



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

**“MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN
SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE

SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO

TUTOR:

ING. BUENAÑO BUENAÑO EDISON NOE, MSc.

La Libertad, Ecuador

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAL

TEMA:

**“MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN
SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

**TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE
SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO**

TUTOR:

ING. BUENAÑO BUENAÑO EDISON NOE, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR


2025

UPSE

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Tomalá Vera Julissa Madeline y Serpa Arreaga Rubén Darío, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

TUTOR

f. 
Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, MSc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. 
Ing. Balón Ramos Isabel Del Rocio, MSc.

La Libertad, a los 09 del mes de Diciembre del año 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “**MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN SANTA ELENA**”, elaborado por la Srta. **TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE** y el Sr. **SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR (A)

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom.

f.
Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, MSc.

La Libertad, a los 09 del mes de Diciembre del año 2025

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE** y **SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN SANTA ELENA**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 09 del mes de Diciembre del año 2025

LOS AURTORES:

f. Julissa Tomalá
TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE

f. 
SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO

AUTORIZACIÓN

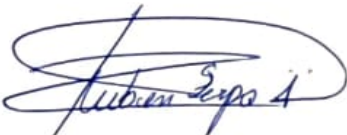
Nosotros, **TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE** y **SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN SANTA ELENA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 09 del mes de Diciembre del año 2025

LOS AURTORES:

f. Julissa Tomalá
TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE

f. 
SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN SANTA ELENA**” elaborado por la Srta. **TOMALÁ VERA JULISSA MADELINE** y el Sr. **SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO**, egresados de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATION, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 3% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



COMPILATION
revisión

3%
Textos sospechosos

0% 3% Similitudes

0% 4% Idiomas no reconocidos (ignorado)

0% 2% Textos potencialmente generados por IA (ignorado)

Nombre del documento: MODELO DE GESTIÓN POR PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA AGUAPEN EP TOMALA SERPA.pdf
ID del documento: 4794c13fa5e3a58197430a99e049c06bad6264b
Tamaño del documento original: 4.21 MB
Autor: Ruben Serpa Arreaga

Depositante: Ruben Serpa Arreaga
Fecha de depósito: 6/12/2025
Tipo de carga: uri_submission
fecha de fin de análisis: 6/12/2025

Número de palabras: 22 028
Número de caracteres: 153 020

FIRMA DEL TUTOR

f. _____
Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, MSc.

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

VALIDACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

CERTIFICO

Que, he realizado la revisión y corrección del Trabajo de Integración Curricular para la obtención del título de Ingeniero/a Industrial, con el tema: **“MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN SANTA ELENA”**. Ha sido desarrollado por los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial: **JULISSA MADELINE TOMALÁ VERA** y **RUBÉN DARÍO SERPA ARREAGA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

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

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

Atentamente,



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.
Magister en Educación Básica
Correo: misabelp1017@gmail.com
C.C: 0605353143
Celular: 0969917044

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento en primer lugar a Dios por todas las bendiciones que me brindo para llegar hasta este punto de mi vida.

A mis hermanos, a mis padres, Rubén Serpa y Martha Arreaga que me me brindaron su apoyo incondicional en todo este proceso.

Mi sincero agradecimiento a todos los profesores que, al pasar el tiempo durante esta etapa estudiantil, me inculcaron no solo su conocimiento, a pesar de tener paciencia y una excelente experiencia que ha forjado mi carácter, dedicación y formación profesional. De modo que, expreso mi sincera gratitud al tutor, el Ing. Edison Buenaño, quien fue un aporte fundamental bajo su apoyo constante para culminar de forma exitosa este trabajo investigativo. Igualmente, reconozco la ardua labor de la Ing. Isabel, quien estuvo encargada de la unidad de integración curricular (UIC), puesto que su excepcional compromiso, dedicación y calidad humana bajo sus enseñanzas, ya que me considero una persona privilegiada por contar con tan prestigiosa docente, finalmente mi eterno agradecimiento a todas las personas que formaron parte de esta bonita etapa.

Serpa Arreaga Rubén Darío

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Freddy Tomalá y Fátima Vera, por su amor incondicional y su apoyo permanente en cada etapa de mi vida. Su esfuerzo, sacrificio y dedicación han sido el pilar fundamental de mi formación personal y profesional. En particular a mi novio, Andrés Barba, que con paciencia, apoyo y comprensión mutuamente ha sido una motivación invaluable dentro de este camino que no ha sido fácil.

Del mismo modo, a mi tutor, Ing. Edison Buenaño, mil gracias por la comprensión, apoyo y paciencia constante durante este meticuloso proceso asimilando una confianza invaluable deposita para mí, ya que sin su ardua orientación fuera dicho más difícil el logro de esta meta.

Igualmente, mi más sincero agradecimiento a la Ing. Isabel Balón, por su enseñanza, dedicación y acompañamiento en el lapso de impartiendo de sus clases en la unidad de integración curricular. Su pasión por la enseñanza ha sido una inspiración, y ha sido un privilegio aprender de usted.

Tomalá Vera Julissa Madeline

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre, Martha Arreaga Franco, la persona que más amo en este mundo. Sin su apoyo, esfuerzo y amor incondicional, nada de esto habría sido posible. Cada una de mis victorias es por y para ella.

Serpa Arreaga Rubén Darío

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, quienes siempre han creído en mí y me han apoyado en cada paso de mi vida. Gracias por su esfuerzo, sacrificio y por enseñarme el valor de la perseverancia y la humildad. Extiendo esta dedicatoria a mi familia, por ser mi refugio y mi motor para seguir adelante aun en los momentos más desafiantes. A mi enamorado, por su amor incondicional, paciencia y comprensión, incluso en los días en que el cansancio superaba mis fuerzas. Gracias por celebrar conmigo cada logro y recordarme que soy capaz de alcanzar mis sueños. Esta meta también les pertenece, porque sin ustedes, esto no habría sido posible.

Tomalá Vera Julissa Madeline

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. ISABEL DEL ROCIO BALÓN RAMOS, MSc.

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. DAVID ALEJANDRO PAREDES AGUILAR, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. EDISON NOE BUENAÑO BUENAÑO, MSc.

DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. JUAN CARLOS MUYULEMA ALLAICA, PhD

DOCENTE GUIA DE LA UIC

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iv
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	v
AUTORIZACIÓN	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA	xi
DEDICATORIA	xii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	5
MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes de la investigación	5
1.2. Revisión literaria	6
1.3. Estado conceptual.....	9
1.4. Descripción del sistema productivo actual.....	12
CAPÍTULO II	16
DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	16
2.1. Enfoque de investigación	16
2.2. Diseño y tipo de investigación	17
2.3. Censo poblacional	19
2.4. Técnicas, métodos e instrumentos de recopilación de información.....	20
2.5. Diagnóstico de la situación problemática.....	28

CAPÍTULO III	41
PROPUESTA DE MEJORA	41
3.1. Alternativas de soluciones.....	41
3.2. Implementación de la propuesta.....	42
3.3. Guía de metodología DMAIC	44
3.4. Justificación económica	58
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS (o BIBLIOGRAFÍA)	66
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos generales de la empresa.	14
Tabla 2. Población de estudio de la planta potabilizadora Atahualpa.	19
Tabla 3. Encuesta realiza al personal.	19
Tabla 4. Variables de estudio.	22
Tabla 5. Revisión por expertos para su respectiva valoración del instrumento.	24
Tabla 6. Análisis de frecuencia de las rondas de validación.	24
Tabla 7. Calificación de expertos.	25
Tabla 8. Fiabilidad de datos del instrumento.	26
Tabla 9. Fiabilidad de encuesta.	26
Tabla 10. Resultados de encuesta.	27
Tabla 11. Descripción de departamentos de Aguapen EP.	30
Tabla 12. SIPOC del tratamiento primario.	36
Tabla 13. Matriz de impacto.	39
Tabla 14. Resultado de metodologías encontradas en la revisión literaria	41
Tabla 15. Herramienta de la gestión por procesos.	42
Tabla 16. Proceso crítico sedimentación primaria.	42
Tabla 17. Resultado de indicadores operativos de la PTAR.	46
Tabla 18. Límites máximos permisibles para vertidos a cuerpo de aguas.	46
Tabla 19. Hoja de control de datos de sedimentos (4 semanas).	47
Tabla 20. Hoja de control de datos de sedimentos (4 semanas).	47
Tabla 21. Herramienta de 5 porques.	48
Tabla 22. Acciones consideradas a mejorar.	48
Tabla 23. Resultados de indicadores propuesto.	49
Tabla 24. Controles de análisis de laboratorio.	50
Tabla 25. Método de calificación para OEE.	53
Tabla 26. Método de calificación para el NRP	53
Tabla 27. Matriz AMFE en Aguapen EP.	55
Tabla 28. Plan de mantenimiento para las máquinas.	56
Tabla 29. Presupuesto de la investigación.	59
Tabla 30. Cálculos del flujo de fondo.	60
Tabla 31. Indicadores financieros.	60
Tabla 30. Resumen y análisis de cada ítem.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de PRISMA.	7
Figura 2. Métodos encontrados.	8
Figura 3. Protocolo de investigación.	9
Figura 4. Logo de la empresa.	13
Figura 5. Organigrama estructural de Aguapen EP.	15
Figura 6. Flujo del proceso.	16
Figura 7. Diseño de la investigación.	18
Figura 8. Protocolo a seguir en el estudio.	18
Figura 9. Organización para la recopilación de datos.	20
Figura 10. Estructura del método de Delphi.	21
Figura 11. Grado de satisfacción de encuesta por operadores.	27
Figura 12. Distribución de planta.	29
Figura 13. DOP de tratamiento de aguas residuales.	32
Figura 14. Diagrama de recorrido de agua tratada.	33
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso.	34
Figura 16. Mapa de procesos.	35
Figura 17. Problemas identificados.	37
Figura 18. Ishikawa primer nivel.	38
Figura 19. Calificación de criterio	40
Figura 20. Modelo actual de control de sedimentación.	43
Figura 21. Identificación de porcentaje de tareas.	44
Figura 22. Guía Metodológica	45
Figura 23. Modelo propuesto de proceso de limpieza de sedimentos.	51
Figura 24. Porcentaje de proceso de actividades propuesto.	51
Figura 25. Indicadores actuales vs propuesto.	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Unión de base de datos (Web of Science y Scopus).	71
Anexo 2. Elaboración de gráficas en Biblioshny.	71
Anexo 3. Fases de la revision bibliometrica.	73
Anexo 4. Artículos publicados por año.	74
Anexo 5. Mapa de colaboración entre países.	74
Anexo 6. Mapa de sinergia de palabras claves.	75
Anexo 7. Matriz de análisis de artículos.	75
Anexo 8. Enfoques de investigación.	78
Anexo 9. Metodologías utilizadas.	79
Anexo 10. Técnicas aplicadas por los autores.	79
Anexo 11. Instrumentos empleados por los investigadores.	80
Anexo 12. Operacionalización de variables.	80
Anexo 14. Encuesta a trabajadores de Aguapen EP.	83
Anexo 15. Cuestionario de preguntas dirigida a los operadores.	84
Anexo 16. Comparación de resultados de la encuesta.	85
Anexo 17. Compilación de información del instrumento.	88
Anexo 18. Fiabilidad de instrumento y encuesta.	89
Anexo 19. Estación de bombeo de agua residual.	90
Anexo 20. Lagunas de oxidación.	90

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

6σ: Six Sigma.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

MGPP: Modelo de gestión por procesos.

LM: Lean manufacturing.

PHVA: Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (Ciclo de mejora continua).

TPM: Mantenimiento total productivo.

MTM: Estudio de tiempos y movimientos.

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno.

SST: Sólidos suspendidos totales.

AYG: Aceites y grasas.

AMFE: Análisis modal de fallos y efectos.

DMAIC: Definir – Medir – Analizar – Mejorar - Controlar (Ciclo de mejora continua).

“MODELO DE GESTIÓN POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN AGUAPEN EP, CANTÓN SANTA ELENA”

Autor: Tomalá Vera Julissa Madeline

Serpa Arreaga Rubén Darío

Tutor: Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, MSc

RESUMEN

El modelo de gestión por procesos es una herramienta fundamental que estructura de manera detallada cada una de las actividades de una empresa en procesos relativamente interrelacionados para mejorar la calidad, la productividad y la eficiencia de los procesos, el objetivo de este trabajo fue mejorar la calidad del agua tratada mediante la estandarización de procesos, utilizando una revisión exhaustiva de la literatura para identificar estudios relevante del tratamiento de aguas residuales que permitió establecer una secuencia lógica para modelar la gestión de los procesos operativos de la planta. Asimismo, se realizó la recopilación de datos de los caudales del afluente y efluente, por ende, se realizó el muestro del agua residual en los puntos de entrada y salida de la PTAR para el análisis de las características fisicoquímicas que fueron procesadas en el laboratorio de la empresa Aguapen EP. Con los resultados obtenidos del DMAIC los sólidos totales suspendidos en el proceso de sedimentación de aguas residuales actuales eran de 55 % que paso a ser del 77 %, seguido de la demanda bioquímica de oxígeno actualmente tenía una eficiencia del 53 % a su vez con la mejora este ascendió a 78 %, finalmente la aceite y grasas en el agua tratada era del 36 % paso a ser del 79 % donde se cumplen con los estándares permitidos por la normativa TULSMA. Conjuntamente la aplicación del plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) ha generado una mejora significativa en los indicadores del OEE. En la situación inicial, el OEE se encontraba en un 69 %, clasificado como regular. Sin embargo, tras la implementación del plan TPM, se observa una transformación sustancial, elevando el OEE al 95 %, ahora categorizado como buena.

Palabras claves: DMAIC, tratamiento de aguas, AMFE, BDO, TPM, SST.

