tanto, para controlar las propuestas A, B, C, D y E, siguiendo la metodología *coaching kata*, se propone implementar los cuatro pasos PDCA de mejora *kata*, con el propósito de obtener reuniones efectivas:

Etapa 1

Planear el lugar, los temas, los participantes, las responsabilidades, el tiempo que se requiere y la agenda por desarrollar.

Etapa 2

Hacer la reunión según la planeación previa y ejecutar los puntos preferiblemente en su totalidad.

Etapa 3

Consultar. En cuanto a esto, es importante solicitar la opinión de los participantes acerca de lo conversado y asignado. Además, abrir un espacio de consultas permite que la comunicación sea efectiva y parte del método de mejora.

Etapa 4

Actuar. Finalmente, se impulsa al equipo a ejecutar las propuestas conversadas y obtener grandes resultados.

Figura 5.22: PDCA para las reuniones efectivas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Estas reuniones posibilitan que todas las propuestas estén correctamente planificadas, de esta manera el equipo de trabajo puede obtener resultados más productivos y eficientes, lo que evita panoramas pocos claros y direcciones inconclusas.

Por último, se adjunta una plantilla para controlar la ejecución de las reuniones efectivas PDCA:

Tabla 5.21: Plantilla para la reunión de control

Reuniones de Control							
Responsable							
Participantes							
Tiempo de Reunión							
Proceso a revisar							
Agenda							
Porcentaje de mejora							
Etapas de Reunión	Planear		Hacer		Consultar	Actuar	
Reuniones de Control	1	2	3	4	Comentarios		
Tarea 1	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 2	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 3	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 4	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 5	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 6	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 7	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 8	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 9	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			
Tarea 10	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%	25% 50% 75% 100%			

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2.4 Diagrama de Gantt para controlar las propuestas A, B, C, D y E

El diagrama de Gantt facilita controlar y dirigir las propuestas planteadas, ya que permite visualizar si el proyecto y las tareas están en el plazo correcto o atrasado.

Tabla 5.22: Distribución de las funciones en cuanto al diagrama de Gantt

Responsables	Funciones
1- Recursos Humanos	Apoyar en el cumplimiento del tiempo planificado
2- Jefe de acueductos	Supervisar el cumplimiento de las propuestas en el tiempo establecido
3- Coordinador de área	Vigilar el desarrollo correcto de las tareas y el aprendizaje

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Respecto al diagrama de Gantt como herramienta de control, se destaca lo siguiente:

1. Visualización del progreso

A partir de las fechas, permite ver cronológicamente el avance de cada tarea o responsabilidad.

2. Identificación de retrasos

Si una tarea aún se encuentra en ejecución y supera la fecha límite, se detecta como retraso y se debe actuar o buscar las causas, para no afectar la implementación.

3. Optimización de recursos

Tener definidas las tareas permite no incurrir en recursos adicionales o fuera de lo planeado.

4. Alineación del equipo

Mostrar este gráfico o diagrama posibilita que el equipo comprenda dónde se inicia, dónde se está y hacia dónde se desea llegar.

5. Supervisión de dependencias

Es fundamental el acompañamiento y supervisión, en este caso del *coach*, en todo el proceso.

6. Análisis de riesgos

A pesar de lo planeado, en ocasiones puede que en el espacio físico se presente una situación que dificulte el desarrollo de la etapa experimental.

7. Comunicación efectiva

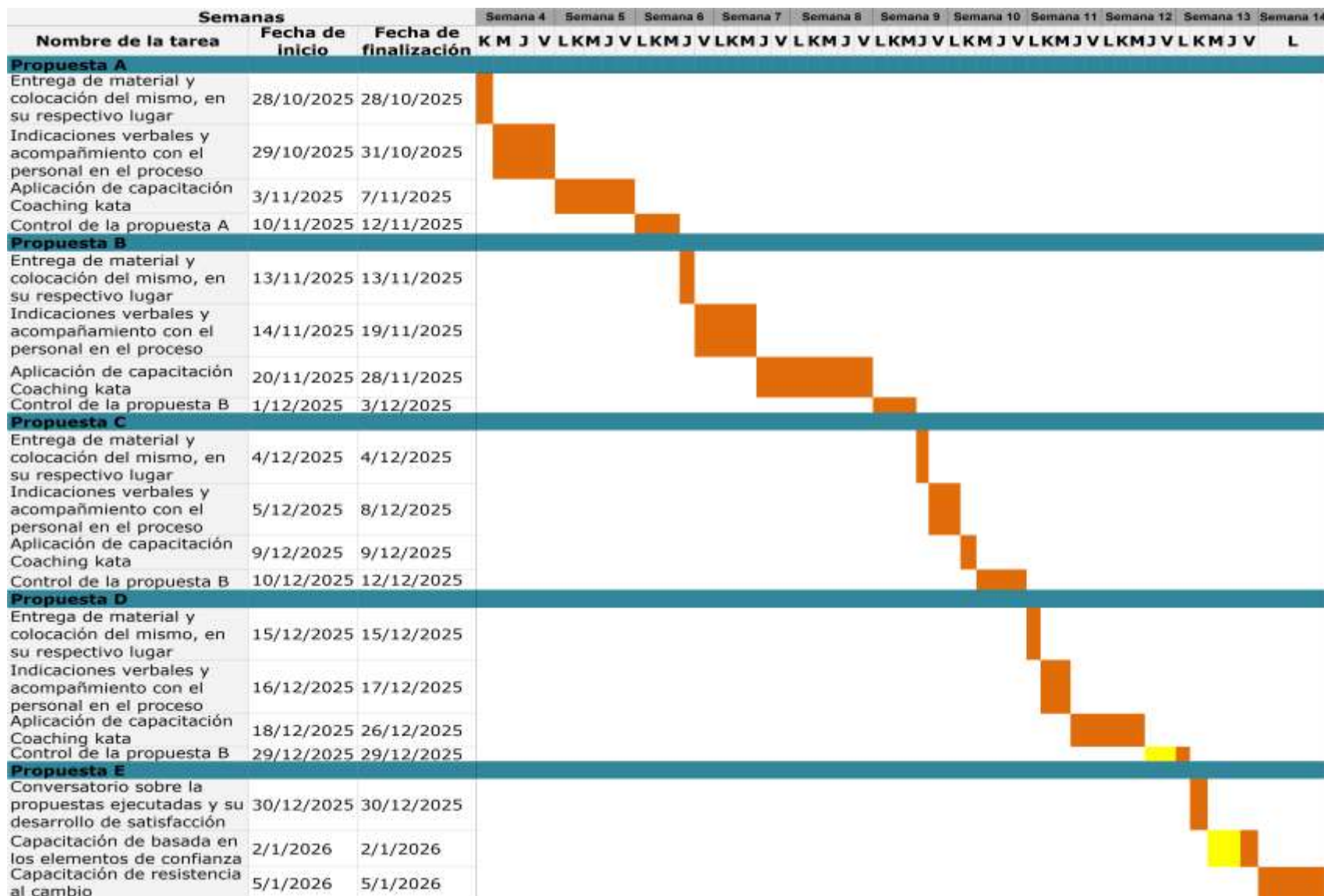
Por último, la consulta y la comunicación efectiva, como parte de la capacitación *kata*, son esenciales para concluir el proyecto de mejora satisfactoriamente.