“PROCESS MANAGEMENT MODEL FOR WASTEWATER TREATMENT AT AGUAPEN EP, SANTA ELENA CANTON”

Author: Tomalá Vera Julissa Madeline

Serpa Arreaga Rubén Darío

Tutor: Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, MSc

ABSTRACT

The process management model is a fundamental tool that structures each of a company's activities in detail, breaking them down into relatively interrelated processes to improve quality, productivity, and efficiency. The objective of this work was to improve the quality of treated water through process standardization. These samples were then processed in the laboratory of Aguapen EP. With the results obtained from the DMAIC (Digital Mobilization and Analysis of Wastewater Treatment), the total suspended solids in the current wastewater sedimentation process increased from 55 % to 77 %. Following this, the biochemical oxygen demand (BOD) efficiency, which was 53 %, rose to 78 %. Finally, the oil and grease content in the treated water increased from 36 % to 79 %, meeting the standards permitted by the TULSMA (Unified Text of Environmental and Environmental Management) regulations. Furthermore, the implementation of the Total Productive Maintenance (TPM) plan has generated a significant improvement in the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicators. Initially, the OEE was at 69 %, classified as fair. However, after the implementation of the TPM plan, a substantial transformation was observed, raising the OEE to 95 %, now categorized as good.

Keywords: DMAIC, water treatment, FMEA, BDO, TPM, SST.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, Timiraos et al., (2025) menciona que el tratamiento de aguas residuales aborda un desafío emergente para la sostenibilidad de los recursos hídrico basado en una arquitectura de sensores virtuales diseñada para estimar los niveles de nitrógeno en efluentes y analizar el rendimiento de las plantas potabilizadoras de agua mediante un indicador operativo. Consecuentemente, la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde el 44 % de las aguas residuales generadas reciben un tratamiento idóneo y seguro, dado que abarca más de la mitad de los vertidos contaminan suelos y el ecosistema, afectando directamente la salud y la disponibilidad al momento de consumir agua más limpia (Alabaster et al., 2021). Por otro lado, esta situación implica la adaptación de medidas tecnológicas e innovadoras basadas en la gestión eficiente del consumo de agua en las regiones de todo el mundo, ya que pueden atribuir un desarrollo y mantenimiento de los acueductos reduciendo la huella de carbono a través de la mitigación del impacto ambiental en ríos y vertederos (Ulusoy et al., 2024).

En este sentido, Wang et al., (2022), abarca que las plantas de procedimientos de aguas excedentes están integrando en sus estrategias objetivos basados hacia en la mejora continua en analítica avanzada para optimizar el control y la calidad de efluentes en plantas de tratamientos de aguas residuales. En su investigación, Öden et al., (2025), desarrolló un modelo de gestión por proceso para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales generadas durante operaciones de perforación mediante el proceso de electrocoagulación (EC), con la finalidad de modelar un sistema optimizado para la remoción de contaminantes inorgánicos presentes en ríos y mares con altas concentraciones de estos materiales, bajo la metodología la ejecución de superficie de respuesta (RSM). Los resultados obtenidos revelan una alta eficiencia en cuanto a la reducción de contaminantes como el sodio con un 86.74 %, de la misma forma se removió el 70.65 % de cloruro y en última instancia el magnesio con 65.48 % respectivamente.

Mientras que, para Cieza-Pérez et al., (2022), menciona que desarrollar un modelo de gestión de procesos internos orientado a fortalecer el manejo ambiental en una planta de tratamiento de aguas residuales, se debe aplicar un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo-propositivo, utilizando como técnicas principales la encuesta aplicada al personal operativo y el diagnóstico de laboratorio, con el fin de estructurar lineamientos que permitan optimizar las prácticas internas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales, mejorando la eficacia en la disposición y control de los residuos generados. Sus resultados evidenciaron fallas en la organización de los procesos internos y desviaciones en los parámetros de calidad del agua, lo

que sustentó la necesidad de implementar un modelo que sirviera como guía para una gestión más eficiente y ambientalmente responsable.

Asimismo, en su trabajo de investigación desarrollado por Pillapa-Ponluisa et al., (2024) en Ecuador, se evaluó una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), con el objetivo de identificar si el agua tratada que se descarga al río se encuentra bajo la normativa vigente. En definitiva, se recopiló la información del afluente para examinar el nivel de sedimentación del caudal basándose en la normativa TULSMA, además se determinó que la demanda bioquímica de oxígeno se encuentra fuera de los límites permitidos, debido a que se busca adaptar una propuesta de mejora para el tratamiento del recurso hídrico (agua). Como resultado se calculó la calidad del efluente según el grado de partículas encontradas en la remoción del estado actual de la PTAR y bajo la implementación de modelo de gestión por procesos se comprobó que esta permite mejorar el DBO y DQO del agua tratada previo a su descarga final ya que, cumple un plan de mantenimiento y operación que cumpla eficientemente el propósito para el cual fue diseñado el modelo de dicha PTAR.

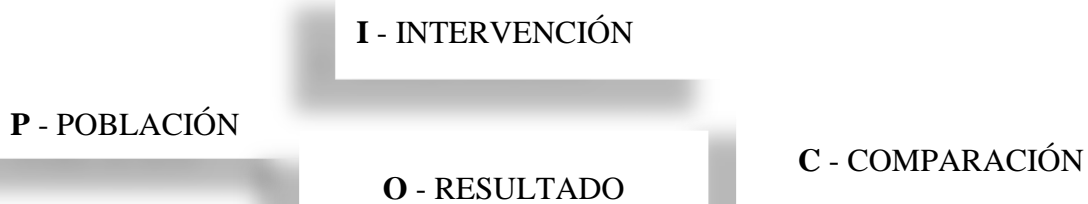
Según datos del INEC en Ecuador se registran 639 plantas de dedicadas al tratamiento de agua residual, que se encuentran distribuidas en 160 municipios, pero del total de agua distribuida por los entes regulatorios, solo el 24.6 % en promedio al mes ingresan a las plantas de tratamiento de agua residual para ser procesadas de forma adecuada. Por lo tanto, en el año 2023, el 63,3 % de los GADM gestionaron la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento a través del municipio, mientras que el 29,9 % gestionaron mediante empresas públicas municipales, un 6,3 % gestionan mediante empresas públicas mancomunadas y un 0,5 % la gestión es mediante la empresa privada. el 75.4 % de las aguas son vertidas o arrojadas a ríos, quebradas y vertederos lo que ocasiona un problema fundamental afectando al medio ambiente (Cajas et al., 2023). Por ende, es necesario ejecutar un modelo de gestión por procesos que mejore la calidad del agua para así mitigar este paradigma.

Bajo este contexto, la empresa Aguapen EP, dedicada al abastecimiento de agua potable y sistema de alcantarillado dentro de la provincia de Santa Elena, enfrenta problemas esenciales bajo retos en el tratamiento de aguas residuales. Mediante las lagunas de oxidación bajo la gestión de sus procesos se han evidenciado grandes fallas en sus resultados operativos, ya que incumplen parcialmente el idóneo manejo de los residuos generados en sus operaciones diarias. Finalmente, estas debilidades comprometen no solo la calidad de vida de las personas sino también el impacto ambiental de las fuentes renovables, dado que la eficiencia en la prestación

del servicio, aludiendo un análisis y evaluación profunda de la situación operativa actual de la entidad, por ello se optó por acoplar la gestión por procesos para mitigar estos problemas en base a la eficiencia y calidad del tratamiento de agua residuales.

Diseño de la formulación del problema

¿De qué manera el desarrollo de un modelo de gestión por proceso (I) en la Ptar de Aguapen EP (P) mejora la eficiencia del tratamiento de aguas residuales (O) basado en la situación actual de la organización (C)?



La herramienta PICO ayuda a formular de manera clara y precisa el problema de esta investigación, cada letra representa un elemento clave.

Objetivos generales

Desarrollar un modelo de gestión por procesos para mejorar el tratamiento de agua en la empresa Aguapen EP cantón Santa Elena

Objetivos específicos

- ❖ OE1: Diagnosticar el desempeño de la gestión por procesos basado en el análisis bibliométrico para la identificación de las deficiencias en el tratamiento de agua residuales.
- ❖ OE2: Analizar la situación problemática, empleando técnicas e instrumentos de recopilación de información que faciliten la síntesis de los procesos en el tratamiento de agua en Aguapen EP.
- ❖ OE3: Elaborar el modelo de gestión por procesos para la mejora del tratamiento de aguas residuales en la empresa aguapen EP.

Justificación de la investigación:

Para enfrentar la creciente demanda de agua de alta calidad y la presión para mitigar la contaminación ambiental, las organizaciones deben buscar formas eficientes de gestionar sus procesos. En este contexto, la metodología DMAIC, propuesta por Won et al., (2021), se presenta como una solución efectiva, ya que enfatiza hacia la mejora continua de los procesos y reduce la variabilidad para el objeto de estudio, mejorando la calidad de los procesos para que pueda cumplir la PTAR con lo establecido en los estándares permisibles de la empresa así esta será más competitiva en un entorno cada vez más exigente.

Por ende, la investigación engloba una estructura detallada de la gestión por procesos bajo procedimientos específicos diseñados para cada etapa del macroproceso y subproceso, facilitando el control, la evaluación y la optimización del flujo de actividades de manera sistemática (Cieza Pérez et al., 2022). La finalidad es mitigar y detectar los buffer o cuellos de botellas, tareas repetitivas carentes de valor agregado, efectuando la utilización más eficiente de los recursos con una mayor trazabilidad operacional fortalecida y la prestación de servicios bajo estándares que mejoren la calidad de cada una de las fases inmersas en el tratamiento de aguas residuales.

La investigación fue trascendental dado que se fundamenta en la adopción de la gestión por procesos, a su vez permite disminuir las ineficiencias operativas bajo el control del flujo de actividades y la estandarización de los procesos, no obstante, establece las bases ligadas hacia la mejora continua orientada a mejorar la calidad del servicio. De igual manera la metodología actúa como un base de transformación organizacional en Aguapen EP, incursionando una cultura enfocada en la trazabilidad, la optimización y la eficacia sistemática de los procesos. En consecuencia, se brinda un respaldo de la sostenibilidad operativa, cumpliendo los requisitos establecidos bajo la normativa vigente y el fortalecimiento de la competitividad organizacional en cuanto al uso del recurso hídrico dentro de la provincia de Santa Elena.

La factibilidad del estudio es alta, debido a que se sustenta en la capacidad de gestionar los procesos para hacerle frente de manera efectiva a la necesidad de estandarizar y optimizar las operaciones tanto en Aguapen EP como también en otras empresas enfatizadas al uso del sector hídrico. Por lo tanto, este enfoque atribuye el aumento de la eficiencia operativa, dado que no solo mejora la calidad del servicio, sino que refuerza el control del procedimiento, maximizando la competitividad institucional para la implementación de prácticas sistematizadas de manera más elocuentes.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Según Filali et al. (2025) menciona que es importante llevar a cabo un sistema cíclico de tratamiento de aguas grises adoptando ósmosis mecánica, biológica y fitorremediación mediante el uso de *Chenopodium quinoa*, teniendo la finalidad de reutilizar estas aguas mediante prácticas agrícolas sostenibles. Su modelo de gestión se estructuró a través de un diseño experimental basado en tres niveles de tratamiento, evaluando su impacto en la calidad del agua y en las propiedades fisicoquímicas del suelo y de la planta, demostrando mejoras significativas, como la reducción de la DBO de 31,33 a 15,74 mg O₂/L y de la DQO de 102,64 a 54,19 mg O₂/L, cumpliendo con la normativa tunecina NT 106.03 y las directrices de la OMS.

Al mismo tiempo, El-Gawad et al., (2024), empleó un sistema integrado e innovador para el tratamiento sostenible de aguas residuales textiles, distinguidas por su alta carga de edificadores orgánicos y colorantes. Bajo estos fundamentos, el modelo armoniza procesos convencionales (sedimentación, cribado y adsorción) con una etapa avanzada de oxidación solar mediante el proceso foto-Fenton, optimizado a través de experimentación multivariada. Se adoptó un novedoso colector parabólico con mayor diámetro del tubo absorbedor, lo que permitió una mejor captación de radiación solar con dosis más bajas de catalizador. Bajo condiciones óptimas, logrando eficiencias de remoción del 85 % para la DQO, 82 % para el TOC y una decoloración completa.

Asimismo, mediante su estudio realizado por Pande & Hambarde et al., (2024), alude que el modelo de gestión por procesos se empleó como una herramienta de optimización para el tratamiento de aguas residuales, con el propósito de fortalecer la toma de decisiones y la eficiencia operativa de plantas industriales. Con base en el análisis de datos históricos, se pudo identificar estructuras y parámetros críticos en diversas etapas del proceso, por ende, facilitó la validación del método en contextos como Melbourne, California y Europa. Finalmente, como resultado, se estructuró un flujo lógico de actividades que acoplo coherentemente cada fase del tratamiento. De la misma manera, se alcanzaron mejoras significativas del 8,5 % en la calidad, bajo una reducción del 4,9 % en los tiempos de producción y se evidenció un incremento del 9,5 % en la pureza del agua. De esta forma, el modelo aseguró el cumplimiento de estándares internacionales dado que consolidó escenarios más eficaces y sostenibles.

Bajo estos fundamentos, es necesario desarrollar un análisis bibliométrico de la literatura que se tomará como punto de partida para identificar que enfoque, diseño, aplicación, método, técnica e instrumento de recopilación de datos son los más adecuados para ser empleados dentro de la investigación

1.2. Revisión literaria

Mediante la revisión de la literatura se expresa la metodología del análisis bibliométrico sobre los modelos de gestión por procesos, se ejecutó una búsqueda de documentos publicados durante el periodo 2020 al 2025, la información recolectada para el presente estudio fueron artículos científicos donde se ejecutó la búsqueda en las bases de datos Scopus, Web of Science y Scielo, por medio de estas bases de datos se obtuvo la confiabilidad y validez de las revistas científicas, facilitando al investigador recabar la información idónea de las variables de estudio.

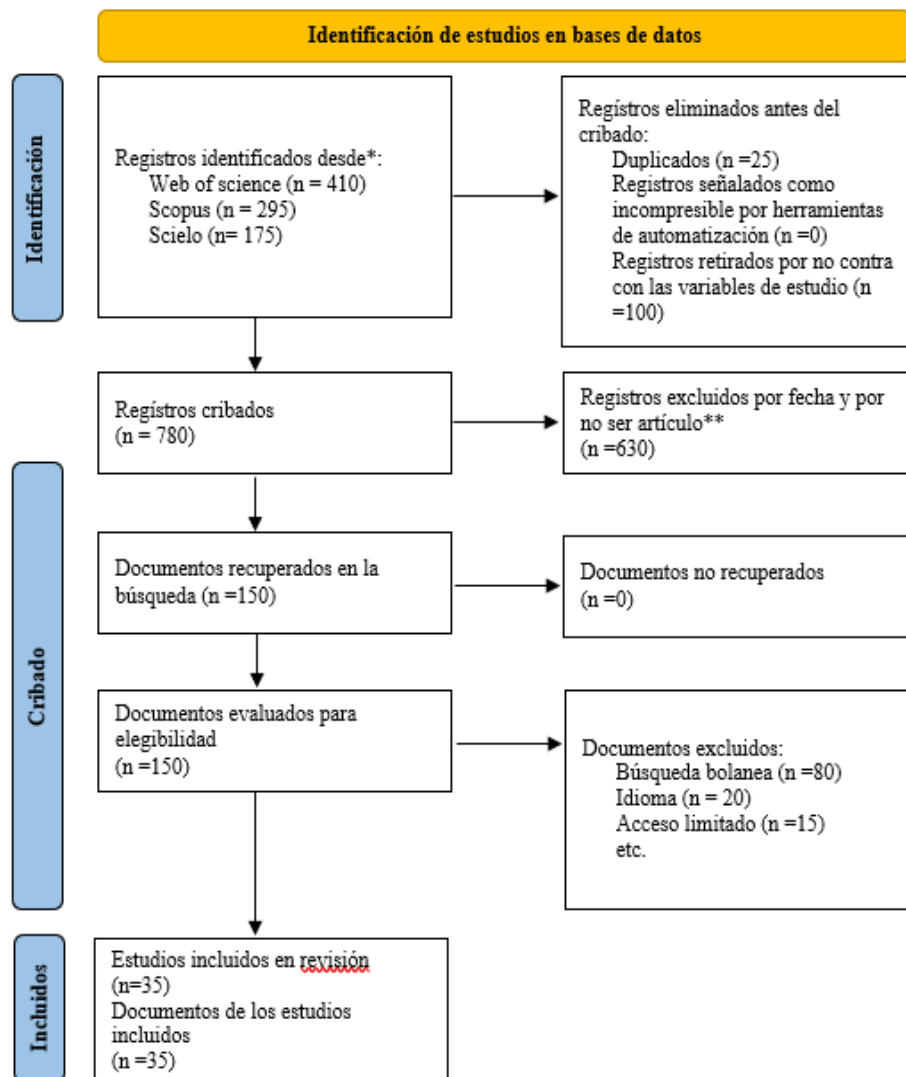
Asimismo, se empleó una búsqueda detallada aplicando filtros para disminuir la cantidad de información: primero se eligió artículos como tipo de documentos, mediante el segundo filtro se analizaron artículos en lapsos de 2020 hasta 2025, posteriormente se seleccionaron documentos basados en modelos de gestión por procesos y tratamientos de agua residuales mediante operadores boléanos OR y AND se redujo la información en base a las áreas temáticas de ingeniería industrial.

La metodología aplicada en el análisis bibliométrico en el presente estudio se realizó empleando criterios de fijación y eliminación para obtener los artículos basados en el tema de investigación, por ende, se aplicaron las siguientes etapas: fase (I) planificación, donde se evaluó la revisión literaria a cerca de las variables de estudio modelo de gestión por proceso y tratamiento de aguas residuales. Seguido de la fase (II) ejecución de la búsqueda empleando palabras claves “modelo de gestión por procesos”, “tratamiento de aguas”, “mejora de calidad de agua” bajo la adaptación de operadores boléanos ando y or: finalmente, se emplea la última fase (III) Para el análisis bibliométrico se ejecutaron las evaluaciones proporcionadas por las bases de datos como son Scopus, Web of Science y Scielo, posteriormente se analizó la información en el software Biblioshiny y RStudio. A través de este análisis se presentó la evolución en el número de publicaciones, comparación entre países, nube de palabras claves, red de coocurrencia de palabras, entre otros. (ver Anexos 1, 2, 3 y 4).

En la Figura 1, se observa la cantidad de documentos que fueron eliminados por estar duplicados y por no tener relación al tema de investigación por criterios de elegibilidad, de los

cuales 125, son suprimidos por tener características diferentes al estudio, un total de 630 artículos por no abarcar en los periodos de búsqueda, 20 por ser de idiomas diferentes a español e inglés, 15 por no tener acceso gratuito al documento, y por último 80 por emplear operadores boléanos, dando paso a un total de 35 artículos empleados para el estudio.

Figura 1. Diagrama de PRISMA.



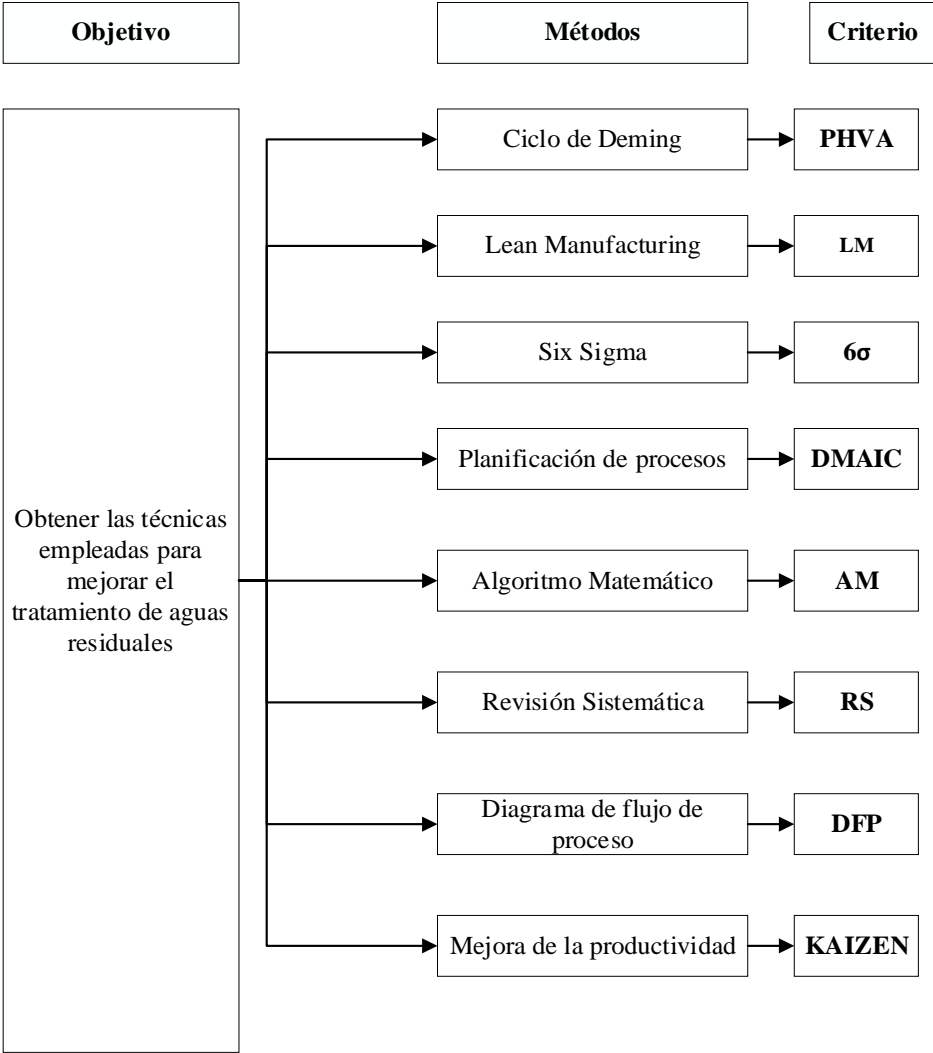
Nota. Elaborado por los autores.

A partir del Anexo 5 se enumera los datos obtenidos mediante la adaptación de los autores a través de la información analizada durante la investigación, y la sinergia de procedencias manifestadas. Finalmente, se construyó una tabla detallada acerca de las áreas de estudio que han sido detectada con el tema de investigación, donde se resalta los métodos más utilizados, enfoques, técnicas e instrumentos de recopilación de datos.

Se analizaron artículos de diversos autores los cuales emplearon una variedad de métodos adaptados para analizar los procesos de tratamiento de aguas residuales donde

establecieron una medida para ciertos elementos, por ende, se respaldan los siguientes métodos o herramientas donde abarcan los más adecuado para las situaciones que aludieron los investigadores dado que se pueden emplear en distintos aspectos técnicos, políticos, entre otros. Tal como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2. Métodos encontrados.

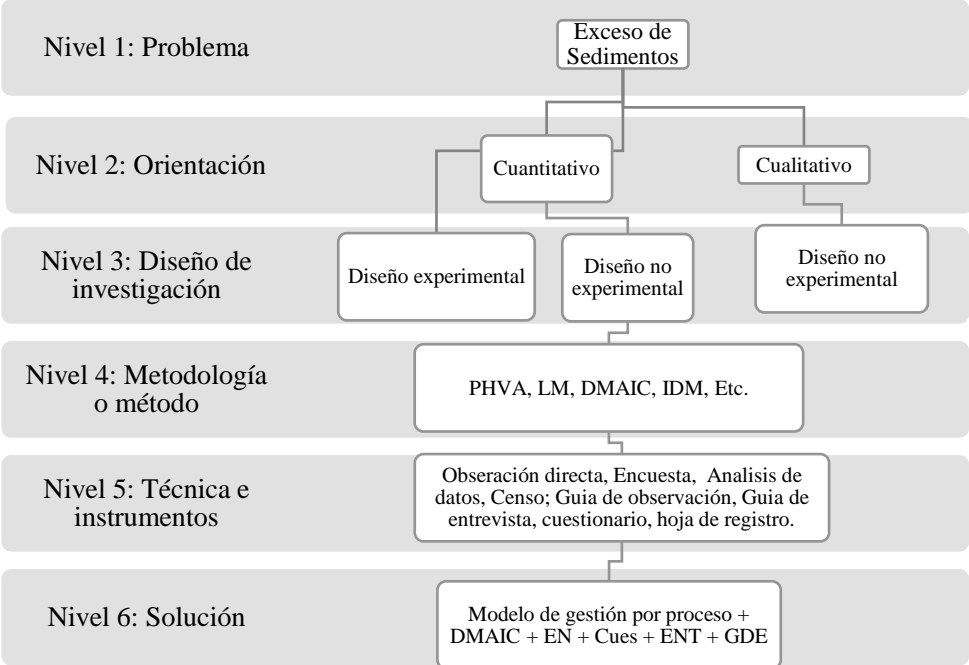


Nota. Elaborado por los autores.

A continuación, se presenta un esquema comparativo de los métodos fundamentales aplicadas para optimizar el tratamiento de aguas residuales, vinculadas en criterios metodológicos específicos. De la misma forma, se destacan enfoques de mejora continua como el ciclo de Deming (PHVA), lean manufacturing y Kaizen, los cuales están orientados a la eficiencia operacional. Asimismo, se incluyen metodologías de control y calidad que son Six Sigma y DMAIC, dado que permiten la reducción de desperdicios y la estandarización de procesos mediante mudas. Por otro lado, se integran herramientas analíticas como algoritmos matemáticos, revisión sistemática y diagramas de flujo, que facilitan la comprensión,

estructuración y validación del proceso. En conjunto, este procedimiento evidencia la adaptación de técnicas de gestión, análisis y mejora para fortalecer la sostenibilidad y calidad del tratamiento de aguas residuales.

Figura 3. Protocolo de investigación.



Nota. Esquema metodológico obtenido del análisis literario.

Como se evidencia en la Figura 3 el protocolo a seguir mediante la ejecución del estado del arte (Sección 1.2), en el cual se tendrá el primer nivel que expresa la problemática de estudio, seguido del nivel 2 donde abarca la orientación de estudio de tipo cuantitativo por la elección meticulosa de los procesos que abarcan las actividades que desarrollan los operadores día a día en la empresa Aguapen EP con un aporte de 51 % en el estudio. Consecuentemente, la metodología más precisa que se adapta al campo investigativo es ciclo de Deming más conocido como DMAIC, asimismo, abarca la técnica para la recolección de información basada en una encuesta dado que, es la más utilizada por los investigadores con un aporte del 44 % de aportación al estudio. Finalmente, se relaciona la selección de los datos a estudiar de la empresa bajo un cuestionario con un índice de utilización del 47 % dentro del estudio (ver Anexos 6, 7, 8 y 9).

1.3. Estado conceptual

Modelo de gestión por procesos

La gestión por procesos es la forma de gestionar toda la organización basándose en los procesos, entendiendo esto como una secuencia de actividades orientadas a generar un valor añadido sobre una “entrada” para conseguir un resultado, y una “salida” que a su vez satisfaga las necesidades de los clientes (Cieza Pérez et al., 2022).

Además, la gestión por proceso es un elemento esencial, no solo para conseguir comprender mejor las necesidades de sus clientes y, por tanto, poder satisfacerlas, sino para tener la suficiente agilidad para adaptar continuamente su gestión a las necesidades cambiantes de su entorno, ser proactivos y crear las reglas sobre las que se fundamentará su futura competitividad (Pande & Albarde, 2024).

Lean manufacturing

Es una herramienta ligada a la mejora continua para optimizar proceso logrando reducir desperdicios, actividades, procesos que no agreguen valor al producto final, ya que su enfoque se radica en mejorar la calidad, reducir costos y aumentar la eficiencia en general de una empresa. Esta metodología busca el cumplimiento de las necesidades de los clientes bajo altos estándares durante el menor tiempo posible que dura la distribución y recepción de los productos (Calderon-Huyhua & García-Espíritu et al., 2020).