El diagrama de Gantt como control de todas las propuestas se desarrolla en dos partes. La primera parte consiste en el ciclo de *coaching kata* (planear, hacer, consultar y ejecutar) y la segunda comprende la ejecución de la capacitación y la realización de las propuestas mediante el *coaching kata*, concluyendo con una capacitación de manejo de cambio y los cuatro elementos de confianza.

Así, se llevan a cabo las propuestas desde la A hasta la D, mientras que de la propuesta E solo se desarrolla el manejo a cambio y los cuatro elementos de la confianza.

Por último, se reparten responsabilidades y se lleva a cabo la introducción de la capacitación, que comprende del 28/10/2025 al 05/01/2026, aproximadamente 50 días.

Tabla 5.23: Diagrama de Gantt para las propuestas A, B, C, D y E



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2.5 Análisis de costos

El análisis de costos es un proceso que permite analizar la viabilidad de un proyecto mediante la comprensión, clasificación y evaluación de todos los gastos relacionados a la adecuada operación de la organización.

Esta herramienta ingenieril posibilita la identificación de puntos de mejora, lo cual facilita la toma de decisiones y una adecuada optimización de áreas, recursos y estrategias. Seguidamente, se expone el costo mensual del personal de la planta potabilizadora:

Tabla 5.24: Costo actual del personal actual de la planta potabilizadora

Costo actual del personal				
Puesto	I Turno	II Turno	III Turno	Total por puesto
Ingeniero(a) de biotecnología	₡ 1 200 000,00	N/A	N/A	₡ 1 200 000,00
Coordinador de área	₡ 950 000,00	N/A	N/A	₡ 950 000,00
Operario A	₡ 600 000,00	N/A	N/A	₡ 600 000,00
Operario B	N/A	₡ 600 000,00	N/A	₡ 600 000,00
Operario C	N/A	N/A	₡ 600 000,00	₡ 600 000,00
Total				₡ 3 950 000,00

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El costo actual del personal de la planta potabilizadora es de 3 950 000 colones en total. A solicitud de la institución, no se efectúa un costo de insumos, ya que el encargado no lo considera relevante e, incluso, lo califica como ajeno a la investigación. A continuación, se brinda el costo de la mejora presentada en el proyecto:

Tabla 5.25: Costo del personal para la propuesta de mejora

Costos del personal para propuestas					
Puestos	Horas por día	Costo por día	Días de participación	Salario	Total
Jefe de acueductos	2	₡ 18 500,00	20	₡ 370 000,00	₡ 370 000,00
Ingeniero(a) de sistemas	1	₡ 16 500,00	20	₡ 330 000,00	₡ 330 000,00
Ingeniero(a) de salud ocupacional	1	₡ 16 500,00	20	₡ 330 000,00	₡ 330 000,00
Ingeniero(a) de control interno	3	₡ 24 750,00	20	₡ 495 000,00	₡ 495 000,00
Ingeniero(a) electromecánico	1	₡ 13 000,00	20	₡ 260 000,00	₡ 260 000,00
Ingeniero(a) de biotecnología	2	₡ 12 000,00	20	₡ 240 000,00	₡ 240 000,00
Coordinador de área	5	₡ 9 500,00	25	₡ 237 500,00	₡ 237 500,00
Operario A	5	₡ 2 400,00	50	₡ 120 000,00	₡ 120 000,00
Operario B	5	₡ 2 400,00	50	₡ 120 000,00	₡ 120 000,00
Operario C	5	₡ 2 400,00	50	₡ 120 000,00	₡ 120 000,00
Recursos Humanos	2	₡ 5 909,09	66	₡ 390 000,00	₡ 390 000,00
Total					₡ 3 012 500,00

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El costo por las horas dedicadas y aprovechadas en el plan de mejora del personal requerido es de **3 012 500 colones**. Adicional, se debe contemplar el costo de los materiales de apoyo y las herramientas mencionados en algunas de las propuestas, que suman un costo total de **729 129 colones**, lo que se detalla así:

Tabla 5.26: Costo del material para las propuestas de mejora

Costo de materiales	
Pizarra	26950
Apoyo visual (afiches, hojas, folletos)	62300
Herramienta tecnológicas	428544
Paños de Microfibra	17985
Alcohol multiusos	28350
Capacitador (Ingeniero Control Interno)	165000
Total	<u>₡ 729 129,00</u>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para obtener el total de ahorro por la implementación, se toma el costo actual del personal o del funcionamiento de la planta potabilizadora de Cartago y se resta el costo de la propuesta y el costo de los materiales; de este modo, se logra un resultado de **208 371 colones** de ahorro por implementación.

Tabla 5.27: Costo del ahorro de la implementación para las mejoras

Ahorro por implementación	
Costo Actual	₡ 3 950 000,00
Costo propuesta	₡ 3 012 500,00
Costo de Materiales	₡ 729 129,00
Total de Ahorro	₡ <u>208 371,00</u>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2.6 ROI

El ROI es una métrica que indica cuánto es el beneficio contra el costo de invertir en un proyecto o, en este caso, propuestas de mejora.