Ciclo de Deming (PHVA)

La metodología de mejora continua dado que se desglosa en cinco etapas para solucionar problemas donde se planifica las actividades, seguido de lo que se debe realizar para mejorar las actividades o procesos, a través de la verificación de las causas se puede actuar teniendo así un orden específico para solucionar problemas adyacentes en cada de los procesos productivos. Este método establece acciones correctivas mejorando la calidad y el desempeño organizacional tomando estrategias idóneas para optimizar el cumplimiento a cabalidad de los procesos mejorando la eficiencia empresarial (Won et al., 2021).

Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales son el resultado de actividades humanas domésticas, industriales, agrícolas y comerciales, dado que contienen una combinación de sólidos disueltos, agentes patógenos y materia orgánica. Por lo tanto, debido a su origen diverso, presentan una composición cambiante que puede incluir productos químicos, contaminantes biológicos y

metales pesados. Por esta razón, su tratamiento idóneo es fundamental para evitar impactos negativos en los cuerpos receptores y en la salud pública (Castelo-Grande et al., 2021).

PTAR

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es una instalación diseñada para remover contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua proveniente de usos domésticos, industriales o municipales, con el fin de minimizar su impacto ambiental y permitir su posible reutilización o descarga segura. Técnicamente, el proceso se compone de etapas de pretratamiento, tratamiento primario, secundario y, en algunos casos, terciario, donde mediante operaciones unitarias como la sedimentación, aireación, filtración y desinfección se logra la depuración del efluente. Asimismo, su funcionamiento debe basarse en parámetros de control como DBO, DQO, SST, pH y aceites y grasas, que garantizan la eficiencia del sistema (Castelo-Grande et al., 2021).

SST

Los sólidos suspendidos totales enfatizan la inspección de la materia orgánica que se encuentra dispersada en el agua, dado que no se puede diluir bajo condiciones altamente regulatorias, por ende, solo pueden ser separadas del recurso hídrico. Además, su concentración elevada puede interferir en los procesos biológicos de las plantas de tratamiento, reducir la eficiencia de la desinfección y provocar sedimentación en los cuerpos receptores (Castelo-Grande et al., 2021).

DBO

Es un parámetro de la calidad del efluente que mide la demanda bioquímica de oxígeno diluida de tal manera que requieren microorganismos para poder degradar la materia inorgánica biodegradable presente en el agua, empleando acciones controladas a tiempos (Neelakandan et al., 2023).

FLEXSIM

Es un software de simulación de eventos discretos utilizado para modelar, analizar y optimizar sistemas productivos, logísticos o de servicios mediante entornos virtuales tridimensionales. Técnicamente, permite representar procesos complejos a través de objetos dinámicos que interactúan entre sí, facilitando la visualización del flujo de materiales, personas o información en tiempo real. Además, su motor de simulación emplea lógica basada en

programación por eventos, lo que posibilita evaluar el rendimiento del sistema bajo diferentes escenarios operativos. Este programa incorpora herramientas estadísticas para medir indicadores clave como tiempos de ciclo, utilización de recursos, cuellos de botella y niveles de inventario. Asimismo, FlexSim contribuye a la toma de decisiones estratégicas al reducir costos y riesgos antes de implementar cambios reales en planta.

DOP

El diagrama de operaciones del proceso (DOP) es una herramienta de análisis industrial que representa de forma secuencial y detallada todas las operaciones e inspecciones involucradas en la fabricación o prestación de un servicio (Won et al., 2021).

DFP

Es la representación ilustrativa del recorrido por el cual pasa los insumos o materia hasta ser un producto, alegando la información en base a las operaciones, demoras, inspecciones y transportes de las diversas etapas. Son técnicas empleadas bajo simbologías que tienen una adecuada representación para facilitar el entendimiento de cómo funciona una empresa y es utilizada más en el campo de la ingeniería para mejorar el desempeño operacional de estas (Won et al., 2021).

TULSMA

El TULSMA es el marco normativo ambiental ecuatoriano que consolida la legislación secundaria emitida por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Ecuador, 2012).

1.4. Descripción del sistema productivo actual

La empresa Aguapen EP inicio sus actividades el 14 de Diciembre de 1999 bajo su normativa legal dedicándose a la prestación de servicios comunitarios de saneamiento de

alcantarillados, tratamientos de aguas residuales, brindando un producto de calidad como lo es el agua potable apta para el consumo humano dentro de la península de Santa Elena.

Figura 4. Logo de la empresa.



Nota. Aguapen EP.

Misión

Distribuir y proveer un servicio eficaz y eficiente de agua potable de calidad cumpliendo con los parámetros permitidos de atención de alcantarillado sanitario y fluviales ofrecidos a la comunidad de la provincia de Santa Elena, al mismo tiempo de cumplir a cabalidad las necesidades básicas del ser humano combatiendo la contaminación ambiental.

Visión

Convertirnos en una organización pública, reconocida dentro de provincia de Santa Elena ofreciendo un servicio de alta calidad comprometido de manera sustentable hacia la mejora continua de nuestros procesos operativos en los recursos hídricos ofrecidos hacia la población y cumpliendo las necesidades de nuestros clientes.

En la Tabla 1 se describen los datos generalizados de la empresa Aguapen EP, evidenciando su carácter de empresa pública que se dedica a brindar la gestión integral de servicios de agua potable y alcantarillado. En este sentido, se detalla su razón social y RUC el cual identifica formalmente su actividad económica, lo que garantiza su operatividad dentro del marco normativo. De la misma manera, la organización se ubica en la provincia de Santa Elena, específicamente en el km 115 de la vía Guayaquil – Santa Elena, lo que facilita su emplazamiento estratégico. Asimismo, la disponibilidad de un número telefónico y una página web que robustece la accesibilidad y comunicación con los usuarios. Además, al pertenecer al sector público, se corrobora su responsabilidad con la prestación de servicio esencial para la comunidad. Por lo tanto, la información presentada refleja la transparencia y formalidad de la

entidad a sus grupos de interés, velando siempre por brindar a sus usuarios un producto de calidad fuera de impurezas que perjudiquen la salud de sus consumidores.

Tabla 1. Datos generales de la empresa.

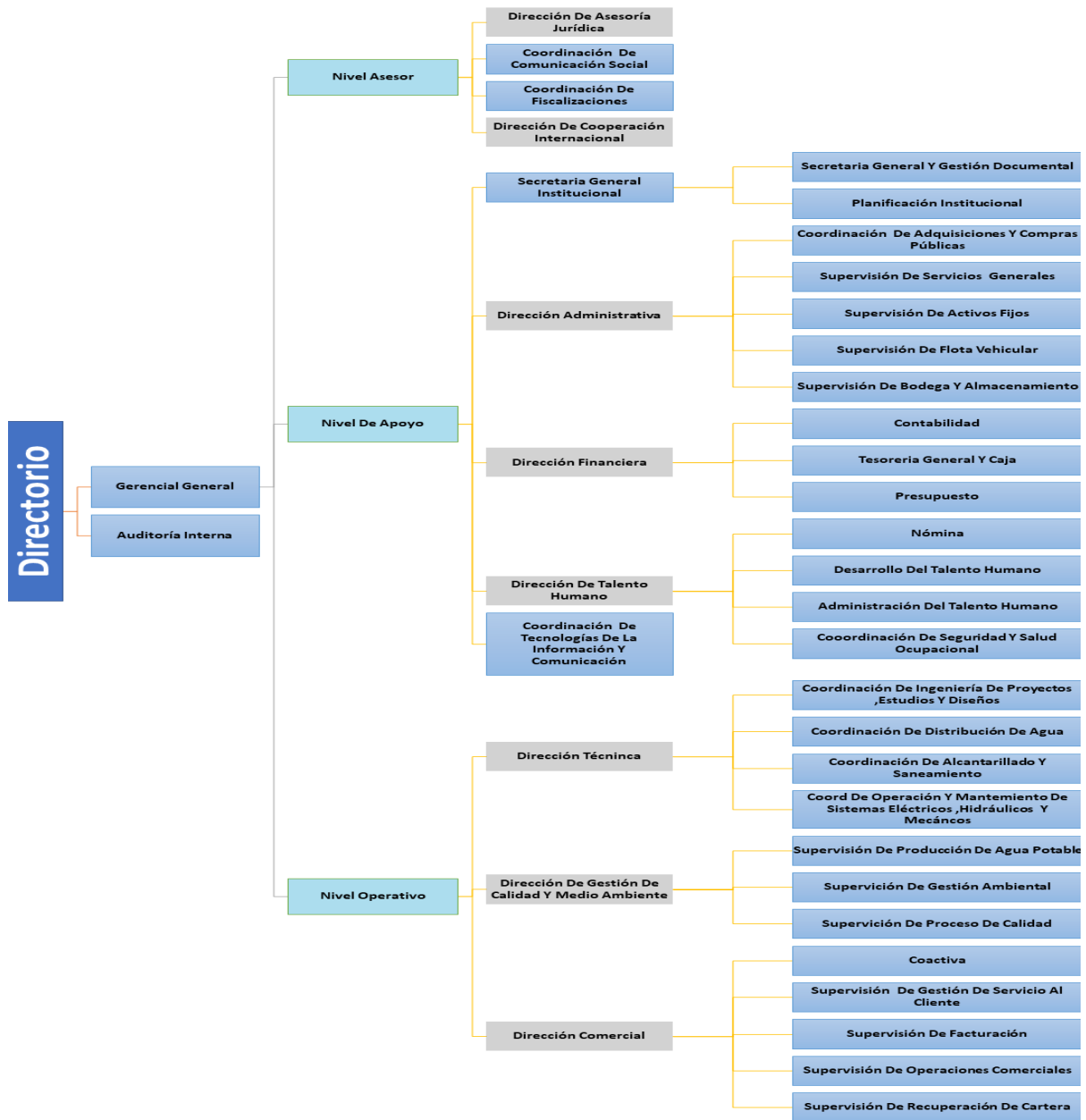
Tipo de información	Datos
Razón social	Aguapen EP
Actividad económica principal	Gestión integral de servicios de agua potable
RUC	2460002550001
Centro de trabajo	Santa Elena
Sector	Público
Dirección	Km 115 de la vía Guayaquil – Santa Elena
Teléfono	0996960796
<u>Página Web</u>	<u>http://www.aguapen.gob.ec/aguapenep/</u>

Nota. Elaborado por los autores.

Estructura jerárquica

La Figura 5 muestra una estructura jerárquica que se divide en tres niveles como son asesor, de apoyo y operativo, con actividades claramente sementadas en áreas jurídicas, administrativas, comerciales, técnicas y de calidad, lo que enaltece la especialización, eficiencia operacional y el control organizacional de la empresa.

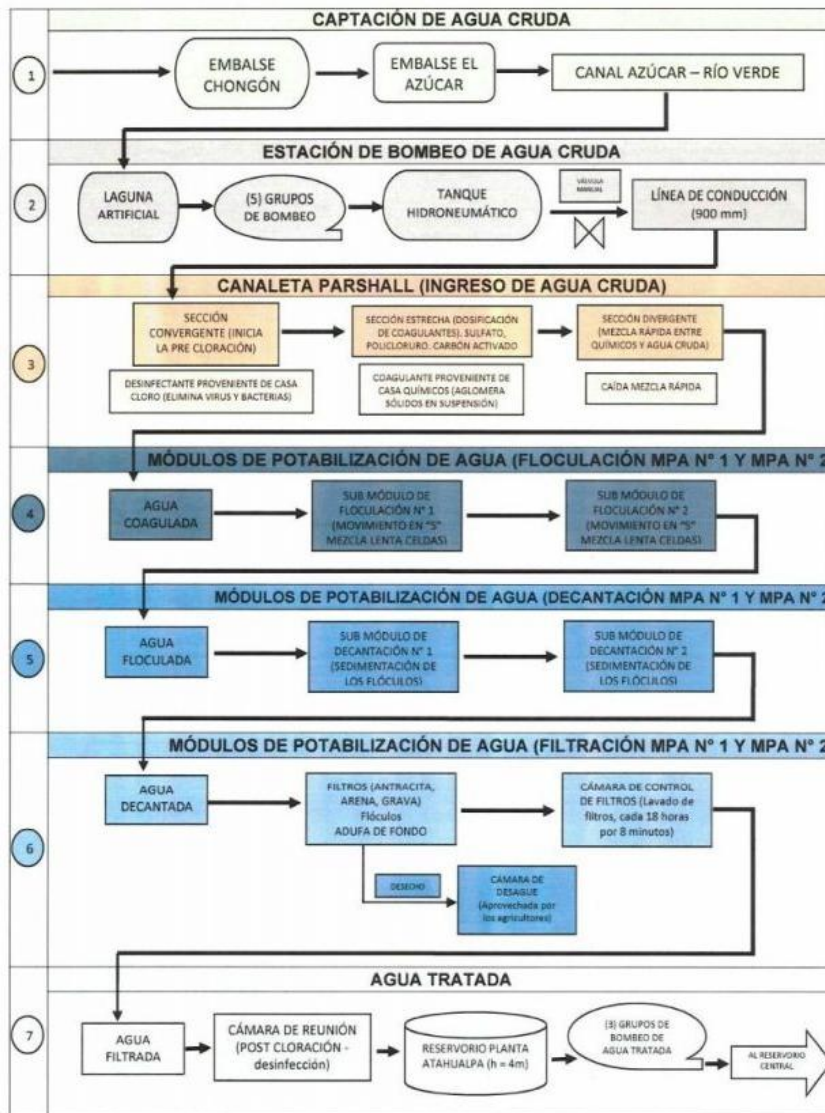
Figura 5. Organigrama estructural de Aguapen EP.



Nota. Proporcionado por la empresa Aguapen EP.

El diagrama presentado en la Figura 6 describe el proceso integral de potabilización de agua en Aguapen EP, iniciando con la captación de agua cruda desde los embalses Chongón y El Azúcar, transportada a través del canal Azúcar-Río Verde. Luego, en la estación de bombeo, se impulsa hacia la canaleta Parshall, donde se realiza precloración, dosificación de coagulantes y mezcla rápida. El agua pasa por módulos de floculación y decantación para sedimentar impurezas, seguida de filtración mediante capas de antracita, arena y grava. Finalmente, se efectúa la post-cloración en la cámara de reunión antes de su almacenamiento en el reservorio Atahualpa, garantizando un suministro seguro y apto para consumo humano.