La formulación del ROI permite conocer el periodo aproximado para recuperar la inversión de las propuestas de mejora:

Tabla 5.28: ROI de las propuestas de mejora

ROI	<u>₡ 3 950 000,00</u>
	₡ 208 371,00

ROI	18,96	Meses
------------	--------------	--------------

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El ROI resulta en 18.96 meses, es decir, 1 año y 6 meses aproximadamente. No obstante, cabe resaltar que debido a la amplia capacidad de ingresos monetarios en esta área, es posible que requiera un menor tiempo.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente estudio.

Conclusiones

- En el estudio de trabajo, se logró un tiempo observado de 36.13 minutos; seguidamente, un tiempo normal de 38.66 minutos y, por último, un tiempo estándar de 56.44 minutos. De este modo, se obtuvo una diferencia considerable por tiempos suplementarios e improductivos.
- El tiempo estándar obtenido fue de 1,7 %, es decir, por cada ciclo entre el tiempo estándar hay un 0.017 de efectividad, pues mayormente existe una pérdida en traslados, que son tiempos suplementarios, improductivos o muertos.
- En el estudio de movimientos, se determinó un 33 % de movimientos eficientes y un 67 % de ineficientes, después de haber ejecutado el análisis de Therbligs.
- Respecto al análisis REBA en el estudio de movimientos, el resultado fue de 9 puntos. De esta manera, se ubicó en el rango de 8 a 10 puntos, correspondiente a riesgo alto y, por lo tanto, se deben investigar e implementar modificaciones.
- Se le aplicó una encuesta al personal del área en estudio y la respuesta fue del 100 %. En esta se indicó que la comunicación no efectiva, así como la falta de estandarización y definición de roles son elementos que requieren definirse para brindar mejores resultados y conseguir un mejor ambiente laboral.
- En cuanto al análisis de brecha, se identificó una brecha importante en el consumo de insumos, por un 77 % de margen de diferencia, además un 63.64 % de riesgos laborales que están en un rango de extremo a media probabilidad, y el mantenimiento a maquinaria/herramientas es 100 % correctivo.
- Al ejecutar la lluvia de ideas mediante el criterio de observación y la entrevista al personal de la planta potabilizadora de la Municipalidad de Cartago, se enlistaron aproximadamente trece ideas de las posibles causas de afectación.
- El desarrollo del diagrama de Ishikawa presentó una mayor afectación en el método, con un 31 % de causas.

- El Pareto indicó que un 79 % de las consecuencias es por falta de una cultura organizacional y, de este porcentaje, un 25 % de las causas es por falta de capacitación.
- Se formularon cinco propuestas de mejora y, para controlar las propuestas, cuatro herramientas.
- El cálculo del ROI resultó en 18.96 meses, o sea, 1 año y 6 meses aproximadamente es el periodo para recuperar la inversión, aunque debido a la amplia capacidad de ingresos monetarios que tiene esta área, es posible lograrlo en un menor tiempo.
- Por último, las principales causas que provocan la falta de estandarización del proceso de la potabilización del agua son tres, a saber: la ineficiencia de mantenimiento preventivo, falta en la estandarización de la ejecución del proceso y desfortalecimiento en los factores de la cultura organizacional.

Recomendaciones

- Ejecutar las propuestas formuladas en el proceso de investigación, ya que los porcentajes identificados afectan a la institución significativamente, pero con la aplicación de estas se fortalece la estructura organizacional y la estandarización del proceso.
- Una parte del proceso es el periodo de adaptación a todo lo propuesto. Por consiguiente, una vez concluidas las propuestas, se recomienda implementar indicadores en el área y, con ello, incentivar compensaciones por eficiencia y productividad. Lo anterior aumenta la motivación del equipo y cubre un aspecto relevante de la ISO 24512:2024.
- Hacer un estudio de insumos con el Área de Ingeniería Biotecnológica, para crear plantillas y afiches que retroalimenten y optimicen el uso de las cantidades adecuadas de insumos según el proceso de potabilización ya establecido.
- Crear, junto a Recursos Humanos, un plan motivacional para el personal que aumente las actitudes más positivas en el equipo.
- Diseñar un sistema de evacuación y elaborar un plan de emergencias con rotulación como prevención.

- Implementar la rotulación de sustancias y maquinarias peligrosas, porque la falta de identificación hace vulnerable al equipo al exponerlo a peligros físicos y de contaminación en general.
- Realizar el estudio de trabajo con la propuesta implementada, para estandarizar con los respaldos recolectadas en su totalidad.

REFERENCIAS

Libros

Acuña, J. (2012). *Control de calidad. Un enfoque integral y estadístico*. (4° ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Camilo, J. (2008). *Manual de tiempos y movimientos. Ingeniería de métodos*. Limusa.

Escalona, I. (2009). *Ingeniería de métodos: métodos y diseños del trabajo*. El Cid Editor.

Falcón, J. y Herrera, R. (2005). *Análisis del dato estadístico (guía didáctica)*. Universidad Bolivariana de Venezuela.

Gutiérrez, H. (2016). *Estrategias de muestreo: diseño de encuestas y estimación de parámetros*. Ediciones de la U.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6 ed.). McGraw-Hill.

Hernández, R. y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=6443>

Palacios, L. C. (2016). *Ingeniería de métodos, movimientos y tiempos*. ECOE Ediciones.

Rother, M. (2009). *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results*. McGraw Hill.

Proyectos de investigación

Aguirre, M. (2011). *Métodos de trabajo y control de tiempos en la ejecución de proyectos de edificación* [Trabajo final de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid].

https://oa.upm.es/10427/2/TESIS_MASTER_MARIA_AGUIRREGOITIA_MORO.pdf

Chaverri, D. (2016). *Rediseño del flujo de trabajo de los procesos de solicitud de colaboración, entrega de nuevo paquete de servicio, manejo de defectos y gestión de estado DEFCON mediante el uso de un motor de automatización de flujos de trabajo basado en el enfoque sistemático Business Process Management* [Proyecto de graduación de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11053>

Corrales, A. R. (2003). *Aplicación de la técnica del estudio de métodos para mejorar la productividad en procesos constructivos* [Proyecto de graduación de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/242/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Correa, M. (2013). *Formulación del proyecto y diseño de la metodología para implementar la gestión por procesos y sistema de gestión de la documentación en el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica* [Trabajo final de graduación de Maestría, Universidad Latina de Costa Rica]. https://inec.cr/wwwisis/documentos/TESIS/TFG_Mizael_Correa_Navas_INEC.pdf

Crisalia, M. de J. (2016). *La estandarización de procesos, como herramienta de mejora a la calidad de procesos administrativos* [Informe de Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10805/Informe.pdf?sequence=1>

Esperanza, R. (2021). *Diseño de un sistema de potabilización de agua como parte de las medidas de mitigación y prevención de desastres para la comunidad de San Pedro de Tarrazú, Costa Rica* [Proyecto de graduación de Licenciatura, Instituto

Tecnológico de Costa Rica].
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13769/TF9236_BIB306900_Ruby_Hernandez_Arenas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez, J. E. (2022). *El derecho humano al agua* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Salamanca]. <https://gredos.usal.es/handle/10366/151459>

Gómez, M. G. (2011). *E-learning una propuesta de capacitación para el personal de la Dirección de Afiliación del Seguro Popular Jalisco México* [Tesis de Maestría, Tecnológico de Monterrey]. https://www.researchgate.net/profile/Marcela-Gomez-Zermeno/publication/270759626_E-learning_una_propuesta_de_capacitacion_para_el_personal_de_la_Direccion_de_Afiliacion_del_Seguro_Popular_Jalisco/links/54b402a10cf28ebe92e44940/E-learning-una-propuesta-de-capacitacion-para-el-personal-de-la-Direccion-de-Afiliacion-del-Seguro-Popular-Jalisco.pdf

Ríos, M. P. (2013). *Estudio de los costos de un emprendimiento personal* [Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Cuyo]. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/5721/tesis-cs-ec-rios.pdf

Soto, M. F. (2006). *Estudio de tiempos muertos y evaluación de la eficiencia del proceso de moldeo convencional de plástico por medio de la eficiencia global del equipo (OEE) en la empresa Hospira Holdings LTDA* [Informe de proyecto de graduación de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/622>

Fuentes de Internet

ACMP. (2022). *El análisis de métodos y tiempos: una herramienta para incrementar la productividad industrial*. <https://acmplean.com/el-analisis-de-metodos-y-tiempos-una-herramienta-para-incrementar-la-productividad-industrial/>

Acuña, J. (2014). *Herramientas de análisis*. <https://slideplayer.es/slide/158000/>

Aiteco Consultores. (2019). *Multivotación: instrumento para seleccionar las mejores ideas*. <https://www.aiteco.com/multivotacion-seleccionando-las-mejoresideas/>

Almonacid, H. (2023). *¿Qué es el coaching kata?* <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-el-coaching-kata-humberto-j-almonacid-alarc%C3%B3n/>

ASQ Quality Press. (2025). *¿Qué es el ciclo planificar-hacer-verificar-actuar (PDCA)?* <https://asq.org/quality-resources/pdca-cycle#:~:text=The%20Plan%2Ddo%2Dcheck%2Dact%20Procedure,identify%20what%20you've%20learned>

Betancourt, D. F. (2016). *El cursograma: herramienta del ingeniero industrial*. www.ingenioempresa.com/cursograma.

Bomba, F. (19 de marzo de 2018). *Tamaño de muestra paso a paso* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=oc8i9g144Y0>

Carter, M. (2024). *Lluvia de ideas: tipos y ejemplos para impulsar su creatividad*. <https://boardmix.com/es/examples/brainstorming-types-and-examples/>

Contreras, G. (2024). *Diagrama de relaciones*. <https://gabrielcontrerastzintzun.weebly.com/diagrama-de-relacioacuten.html>

Dirección de Gestión de Calidad Ambiental Costa Rica [DIGECA]. (2025). *Compras públicas estratégicas*. <http://www.digeca.go.cr/areas/compras-publicas-estrategicas>

Editorial Etecé. (2024). *Diagrama de Gantt*. <https://concepto.de/diagrama-de-gantt/#ixzz8q147fF8D>

Envira. (2024). *¿Qué es la metodología de las 5S?* <https://envira.es/es/en-que-consiste-el-metodo-de-las-5/>

EPA. (2025). *Tienda en línea*. <https://cr.epaenlinea.com/?srsltid=AfmBOoopUihDKj8c8MTKVWhSnC7FLFog8WgKBrPuvW3AsDKm0hOCc8k1>

Escuela Británica de Artes Creativas y Tecnología [EBAC]. (2023). *Qué es la lluvia de ideas y cómo hacerla*. <https://ebac.mx/blog/que-es-la-lluvia-de-ideas>

Euroinnova. (2024.). *Conoce más sobre lo que son los Therblig*. <https://www.euroinnova.com/blog/que-son-los-therbligs>

Flórez, A. y Thomas, J. (1993). *La teoría general de sistemas*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6581658.pdf>

García, F. (2023). *Retorno de la inversión: qué es, cómo calcularla y mejorar el ROI*. <https://blog.cliengo.com/calcular-roi-en-3-pasos/>

Garza, J. (26 de diciembre de 2018). País necesita actualizar ley de aguas. *La República*. <https://www.larepublica.net/noticia/pais-necesita-actualizar-ley-de-aguas>

Haddad, A. (2018). *Aseguremos el éxito con un buen análisis organizacional*. <https://es.linkedin.com/pulse/aseguremos-el-%C3%A9xito-con-un-buen-an%C3%A1lisis-assad-haddad-d->

Iberdrola. (2025). *Organizaciones TEAL: ¿cómo reinventan la gestión y cuáles son sus ventajas?* <https://www.iberdrola.com/talento/organizaciones-teal>

IBM. (2021). *Gráficos radiales.* <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/beta?topic=types-radar-charts>

Infoautónomos. (2023). *Cómo realizar encuestas online: 10 herramientas útiles.* <https://www.infoautonomos.com/estudio-de-mercado/encuestas-online-internet/>

Jeffs, M. (2023). *REBA: la evaluación rápida de todo el cuerpo. Vistazo detallado.* <https://www.tumeke.io/es-mx/updates/reba-the-rapid-entire-body-assessment-comprehensive-overview>