Figura 6. Flujo del proceso.



Nota. Proporcionado por la empresa Aguapen EP.

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

2.1. Enfoque de investigación

En el Capítulo I se puntualizó un análisis bibliométrico mediante la revisión de la literatura, con el objetivo de llevar a cabo una investigación cuantitativa; este enfoque se centró en evaluar documentos mediante diversos métodos para el modelo de gestión por procesos con el fin de analizar las herramientas, técnicas e instrumentos que brinden la mejora del tratamiento de aguas residuales referente a las parámetros permitidos por los ente regulatorios donde se logró identificar la metodología apropiada para la investigación.

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo, el cual se caracteriza por la recopilación y análisis de datos numéricos para comprobar hipótesis dado que se establecen patrones de comportamiento. De acuerdo con Riba-Campos et al., (2019), este enfoque permite medir las variables de manera subjetiva y utilizar softwares estadísticos para analizar la sinergia que existe entre ellas. En este caso, se utilizó un enfoque cuantitativo, lo cual implica la recopilación de información a través de datos idóneos de la empresa Aguapen EP, la cual es procesada y evaluada analíticamente para proporcionar datos cuantificables y verídicos.

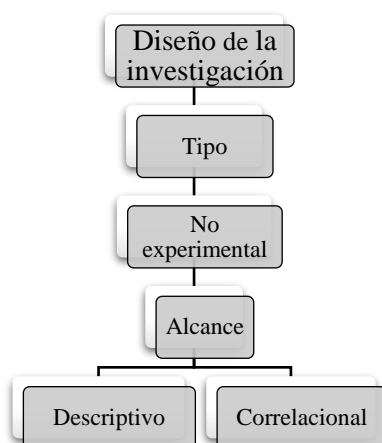
2.2. Diseño y tipo de investigación

Según Vásquez et al., (2023), el diseño no experimental es parte del enfoque metodológico de la investigación dado que por medio de este se recopilan datos sin intervenir deliberadamente en las variables, limitándose a observar cómo se comportan los fenómenos en su entorno natural. Este diseño permite analizar e identificar la sinergia que existe entre ambas variables de estudio, es por esta razón que se dividen en dos categorías principales.

Investigación descriptiva: es descriptiva ya que permite identificar y precisar las características esenciales del paradigma de estudio, evaluando la relación entre sus factores independientes y dependientes como son la gestión por procesos y tratamiento de aguas residuales, con el fin de detallar de manera sistemática los procesos y recursos que conforman el proyecto de estudio.

Investigación correlacional: es correlacional dado que establece la relación que existe entre las variables a través de un modelo ejecutado a un grupo específicos, tal como se aprecia en la Figura 7 el diseño metodológico el cual se organiza en secciones que respaldan el enfoque no experimental, bajo un alcance de tipo descriptivo y correlacional.

Figura 7. Diseño de la investigación.

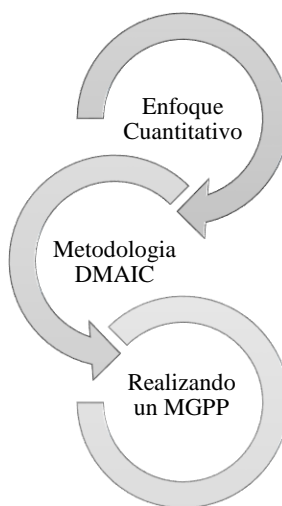


Nota. Elaboración basada en (Hernández Sampieri et al., 2014).

Protocolo de investigación

La revisión exhaustiva de la literatura efectuado en la sección 1.2 muestra que el enfoque cuantitativo es el más predominante abarcando con el 51 % dado que se miden la eficiencia del proceso de tratamiento el cual se basa también bajo la metodología DMAIC con un aporte del 35 % por lo cual se ejecuta el modelo de gestión por procesos como se muestra el protocolo resumido en la Figura 8.

Figura 8. Protocolo a seguir en el estudio.



Nota. Elaborado por los autores.

El método DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), integrando los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para asegurar la viabilidad y confiabilidad operativa del proceso, y el diseño de un modelo de gestión por proceso que

articula actividades, responsables e indicadores claves dentro del estudio para darle una solución al problema encontrado en la empresa Aguapen EP.

2.3. Censo poblacional

2.3.1. Censo

Asimismo, se justifica el estudio elegido, que se evidencia en la Tabla 2, que son los procesos clave que integran el tratamiento de aguas residuales, se consideró al total del personal operativo que se encuentra en cada uno de los departamentos relevantes. Por esta razón, se realizó un censo que incluyó a los 13 trabajadores que nos brindarán a cabalidad la información necesaria para seguir con el estudio en la empresa Aguapen EP. Al realizar un censo del personal de Aguapen EP, como universo de estudio sujeto a análisis, se obtuvo una comprensión eficaz de la dinámica de trabajo y los procesos críticos asociados a cada etapa del tratamiento para mejorar la calidad del agua.

Tabla 2. Población de estudio de la planta potabilizadora Atahualpa.

Departamentos	Número de trabajadores	Porcentaje de contribución
Departamento de calidad y laboratorio.	10	50%
Departamento de producción.	3	15%
Personal técnico de planta.	7	35%
Total, de personal de empresa	20	100%

Nota. Población requerida para la elaboración del estudio.

2.3.2. Censo por conveniencia

En la presente investigación se ejecutó el criterio estadístico de conveniencia que hace alusión a la selección de la muestra realizada de acuerdo con la discreción de los investigadores, por lo cual permite decidir de manera deliberada la cantidad de participantes que formarán parte del estudio (Hernández González, 2021). La Tabla 3 se estipula las áreas que serán objeto de estudio, para seleccionar a los participantes de la encuesta, se establecieron criterios de exclusión debido a la falta de cooperación por parte de los operados de la empresa. Finalmente, solo se encuestó a un grupo de 13 empleados mostrando que el área de calidad y laboratorio representan el 76.92 %.

Tabla 3. Encuesta realiza al personal.

Departamentos	Personal	criterios	exclusión	muestra
---------------	----------	-----------	-----------	---------

Departamento de calidad y laboratorio.	10	Falta de tiempo.	5	5
Departamento de producción.	3	Usuarios ocupados.	1	2
Personal técnico de planta.	7	No brindan información.	1	6
Total, de personal de empresa	20		8	13

Nota. Elaborado por los autores.

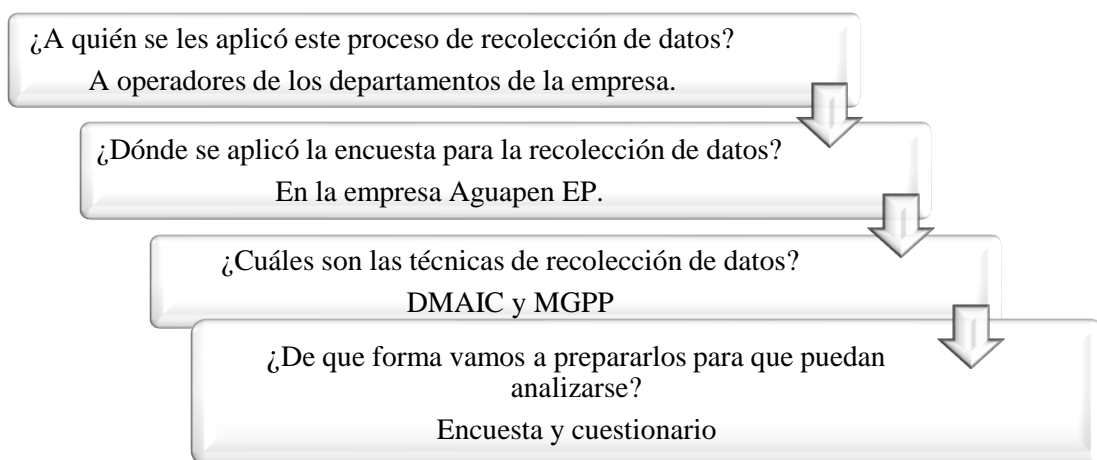
Por otro lado, del 100 por ciento de la población a través de criterios de exclusión se eliminó un 27 % del mismo es por esta razón que solo se consideró a 13 personas para aplicar la encuesta.

2.4. Técnicas, métodos e instrumentos de recopilación de información

2.4.1. Métodos de recolección de los datos

Mediante su investigación Hernández-Sampieri et al., (2014), destaca que el método inductivo bajo un componente descriptivo-correlacional para recopilar la información de datos, por medio de la generación de hipótesis, ya que estudia la realidad empírica y contrasta con la teoría. Como se evidencia en la Figura 9 la organización de datos para recopilar la información precisa dentro de la empresa, dado que, se establece como una vía de fácil acceso con una ruta precisa y estructurada de cómo se analizarán los proceso con la finalidad de acoplar recursos pertinentes que mejoren la calidad y eficacia de los datos obtenidos.

Figura 9. Organización para la recopilación de datos.



Nota. Organización para la recolección basado en Hernández-Sampieri et al., (2014).

2.4.2. Técnicas de recolección de los datos

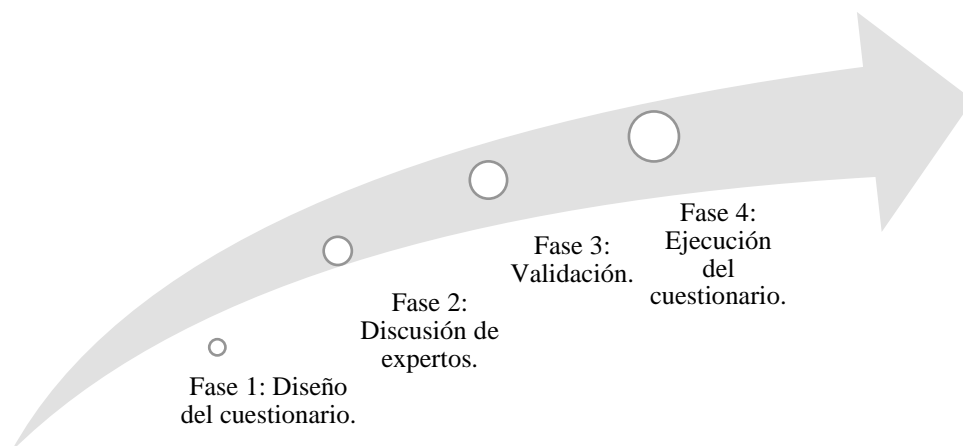
Técnica de encuesta

Para el autor Casas-Anguita et al., (2003), menciona que el diseño de una encuesta permite obtener opiniones de los medios a investigar, por ende, se establece un grupo focal que brindara sus perspectivas del caso, de esta manera, este método facilita medir la fiabilidad dentro del cumplimiento de los objetivos planteados, la validez y fiabilidad para la evaluación de los aspectos técnicos que abarcan las interrogantes de investigación. En este sentido se formularon las preguntas abiertas y cerradas para tener una mayor comprensión del problema que aqueja la empresa Aguapen EP, la cual estuvo constituida por 20 ítems que serán validadas por los expertos en el tema de gestión por procesos. Para ello, las preguntas formuladas para la recopilación de datos se efectuó de manera precisa al personal seleccionado en el apartado 2.3.2 tal como se muestra en el Anexo 15.

2.4.3. Procedimiento de validación de la encuesta

Es esencial implementar un modelo de validación que ayude a respaldar la confiabilidad de los datos recopilados en base a las estrategias. Una de las técnicas más empleadas para este proceso es conocido como el método de Delphi, a López-Gómez et al., (2018), destaca que es un instrumento de validación de cuestionarios, ya que establece criterios de calidad para mejorar el contenido de una base sólida de datos. De tal manera, se ilustran las etapas de validación del instrumento como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Estructura del método de Delphi.



Nota. Elaborado por los autores en base a (López-Gómez, 2018).

2.4.4. Instrumentos de recolección de los datos

La elección de instrumentos de investigación bajo un enfoque cuantitativo constituye una etapa primordial para recabar datos y obtener la información necesaria que brinde un apego

relevante al investigador. Estos instrumentos, ayudan a evaluar y medir la validez de las variables, garantizando la confiabilidad de los resultados (Cisneros-Caicedo et al., 2022).

Software de análisis de datos:

- 1) Excel.
- 2) IBM SPSS V25.

2.4.5. Variables de estudio

Para Hernández-Sampieri et al., (2014), las variables corroboran la identificación de elementos que incumben en el análisis de una investigación, donde estas se articulan para ser controladas y analizadas por el investigador que se dividen en dos una como nombrada independiente, y otras cambian según el estudio efectuado denominadas dependientes permitiendo ver como una contrarresta a la otra y así entender como mejor los resultados que brinda cada una.

Como se muestra en la Tabla 4 las variables a estudiar en la investigación donde ambas serán medidas basado en un porcentaje de eficiencia, esgrimido en un rango del 0 hasta 100 %. Lo que demuestra que la variable independiente indica que actualmente la organización no aplica un modelo de gestión por procesos, puesto que la variable dependiente alude que existe un porcentaje no permitido en cuanto al cumplimiento normativo de regulación de aguas residual tratada teniendo un 69 %. Por tal motivo, se desarrolló un modelo de gestión por procesos que aumente la eficiencia del cumplimiento de agua residuales al 80 % considerando indicadores técnicos como sólidos totales suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno y aceites y grasas. Estos parámetros serán analizados y calculados para determinar cómo la implementación del modelo influye en el incremento de la eficiencia global del proceso de tratamiento.

Tabla 4. Variables de estudio.

CLASIFICACIÓN	CONCEPTO	VARIABLES	SITUACIÓN ACTUAL	MEJORA ESPERADA
Variable Independiente (VI)	Variable controlada por el investigador, quien analiza y aplica el modelo de gestión por procesos para estandarizar y optimizar las actividades del tratamiento de agua residual en la empresa.	VI: Implementación del modelo de gestión por procesos (SI/NO).	NO	SÍ

Variable Dependiente (VD)	Variable que cambia como resultado de la implementación del modelo de gestión por procesos, reflejando el incremento en la eficiencia del proceso de tratamiento de agua residual.	VD: Eficiencia del proceso de tratamiento de agua residual (%).	69 %	80 %
----------------------------------	--	--	-------------	-------------

Nota. Elaborado por los autores.