Juran, J. (1975). *The Non-Pareto Principle; Mea Culpa.* https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Pareto#:~:text=El%20principio%20de%20Pareto%2C%20denominado,de%20las%20causas%20o%20factores

Kanban Tool. (2024). *¿Qué es un diagrama SIPOC (COPIS)?* <https://kanbantool.com/es/guia-kanban/que-es-un-diagrama-sipoc>

Laoyan, S. (2025). *Cómo implementar el análisis de brechas para alcanzar los objetivos de negocios.* <https://asana.com/es/resources/gap-analysis>

Lifeder. (2022). *Entrevista de investigación.* <https://www.lifeder.com/entrevista-de-investigacion/>

Louzada, P. (2023). *Histograma: ¿qué es? ¿Cuándo usarlo? ¿Cómo construir?* <https://www.fm2s.com.es/histograma-que-es-cuando-usarlo-como-construir/>

Lucas, P. (2014). *Gestión de las empresas por procesos* [Memoria de Ingeniería de Organización Industrial, Escola Tècnica Superior].

<https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/ddabb537-e1e1-4d81-b00a-18893e0ea00f/content>

Marín, L. (2007). Desinfección del agua: sistemas utilizados en AyA. *Hidrogénesis*, 5(1).

<https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.%20Sistemas%20utilizados%20en%20AyA.pdf>

Memon, M. (2023). *Cómo y cuándo usar un gráfico de pastel.*

<https://visme.co/blog/es/grafico-de-pastel/#:~:text=La%20definici%C3%B3n%20cl%C3%A1sica%20de%20un,porcentaje%20del%20conjunto%20que%20representa>

Montero, F. (2021). *El agua: un tesoro que hay que valorar y cuidar.*

<https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2021/03/17/agua-tesoro-hay-valorar-cuidar>

Municipalidad de Cartago. (2021). *Plan Estratégico Municipal 2021-2026.*

<https://www.muni-carta.go.cr/wp-content/uploads/2024/01/Plan-Estrategico-Municipal-MuniCartago.pdf>

Municipalidad de Cartago. (2025). *Creación de la Municipalidad de Cartago.*

<https://www.muni-carta.go.cr/creacion-de-la-institucion/>

Paz con la Naturaleza, Embajada Británica y Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (s.f.). *Guía práctica para el uso eficiente del agua en el sector público costarricense.*

<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.seguridadpublica.go.cr%2Fministerio%2Fgestion%2520ambiental%2Faprendamos%2Frecurso%2520hidrico%2FPresentacion%2520Guia%2520del%2520Agua.ppt&wdOrigin=BROWSELINK>

Pérez, R. (2025). *Análisis del campo de fuerzas (Kurt Lewin)*.
<https://actiongroup.com.ar/analisis-del-campo-de-fuerzas-kurt-lewin/>

Pirani. (2025). *Todo lo que debes saber sobre la auditoría interna*.
<https://www.piranirisk.com/es/academia/especiales/todo-lo-que-debe-saber-sobre-la-auditoria-interna#:~:text=La%20auditor%C3%ADa%20interna%20se%20enfoca,riesgos%20y%20los%20procesos%20internos>

Ponce, H. (2007). La matriz FODA: alternativa de diagnóstico y determinación de estrategias de intervención en diversas organizaciones. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 12(1), 113-130.
<https://www.redalyc.org/pdf/292/29212108.pdf>

Prevencionar. (2024). *La matriz de Eisenhower: qué es, cómo usarla y ejemplos prácticos para el bienestar laboral*. <https://prevencionar.com/2024/07/23/la-matriz-de-eisenhower-que-es-como-usarla-y-ejemplos-practicos-para-el-bienestar-laboral/>

Probabilidad y Estadística. (2025). *Gráfico radial (o diagrama de araña)*.
<https://www.probabilidadyestadistica.net/grafico-radial-o-diagrama-de-arana/>

Raúl López y Asociados. (2019). *Los Therbligs*.
<https://raullopezconsultor.com/los-therbligs-1911/>

Raúl López y Asociados. (2025). *Los Therbligs (1911)*.
<https://raullopezconsultor.com/los-therbligs-1911/>

Rodrigues, N. (2024). *Qué es el diagrama de Ishikawa, para qué sirve, cómo crearlo y ejemplos*. <https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa>

Ruiz, A. (2015). *La observación: una herramienta para la investigación*.
https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/67615/1/LA_OBSERVACI%C3%93N_Parte_I.pdf

Sáenz, J. (2023). *Matriz RACI. ¿Para qué sirve y cómo hacerla?*
<https://www.iebschool.com/hub/matriz-raci-para-que-sirve-y-como-hacerla-agile-scrum/>

Safety Culture. (2024). *Cómo el método DMAIC puede ayudar a su empresa a mejorar su rendimiento*.
<https://safetyculture.com/es/temas/dmaic/#:~:text=DMAIC%20es%20una%20metodología%20de,los%20residuos%20en%20sus%20procesos>

Salesforce LATAM. (2024). *Diagrama de Ishikawa: qué es y cómo aplicarlo*.
<https://www.salesforce.com/mx/blog/diagrama-de-ishikawa/#:~:text=Descargar%20la%20gu%C3%ADa,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20diagrama%20de%20Ishikawa%20o%20diagrama%20de%20pescado,un%20problema%20en%20su%20ra%C3%ADz>

Sánchez, A. (2023). *¿Cómo se mide la productividad en una empresa?*
<https://www.datacrm.com/blog/como-se-mide-la-productividad-en-una-empresa/>

Santos, D. (2023). *15 herramientas de planeación estratégica estelares para 2023*.
<https://blog.hubspot.es/marketing/herramientas-planeacion-estrategica>

Santos, D. (2025). *Herramientas de planeación estratégica: análisis PERT y más*.
<https://blog.hubspot.es/marketing/herramientas-planeacion-estrategica>

Savkín, A. (2019). *Uso de análisis de brechas para la revisión de la ejecución estratégica*. <https://bscdesigner.com/es/analisis-de-brechas.htm>

Scribd. (2025). *Movimientos de sacos*.
<https://es.scribd.com/document/466808414/movimiento-de-sacos-pdf>

Sejzer, R. (2016). *¿Qué es el mantenimiento productivo total (TPM)?*
<https://ctcalidad.blogspot.com/2016/07/que-es-el-mantenimiento-productivo.html>

Sentrio. (2021). *Value stream mapping: qué es, pasos y consejos para hacer uno*.
<https://sentrio.io/blog/value-stream-mapping/>

Slideshare. (2015). *Simbología de los Therbligs*.
<https://es.slideshare.net/slideshow/simbologa-de-los-therbligs/55206015>

Slideshare. (2020). *Ejercicios de tiempo Therbligs estándar*.
<https://es.slideshare.net/slideshow/ejercicios-de-tiempo-estandar/239540381>

Soy Ingenio. (3 de agosto de 2020). *¿Cómo elaborar un VSM desde cero? Guía definitiva paso a paso aprende con nosotros* [Video]. YouTube.
https://youtu.be/KhBdQekPSS8?si=XJf0GE3GOG_M712v

SSDSI. (2024). *DMAIC: What is it? What does it mean?* <https://sixsigmadsi.com/dmaic-process/>

TuDashboard. (2021). *Gráfica de barras*. <https://tudashboard.com/grafica-de-barras/>

APÉNDICES

APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agua cruda: Llamada agua bruta, es el agua que aún no ha sido manipulada mediante algún tratamiento químico para convertirla en potable. Se podría decir que es agua en estado natural.

Carbón activado: Carbón vegetal que elimina las bacterias e impurezas en el agua.

Embalse: Es una construcción que posibilita almacenar agua mediante una libre regulación. Se puede considerar un tipo de lago, pero con intervención humana.

Floc: Objetos sólidos que se separan del agua por medio de algún proceso químico o de floculación.

Hipoclorito de calcio: Compuesto químico que posee químicos como el cloro, lo cual permite desinfectar, blanquear y eliminar algas, hongos y otros microorganismos en el agua almacenada.

Kata: Significa forma o patrón, es comúnmente usada en artes marciales o para referirse a espacios donde se toma té. En esta investigación, es el un patrón o modelo para aprender nuevas habilidades y procesos, según la implementación en la fábrica de Toyota.

Sulfato de aluminio: Tipo de sal que sirve para purificar el agua.

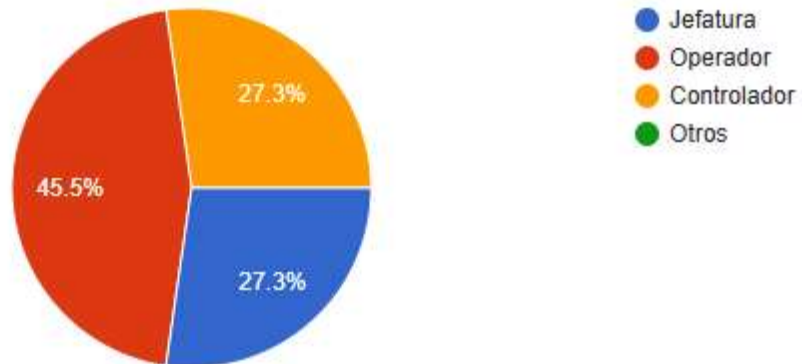
Takt time: Es el tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la siguiente pieza.

ANEXOS

ANEXO 1: Encuesta en formulario de Internet

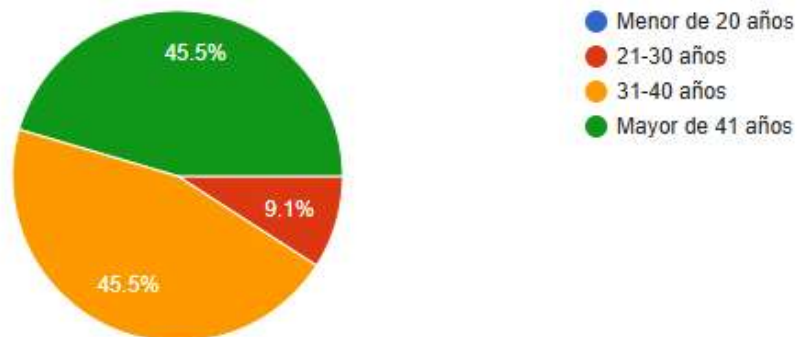
1. ¿Que puesto desempeña en la Institución?

11 respuestas



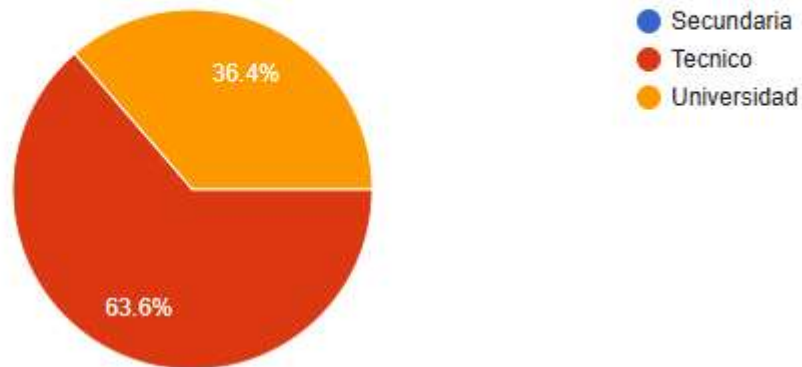
2. ¿En que rango de edad se encuentra?

11 respuestas



3. ¿Cual es su nivel académico?

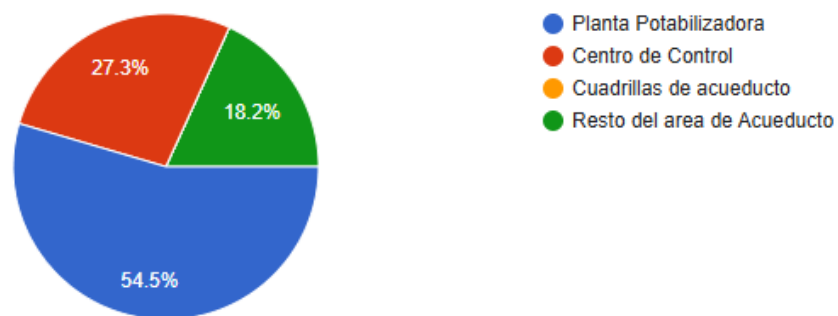
11 respuestas



4. ¿En que área de la Municipalidad de Cartago trabaja?