2.4.6. Operacionalización de las variables

La operacionalización atribuye un componente fundamental del método científico, ya que adopta la intervención de conceptos teóricos en indicadores sólidos, medibles y observables (ver Anexo 12). Además, este procedimiento ayuda a establecer con precisión las acciones y operaciones idóneas al momento de cuantificar tanto la variable independiente que se controla o manipula y de la misma manera la variable dependiente que refleja los efectos de diversos cambios, asimismo, se asegura la objetividad y la posibilidad de recalcar los resultados de la investigación (Carrasquillo et al., 2022).

2.4.7. Confiabilidad y validez de los instrumentos

Para validar el instrumento utilizado, se aplicó un cuestionario censal dirigido hacia los operadores de la empresa Aguapen EP con preguntas de acuerdo con los procesos y parámetros de calidad del agua, para analizar y determinar la situación de la empresa. Para validar el instrumento se utilizó el método Delphi basado en los siguientes pasos.

Fase 1: Diseño del cuestionario

Con el objetivo de obtener información precisa y confiable, se diseñó un instrumento de evaluación compuesto de veinte preguntas cerradas. Cada pregunta fue cuidadosamente elaborada para abordar los aspectos clave del tema en estudio. Posteriormente, se seleccionó un panel de expertos en la materia para validar la herramienta. La experiencia y conocimiento de estos expertos garantizaron que el instrumento fuera riguroso y pertinente, asegurando así la calidad de los datos obtenidos.

Fase 2: Discusión de expertos

La comisión de expertos, integrada por cinco evaluadores, fue conformada considerando su conocimiento especializado, formación académica y experiencia profesional en seguridad y salud en el trabajo. Los perfiles de los evaluadores seleccionados garantizan una evaluación rigurosa y objetiva del instrumento de recolección de datos.

Fase 3: Validación por expertos

Para la aceptación del cuestionario en la investigación se procedió a realizar la revisión mediante dos rondas con la finalidad de obtener un nivel de aprobación y valoración de acuerdo con la planificación establecida. Se muestran en la Tabla 5 los resultados obtenidos mediante la validación de expertos (ver Anexo 13).

Tabla 5. Revisión por expertos para su respectiva valoración del instrumento.

Revisión por expertos		
Expertos	Ronda I	Ronda II
1	x	
2	x	
3	x	
4		x
5		x
Total	3	2

Nota: Elaborado por los autores.

Los hallazgos resultantes mostrados en la Tabla 6 describen la tendencia clara del análisis de frecuencias de las rondas de preguntas efectuadas al comité de expertos donde en la primera ronda se validaron solo el 60 % es decir solo tres del grupo conformado por cinco peritos en el tema firmaron, pero a medida que avanzó el proceso, bajo una segunda ronda se corrigieron pregunta englobadas en la variables de estudio donde se observó una disminución significativa de la frecuencias de respuestas, que alegan la firma de los dos faltan completando el 40 % del grupo elegido sumando así el 100 % de la verificación y adaptación del instrumento.

Tabla 6. Análisis de frecuencia de las rondas de validación.

Rondas	F	F. Acumulada	F. Relativa	%
I	3	3	0,60	60%
II	2	5	0,40	40%
Total	5		1	100%

Nota: Elaborado por los autores.

Los resultados mostrados en la Tabla 7 alegan que se aprobaron las 20 interrogantes del instrumento, sin descartar ningún ítem, ya que los especialistas firmaron el documento validando la pertinencia, para efectuar la recopilación de la información en la empresa sometida al estudio.

Tabla 7. Calificación de expertos.

VALIDACIÓN DE EXPERTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
E1	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5
E2	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5
E3	4	5	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	5	4	4	4
E4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
E5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
PROMEDIO	4,4	4,6	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,6	4,6	4,6	4,6
VALIDACIÓN (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Nota: Elaborado por los autores.

Fase 4: Ejecución de cuestionario

Tras un riguroso proceso de validación por parte de un panel de expertos, el cuestionario diseñado para evaluar la situación actual fue aprobado dado que el promedio de calificación abarca el 4.6 calificándola como excelente. Este paso crucial garantiza la confiabilidad y pertinencia de los datos que se obtendrán en la siguiente fase de la investigación.

2.4.8. Análisis de fiabilidad alfa de Cronbach.

La validación del instrumento se describió a través de la revisión efectuada por un grupo de expertos en base al tema de investigación, utilizando el método de Delphi descrito en la sección 2.4.3, posteriormente, se comprobó la fiabilidad de los resultados obtenidos aplicando el coeficiente de alfa de Cronbach, conjuntamente con las respuestas de cada pregunta se enfatizó a partir de la escala de Likert. La finalidad del uso de este método es lograr la fiabilidad, en la que se receptan los datos en base a los ítems del cuestionario propuesto, expresado con el uso de información verídica (López-Gómez et al, 2018). Cabe mencionar que el nivel de confianza mediante la aplicación del coeficiente (k) representa los siguientes criterios de aceptación.

- a. Coeficiente de $0.8 < k > 0.9$ es eficiente.
- b. Coeficiente de $0.5 < k > 0.8$ es confiable.
- c. Coeficiente de $k < 0.5$ es inestable.

La Tabla 8 presenta el alfa de Cronbach que se obtuvo por medio del software Excel (Anexo 18), teniendo como respuestas efectuadas por los cinco expertos con relación a las 20 preguntas ejecutadas con un coeficiente de 0.949, indicando una sólida validez para ser empleado.

Tabla 8. Fiabilidad de datos del instrumento.

Coefficiente de fiabilidad del instrumento	Número de elementos
0,949	20

Nota. Obtenido del software Excel.

Asimismo, los resultados obtenidos de la encuesta empleada a los operadores de la empresa Aguapen EP se pueden visualizar en el Anexo 14, por lo tanto, se compilaron los datos obtenidos en el software SPSS, registrando las variables de estudio conjunto a la compilación de las respuestas brindadas por los trabajadores, donde se procedió a calcular el alfa de Cronbach para comprobar la confiabilidad (ver Anexo 17).

Tabla 9. Fiabilidad de encuesta.

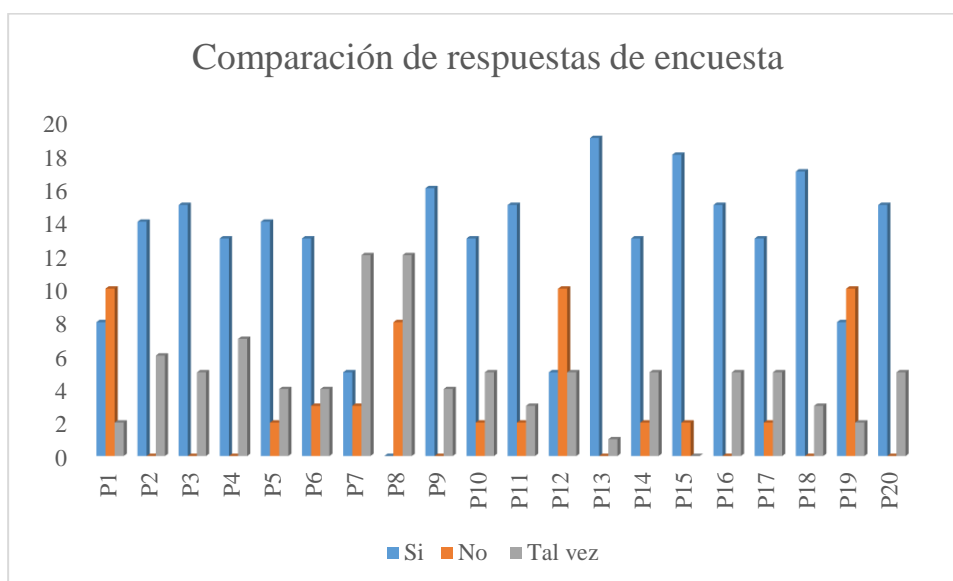
Coefficiente de fiabilidad de la encuesta	Número de elementos
0.755	20

Nota. Obtenido del software SPSS.

Mediante la Tabla 9, se muestra los resultados del coeficiente de confiabilidad de la encuesta desarrollada a los trabajadores de la empresa basado en las 20 preguntas donde tenemos un coeficiente del 0.755 lo que representa que los datos son confiables, ya que se encuentran dentro del rango permitido en base a la calificación del alfa de Cronbach. De tal manera, se procede a ejecutar los análisis de los datos resultantes de cada pregunta con el objetivo de identificar oportunidades de mejora en los procesos que conllevan el tratamiento de aguas residuales en Aguapen EP.

De acuerdo con los hallazgos obtenidos mediante la encuesta donde se establecieron 20 preguntas las cuales fueron respondidas a cabalidad para luego ser tabuladas estadísticamente, por tal motivo, se obtienen los siguientes datos (ver Anexos 16 al 17):

Figura 11. Grado de satisfacción de encuesta por operadores.



Nota. Elaborado por los autores.

La Figura 11 evidencia de manera global los hallazgos encontrados en base a la encuesta realizada a los trabajadores, la mayoría de ellos respondieron que, si encuentran de acuerdo con los ítems presentados, lo que asemeja una percepción altamente positiva, pero que presenta áreas de mejora dentro de sus procesos operativos para cumplir con los parámetros permisibles en base a la eficiencia de su gestión de actividades para el tratamiento de aguas residuales.

2.4.9. Resultados y análisis

Los resultados obtenidos de la encuesta reflejan la situación actual del modelo de gestión por procesos en Aguapen EP, donde se brinda un panorama adecuado induciendo en la cifra de insatisfacción de la calidad del agua tratada. Por lo tanto, el tratamiento de aguas residuales actual no ha logrado cumplir con las expectativas relacionadas con su calidad, generando problemas de niveles contaminantes y monitoreo del proceso, falta de documentación y coordinación entre personal como se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de encuesta.

Nº.	Interpretación
P5	Los trabajadores determinan que el 70 % de los procesos han determinado procesos críticos dentro del sistema de tratamiento de agua, posteriormente con el 20 % y 10 % mencionan que tal vez o que no se hayan encontrado procesos críticos en la operación.

-
- P7 La empresa emplea indicadores de desempeño donde los operadores encuestados mencionan que con 60 % que tal vez existan indicadores para medir la eficiencia del proceso y con un 25 % que, si los utilizan, y un 15 % no conoce acerca de estos indicadores.
- P11 El análisis de cumplimiento en base a la normativa demuestra que el 75 % tal vez cumple con las fases adecuadas del tratamiento de aguas residuales según la norma vigente, mientras que el 15 % indica una incertidumbre, además con un 10 % si cumple las especificaciones, reflejando deficiencias y a la vez sugiere la necesidad de aclarar la documentación en áreas o control operativo más preciso y sistemático.
-

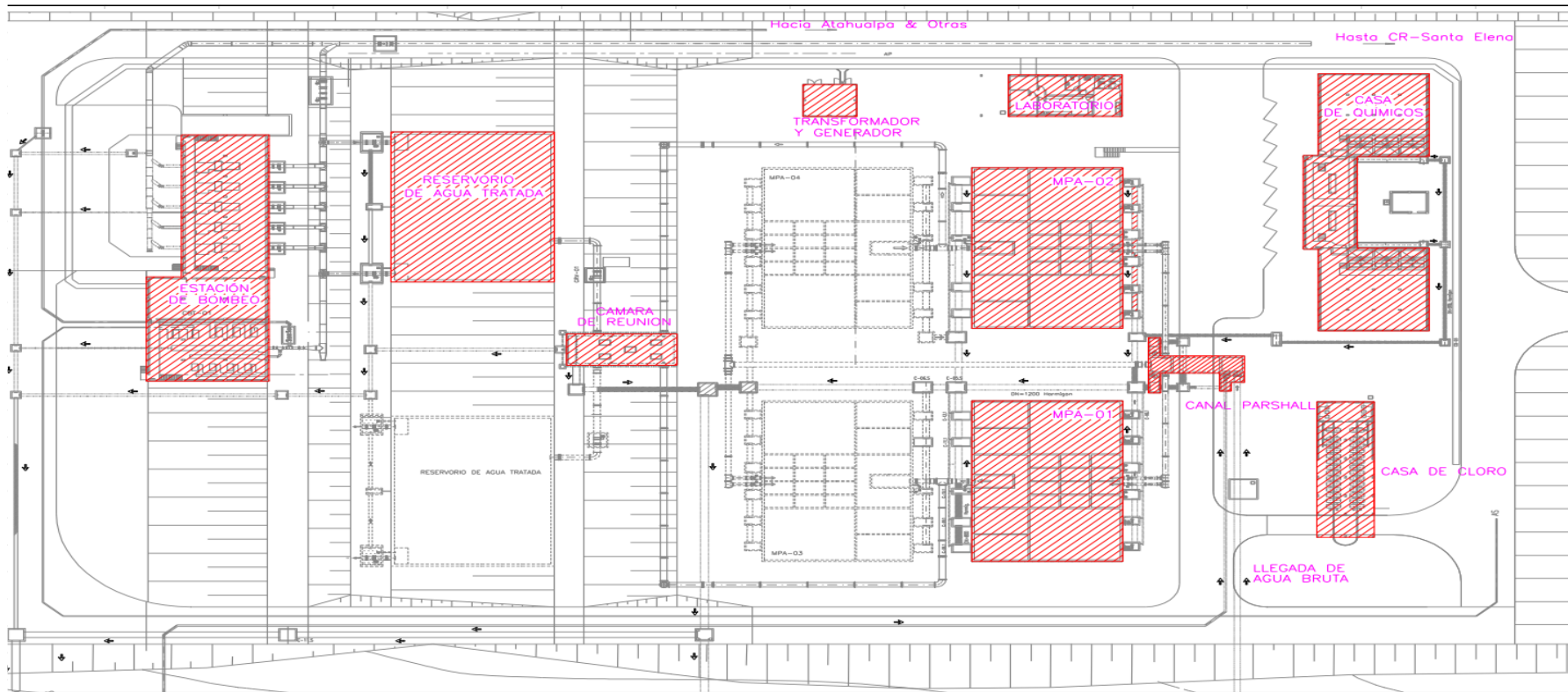
Nota. Elaborado por los autores.