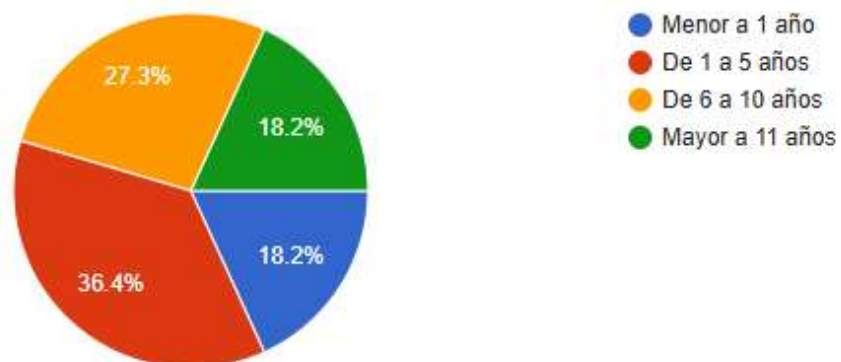
11 respuestas

[Copiar gr](#)



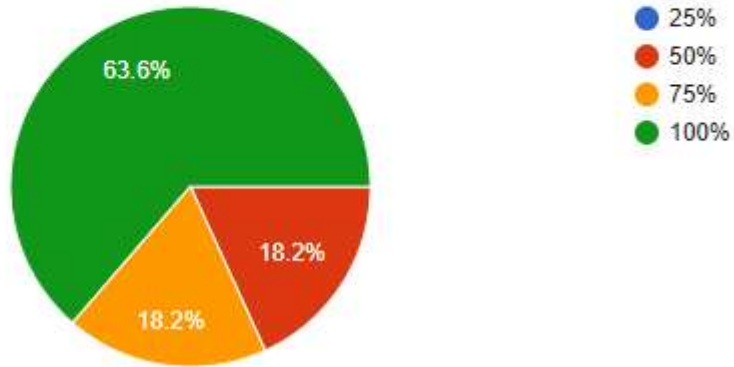
5. ¿Cuanto tiempo tiene de laborar en la Municipalidad de Cartago?

11 respuestas



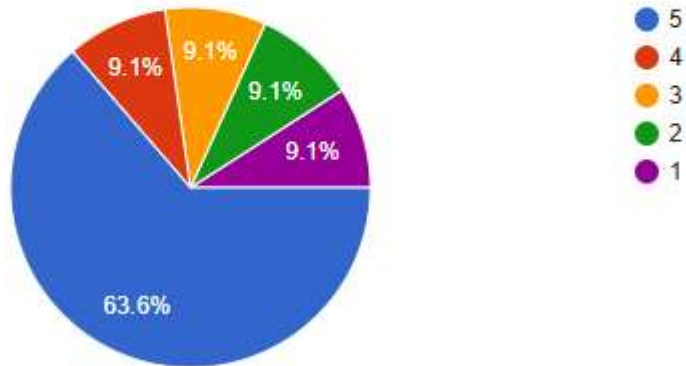
6. En términos porcentuales ¿Cuánto conoce el funcionamiento de la Planta Potabilizadora?

11 respuestas



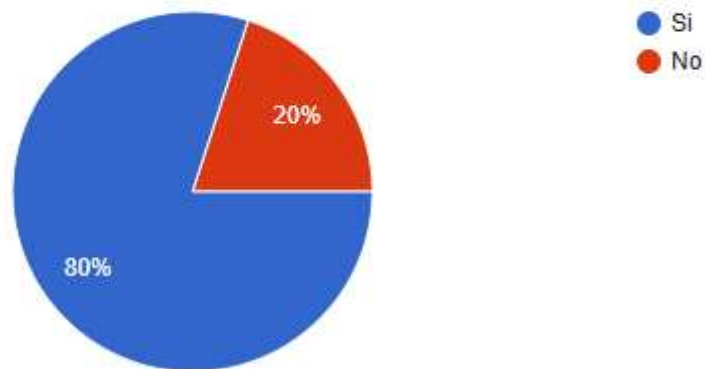
7. En una escala del 1 a 5, siendo 5 mucho y 1 muy poco ¿Cuánto afecta los procesos de potabilización y respuesta de la Planta Potabilizadora ?

11 respuestas



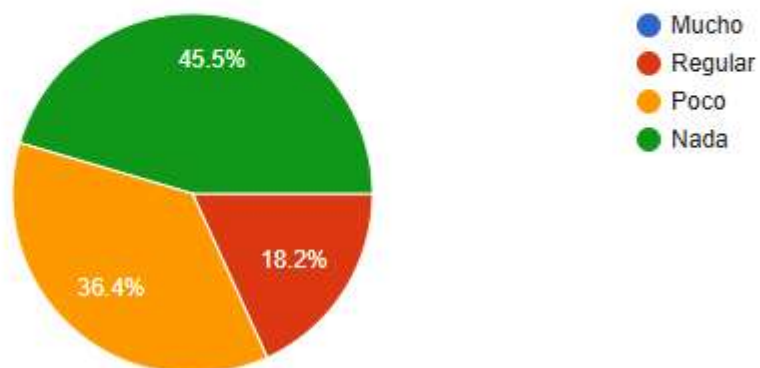
8. ¿Considera usted que es necesario un manual estandarizado de los procesos debidamente documentado?

10 respuestas



9. ¿Considera usted que tiene sentido de pertenencia y trabajo en equipo en la Planta Potabilizadora?

11 respuestas



10. Cuales puntos y recomendaciones daría, para mejorar el funcionamiento de la Planta Potabilizadora?

11 respuestas

Mejor ambiente laborar, proactividad, incentivar al personal, capacitación,

SEAN MAS ABIERTO, QUE SE RECONOZCA AL PERSONAL, CAPACITACIÓN Y MAS EMPATIA CON PERMISOS Y SOLICITUDES AL PERSONAL

El problema es que no manejan bien la planta, la jefatura a cargo

Mejor comunicación y trato de la jefatura, mejores horarios, ser mas flexibles

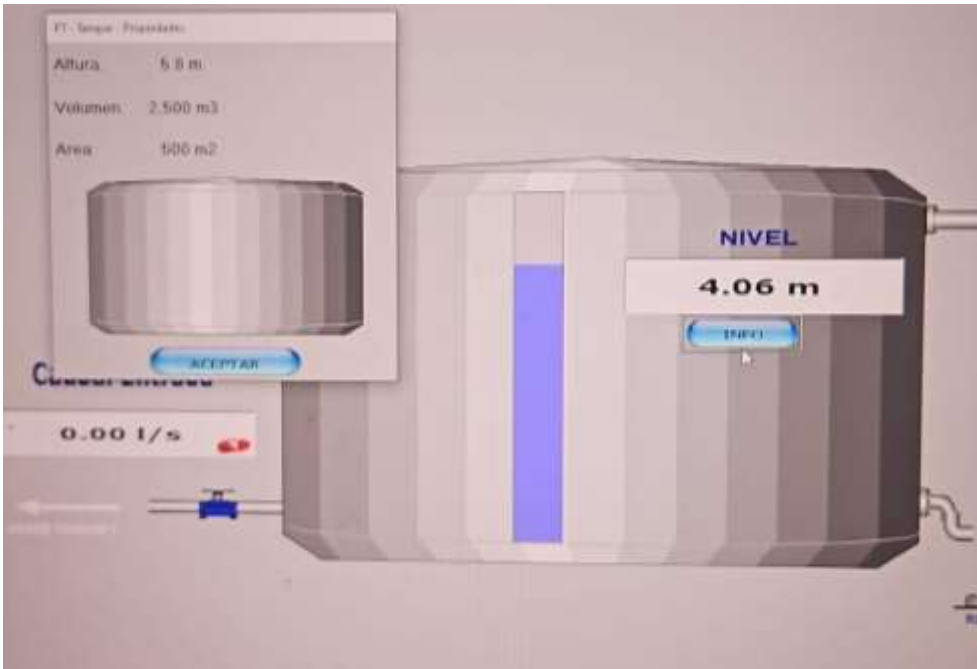
Los compañeros no cooperan tienen falta de equipo, se creen un area independiente a acueductos

Que todo se haga uniformemente y capaciten a todos nosotros

Capacitar a los demas, y que me ayuden a trabajar en equipo, capacitación

Tercearizar servicios

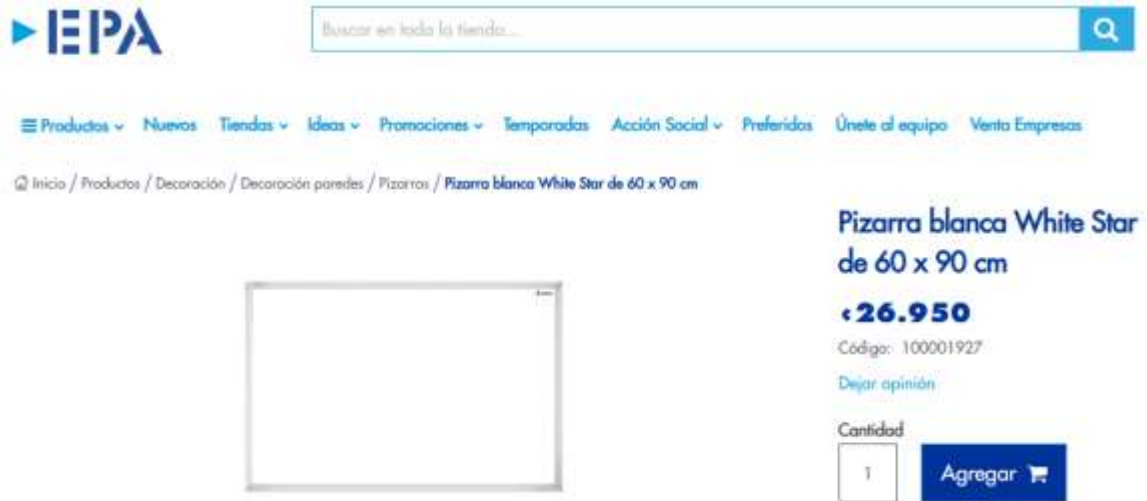
ANEXO 2: Sistema del Centro de Control



ANEXO 3: Planta potabilizadora de Cartago



ANEXO 4: Cotización de EPA



The screenshot shows the EPA website interface. At the top left is the EPA logo. A search bar contains the text "Buscar en toda la tienda...". A navigation menu includes "Productos", "Nuevos", "Tiendas", "Ideas", "Promociones", "Temporadas", "Acción Social", "Preferidos", "Únete al equipo", and "Venta Empresas". The breadcrumb trail reads: "Inicio / Productos / Decoración / Decoración paredes / Pizarras / Pizarra blanca White Star de 60 x 90 cm". The product image is a white rectangular chalkboard with a silver frame. The product title is "Pizarra blanca White Star de 60 x 90 cm". The price is "€26.950". The code is "Código: 100001927". There is a "Dejar opinión" link. The quantity is set to "1" in a text box, and there is a blue "Agregar" button with a shopping cart icon.



The screenshot shows the EPA website interface. At the top left is the EPA logo. A search bar contains the text "Buscar en toda la tienda...". A navigation menu includes "Productos", "Nuevos", "Tiendas", "Ideas", "Promociones", "Temporadas", "Acción Social", "Preferidos", "Únete al equipo", and "Venta Empresas". The breadcrumb trail reads: "Inicio / Productos / Limpieza / Artículos de limpieza / Paños limpieza / Paños multiusos microfibra suave rollo 36 uds 30 x 30 cm azul". The product image is a roll of blue microfiber cleaning cloths. The product title is "Paños multiusos microfibra suave rollo 36 uds 30 x 30 cm azul". The price is "€5.995". The code is "Código: 100003560". There is a "Dejar opinión" link. The quantity is set to "1" in a text box, and there is a blue "Agregar" button with a shopping cart icon.



Alcohol multiuso 80% 1 gal Qiflo

€9.450

Código: 100013782

[Dejar opinión](#)

Cantidad

Agregar