2.5. Diagnóstico de la situación problemática

2.5.1. Layout de planta

Como se evidencia en la Figura 12, la distribución de planta actual, contando con un departamento de bombeo, reservorio, oficinas, laboratorio, cámara de reunión, MPA1 y MPA 2, canal de Parshall, casa de químicos y la casa de cloro. Cada departamento cumple con una función específica que aporta al funcionamiento general de la empresa.

Figura 12. Distribución de planta.



Nota. Elaborado por los autores.

A continuación, se detalla mediante la Tabla 11, brevemente, cada una de las instalaciones físicas presentes en la planta según la Figura 12.

Tabla 11. Descripción de departamentos de Aguapen EP.

Instalaciones físicas	Descripción
Canaleta Parshall	Es una estructura de hormigón, por donde pasa el agua cruda procedente de la estación de captación de la planta. Aquí, se realizan las mezclas a profundidad entre componentes que envían desde la Casa Química y la Casa de Cloro, respectivamente.
Área Administrativa	Se encuentra la jefatura de planta, Asistente Administrativo y Técnico.
Área de Dirección de Calidad y Medio Ambiente.	En esta área se llevan a cabo todos los análisis para el control de la calidad del agua, el cual se interviene en: Dirección de Ambiente, Sala de muestras de agua, laboratorio de control de calidad del agua, laboratorio de microbiología y laboratorio de aguas residuales.
Laboratorio de calidad	Es el responsable del control y análisis del agua en todas sus etapas unitarias; agua cruda, agua tratada, agua de la red de distribución.
Área de Supervisores	Sirve como área de intercambio de turno, para el personal que labora en la producción del agua potable.
Módulos de Procesamientos de Agua.	Los módulos MPA-01 y MPA-02, son los encargados de dar tratamiento al agua. Entre los procesos que se llevan a cabo en esto módulos están; floculación, sedimentación y filtración del agua. Cada MPA procesa 400 Lt/seg.
Casa de Cloro	Desde aquí, se dosifica el cloro en estado gaseoso que se combina con agua ya potabilizada, luego se envía por tuberías hacia la Canaleta Parshall y a la Cámara de Reunión, Desinfección y Corrección del pH. El cloro ayuda a eliminar agentes patógenos como virus y bacterias presentes en el agua cruda y tratada. Contiene 3 áreas: cilindros, precloración y postcloración.

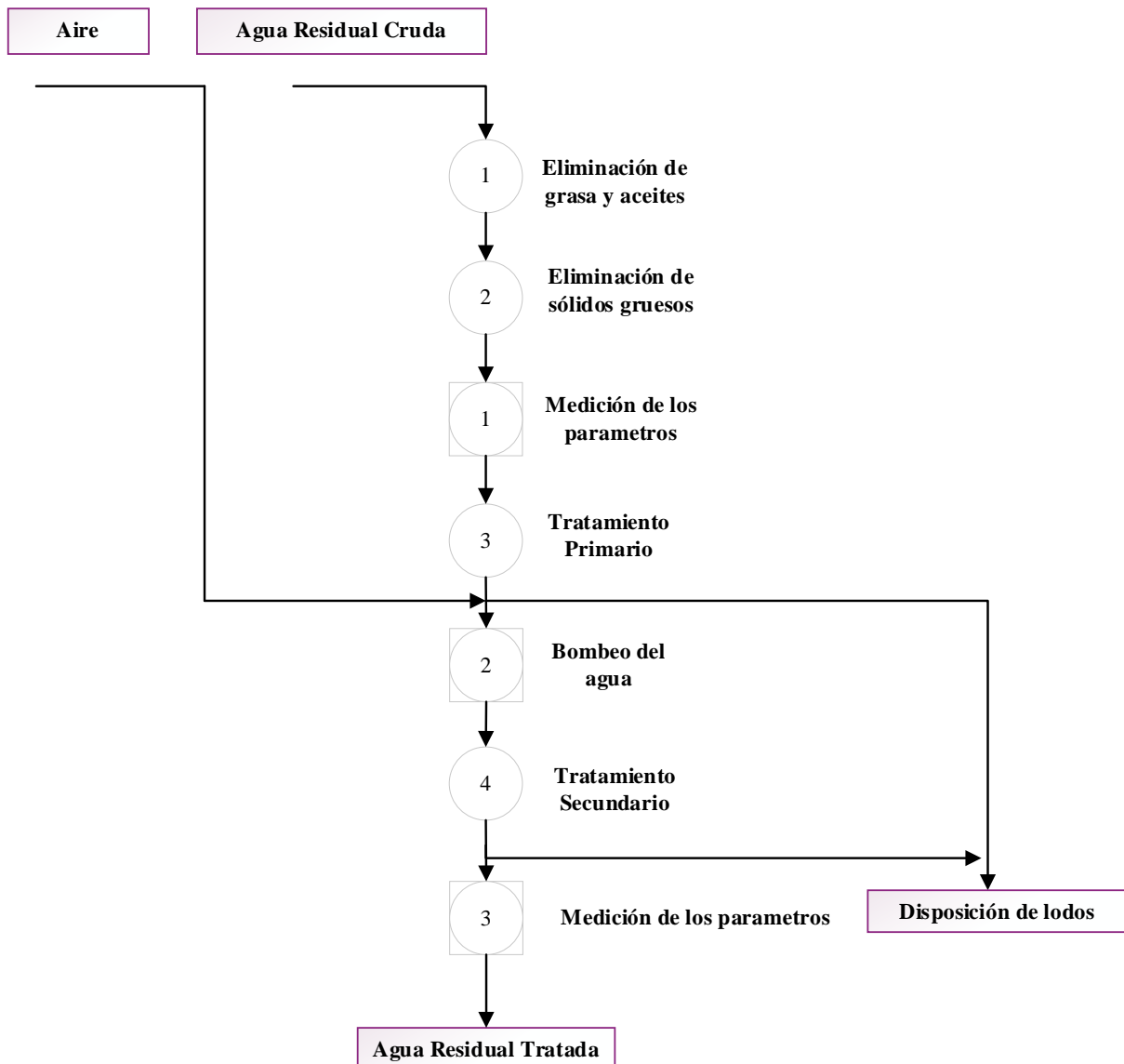
Casa de Químicos	Se encarga de dosificar el agua cruda con químicos que ayuden a la desestabilización de partículas extrañas en suspensión. Contiene un área de Sulfato de Aluminio, Bombas Dosificadoras y Área de Carbón Activado.
Cámara de Reunión, Desinfección y Corrección del pH.	Pequeño reservorio que recibe agua tratada de los módulos de procesamiento de agua MPA-01 y MPA-02. En ella se aplica la última dosis de cloro.
Reservorio Principal	Aquí se acumula el agua potable, una vez terminado el proceso de potabilización. Este reservorio almacena 3000 m3 de agua. Desde aquí, a través del sistema de bombeo se distribuye el agua potable a los reservorios principales ubicados, estratégicamente, en la Provincia de Santa Elena.
Casa de Bombas	En ella se alojan las bombas que son utilizadas durante el tratamiento y distribución del agua. Consta de 3 áreas internas: área de bombas 1, área de bombas 2 y área de paneles eléctricos.

Nota: Elabora por los autores.

2.5.2. Diagrama de operaciones del proceso (DOP)

Como se visualiza en la Figura 13 los procesos consecutivos que transcurren durante el tratamiento de aguas residuales que conforman el flujo de operación, por tal motivo, el proceso comienza con la captación de agua residual cruda, seguido por la eliminación de grasas y sólidos, luego pasa el proceso de depuración de sólidos gruesos, después se realiza una medición de los parámetros del agua pasando al tratamiento primario donde el aire pasa a la disposición final de los lodos. Posteriormente pasa a la etapa de bombeo del agua que se complementa con el tratamiento secundario donde se realiza una segunda medición de los parámetros de agua residual tratada. Para concluir, el diagrama consta de 4 operaciones y 3 operaciones combinadas

Figura 13. DOP de tratamiento de aguas residuales.

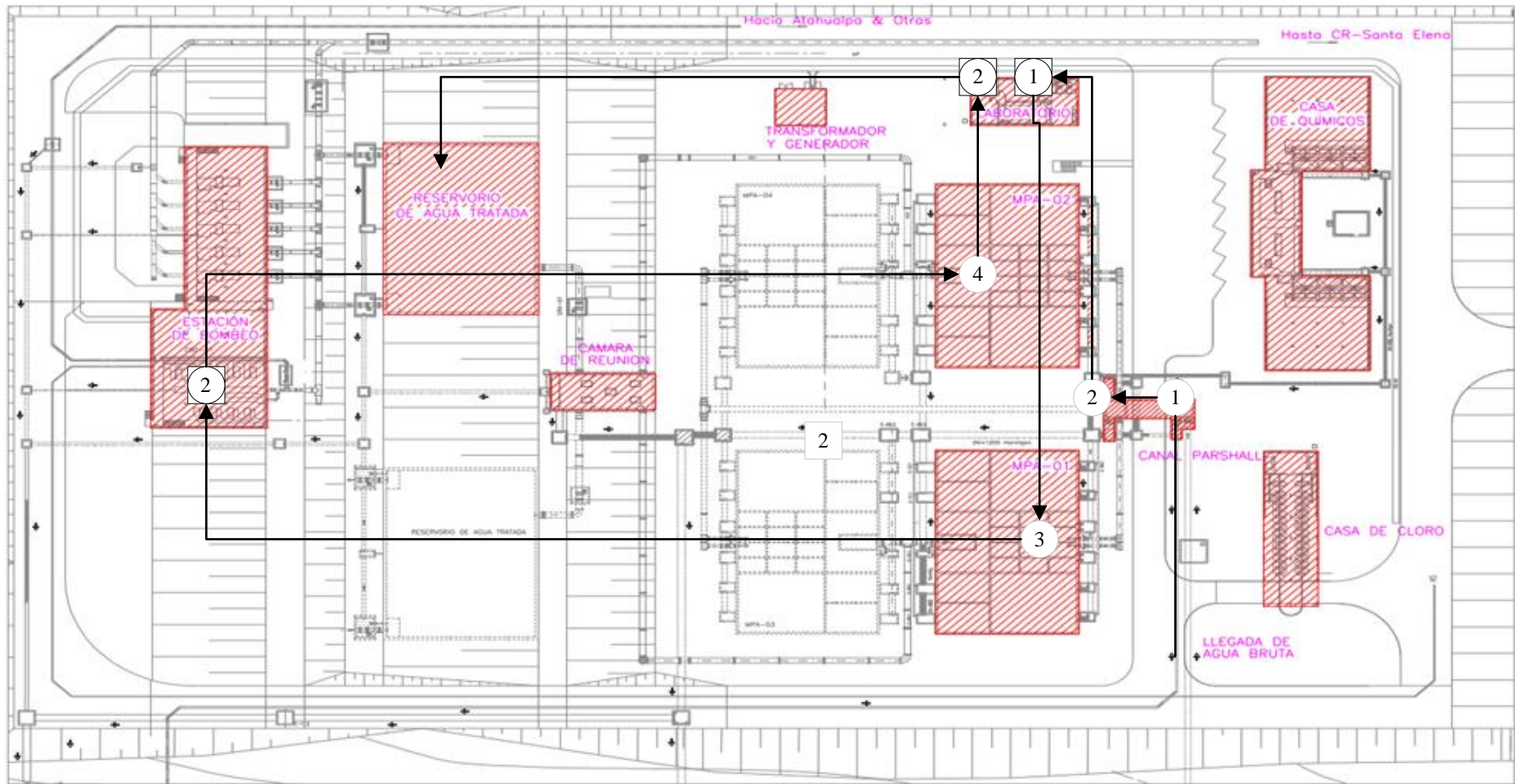


Nota: Elaborado por los autores.

2.5.3. Diagrama de recorrido

Por consiguiente, la Figura 14 muestra el plano con el trayecto que pasa cada proceso en el tratamiento de aguas residuales, evidenciando las distintas estructuras que conforman el flujo de agua y la instalación a lo largo del proceso de purificación. De tal manera, el recorrido comienza con la llegada del agua y culmina con la salida del efluente ya tratado, asimismo las flechas señalan el tránsito que paso el agua a través de los tanques de tratamiento (1, 2, 3 y 4), acopladas en áreas estratégicas como la cámara Parshall (1) y la estación de bombeo, con la finalidad de optimizar la transformación de aguas residuales en agua apta para disposición o reusó de la misma para otros fines operativos.

Figura 14. Diagrama de recorrido de agua tratada.



Nota: Proporcionado por Aguapen EP.

2.5.4. Diagrama de flujo de procesos

De la misma forma, en la Figura 15 se muestra el diagrama de flujo de proceso el cual empieza con el almacenamiento y culmina con agua tratada almacenada, donde todo el proceso de tratamiento de aguas residuales está conformado por 8 operaciones, un transporte, dos inspecciones y por último dos almacenamientos que sumadas las distancia que existe entre cada etapa es de 47 metros, teniendo un tiempo de operación de 311 minutos.

Figura 15. Diagrama de flujo del proceso.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO										
Hoja N° __1__ De: __1__ Diagrama N°: __1__			Operar	X	Mater.	Maqui.				
Proceso: Tratamiento de aguas residuales		RESUMEN								
Fecha: 14-10-202		SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.				
El estudio Inicia: Captación de agua cruda		○	Operación	6						
Método: Actual		→	Transporte	1						
Producto: Agua		■	Inspección	2						
Nombre del operario:		D	Espera	0						
Elaborado por: Julissa Tomala y Ruben Serpa		▽	Almacenaje	2						
Tamaño del Lote:		Total de actividades realizadas		11,0						
		Distancia total en metros		47,0						
		Tiempo min/hombre		311,0						
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia metros	Tiempo Minutos	SÍMBOLOS PROCESOS					
					○	→	■	D	▽	
1	Almacenamiento			0,0						●
2	Eliminación de grasas		6,0	12,0	●					
3	Eliminación de solidos			15,0	●					
4	Medición de parámetros		4,0	5,0			●			
5	Tratamiento primario		12,0	60,0	●					
6	Bombeo de agua			6,0	●					
7	Tratamiento secundario		15,0	180,0	●					
8	Medición de parámetros			7,0			●			
9	Disposición de lodos			20,0	●					
10	Descarga final		10,0	2,0			●			
11	Almacenamiento de agua tratada			4,0						●
Tiempo Minutos: 311,0		m	47,0	311,0	min					

Nota: Elaborado por los autores.

2.5.5. Identificación del problema

Bajo esta premisa se describe el proceso general con el cual funciona la planta de tratamiento de aguas residuales donde el estudio replica que los procesos se identifican cuantificando los procedimientos, actores, entradas, salidas y enlaces con procesos si es necesario. Se analizó cada una de las actividades que surgen del tratamiento y se clasifican en la siguiente Figura 16 donde se muestra el mapa de procesos con los siguientes parámetros estratégicos, misionales y de apoyo.

Figura 16. Mapa de procesos.



Nota. Elaborado por los autores.

La decisión de radicar la investigación definitivamente en el tratamiento primario se basa por que se fundamenta su papel crítico ya que engloba el comienzo de depuración de las aguas turbias. Por esta razón, se radica que la funcionalidad de este proceso es el núcleo donde ocurre el análisis biológico de la materia orgánica, alegando el punto fundamental para la disminución de los parámetros máximo permisibles como son la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos totales resultante y finalmente el atrapamiento de aceites y grasas, que son los primordiales indicadores que miden la calidad del efluente desde el momento que ingresa hasta que es totalmente purificada el agua. Debido a que el desempeño del tratamiento primario define en gran medida el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, su análisis detallado resulta esencial para garantizar la eficiencia operativa de toda la planta.

2.5.6. Diagrama SIPOC

La Tabla 12 muestra de manera detallada el SIPOC del tratamiento primario de la PTAR, en el cual se estructuran los componentes esenciales del proceso afectado por el exceso de sedimentación. En este esquema se identifican, en primer término, los proveedores y las

entradas que aportan aguas residuales con alta carga de sólidos minerales, condición que influye significativamente en el desempeño hidráulico y operativo. También, se desglosan las actividades del proceso, que abarcan el cribado, control de caudal, el desarenado etapas claves donde se puntualiza el arrastre y acumulación de sedimentos. Por tal motivo, se especifican las salidas que son agua pretratada, sólidos de residuos separados, por ende, son elementos que ayudan analizar la eficiencia del sistema. Finalmente, se identifican los clientes tanto internos como externos que son los que dependen del correcto funcionamiento del tratamiento primario, lo que resalta la comprensión de manera integral de como el exceso de sedimentación influye en el proceso y arrastra a la necesidad de adaptar acciones de mejora continua en todo el proceso.

Tabla 12. SIPOC del tratamiento primario.

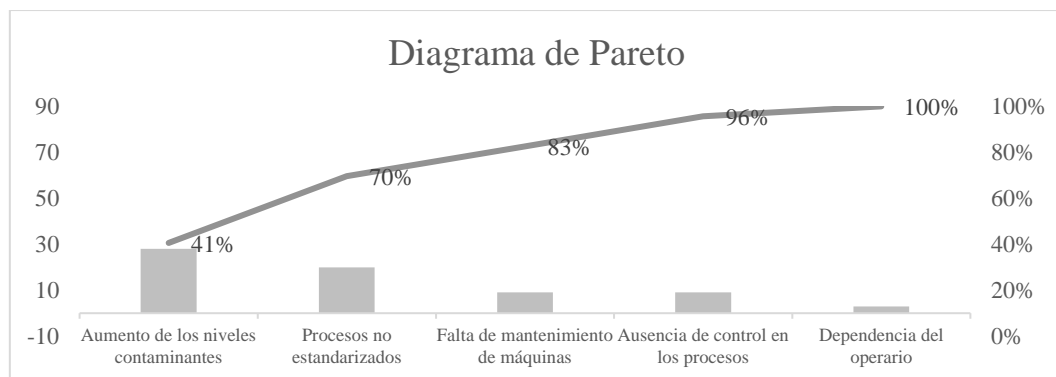
Proveedor	entrada	Procesos	salida	cliente
Sistema de alcantarillado sanitario	Agua residual cruda con sólidos gruesos (plásticos, hojas)	Cribado / Rejillas	Agua pre tratada con menor concentración	Consumidor Final
Fabricantes	Agua residual pre filtrada con arenas y sedimentos minerales	Desarenado	Arenas separadas Agua con menor carga de sedimentos	Consumidor Final
Sistema de alcantarillado sanitario	Agua con grasas, aceites y espumas superficiales	Desengrasado	Grasas y aceites removidos • Agua clarificada a nivel primario	Consumidor Final
Fabricantes de instrumentos	Caudal variable de agua clarificada	Medición y control de caudal	Caudal estabilizado y regulado • Datos de monitoreo	Consumidor Final
Fabricantes (Centrifugas)	Sólidos retenidos (basura, arenas, grasas)	Evacuación de residuos sólidos	Residuos clasificados y dispuestos	Consumidor Final

Nota. Elaborado por los autores

La Tabla 12 muestra de manera detalla las cinco etapas principales del pretratamiento primario que se aplica al agua residual, cuya finalidad es eliminar de forma física las partículas gruesas y la gestión del flujo para reducir los contaminantes presentes en el recurso hídrico. A través de este proceso tiene una parte secuencial que es el cribado que se encarga de remover los sólidos grandes, el proceso de desarenada aparta las arenas con una densidad elevada, seguido del desengrasado que cumple el rol de eliminar las grasas flotantes para medir el caudal

se brinda un flujo estable y se aprecian los datos para su control respectivo y en última instancia tenemos la evaluación de sólidos que maneja los residuos que son separados del agua.

Figura 17. Problemas identificados.

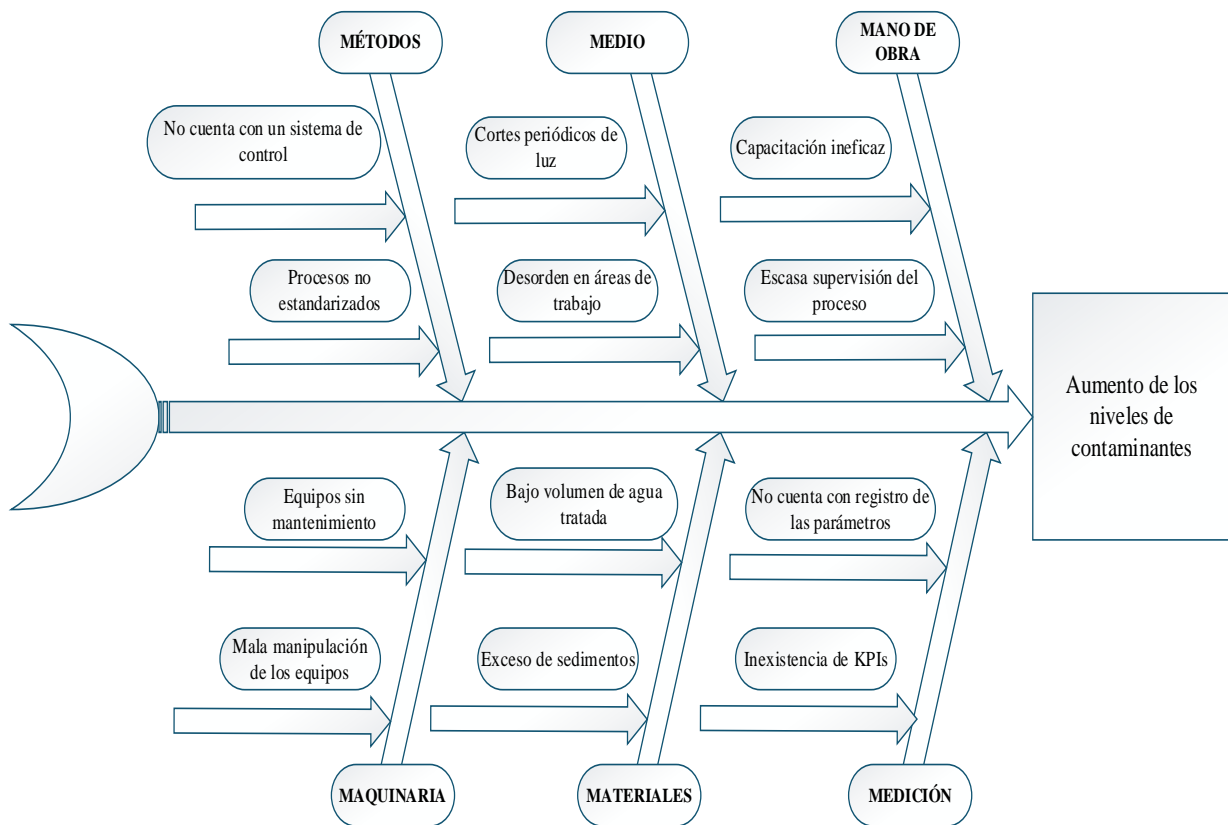


Nota. Elaborado por los autores.

El análisis del diagrama de Pareto mostrada en la Figura 17 permite complementar la percepción del personal operativo, ya que evidencia que las principales causas que afectan la eficiencia del tratamiento primario se concentran en pocos factores críticos. Tal como se observa en la gráfica, el aumento de los niveles contaminantes representa el 41 % de la problemática, seguido de los procesos no estandarizados, que elevan el impacto acumulado al 70 %.

Por consiguiente, el diagrama de Ishikawa que se ilustra en la Figura 18 representa las causas adyacentes encontradas previamente en el grafica de Pareto efectuada lo que respalda lo encontrado en la encuesta aplica al personal, donde por medio de esta se alega de manera idónea el origen del aumento de los niveles de contaminantes en el proceso de tratamiento primario. Asimismo, se atribuye que en método se ilustran procesos no estandarizados, seguido de la ausencia de control operativo que son los factores que coindicen con el 70 % del impacto del Pareto. Así que en las máquinas se encontraron falta de mantenimiento equipos desgastados, lo que incumbe al aporte del 83 % mostrado en la gráfica, sin embargo, en la mano de obra se respalda la limitada supervisión y dependencia de un solo operario para efectuar el proceso, aspectos que enfatizan el 75 % del personal encuestado acerca de la disminución de la eficiencia del tratamiento. En cambio, la categoría de materiales respalda la presencia de sedimentos y exceso de arenas, componentes que explican directamente las fallas en la remoción del tratamiento primario. En conjunto, este grafico respalda que el problema no se basa en una sola causa, dado que se alteran las deficiencias técnicas, de gestión y operativas que afectan la capacidad de remoción de sólidos y justifican la necesidad de adaptar mejoras elocuentes en el proceso.

Figura 18. Ishikawa primer nivel.



Nota. Elaborado por los autores.

Cómo se ilustra en la tabla 13 la cual muestra que la causa crítica basado en sus ponderaciones de calificación entre un rango del 1 al 5 que es a la que se le va a dar prioridad dentro del estudio de la planta de aguas residuales ya que es un proceso secuencial irradia una fluctuación en la calidad de los procesos en la purificación de agua, de modo que se realizó una visita técnica donde se observó que el problema se manifiesta a menudo en el tratamiento primario. A pesar de que existen otras falencias operativas el exceso de sedimentos afecta directamente el cumplimiento de la separación de estos microorganismos, es decir provoca el paso de sólidos hacia los otros procesos operativos, por ejemplo, afecta el cumplimiento de los parámetros ambientales. En definitiva, la matriz respalda de forma positiva la elección de este paradigma como es el central de análisis, al tratarse del factor que limita la estabilidad del sistema y la eficiencia operacional de la planta.

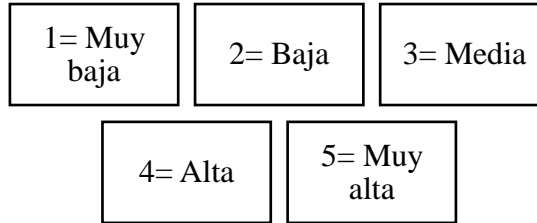
Tabla 13. Matriz de impacto.

Categoría 6M	Problema identificado	Influencia sobre el sistema (1-5)	Impacto sobre el resultado final (1-5)	Frecuencia observada	Puntuación Total
Método	No cuenta con un sistema de control.	3	4	4	11
	Procesos no estandarizados.	4	2	2	8
Medio ambiente	Corte periódico de luz.	3	4	3	10
	Desorden en área de trabajo.	4	2	3	9
Mano de obra.	Escasa supervisión del proceso.	3	4	4	11
	Capacitación ineficaz.	5	3	3	11
Maquinaria.	Equipo sin mantenimiento.	3	4	5	12
	Mala manipulación de los equipos.	3	4	4	11
Materiales.	EXCESO DE SEDIMENTOS.	5	5	5	15
	Bajo volumen de agua tratada.	5	4	3	12
Medición.	No cuenta con registros de los parámetros.	4	4	4	12
	Inexistencia de KPIS.	3	3	3	9

Nota: Elaborado por los autores

Mediante la figura 19 se expresa las ponderaciones ejecutadas bajo el peso que tiene cada una de los componentes mencionados en tabla anterior.

Figura 19. Calificación de criterio



Nota: Elaborado por los autores

Una vez que se realizó la matriz de impacto, se procede a implementar la herramienta del 5 porque permite identificar la causa raíz de esta investigación

1. ¿Por qué hay bloqueo o atasco recurrente de tuberías?

Porque hay una acumulación excesiva de partículas sólidas en el sistema de transporte.

2. ¿Por qué las partículas sólidas se acumulan excesivamente?

Porque la etapa de pretratamiento y filtración no está reteniendo todas las partículas.

3. ¿Por qué la etapa de filtración está fallando?

Porque los filtros están saturados o son inadecuados para el alto volumen de sólidos que está ingresando.

4. ¿Por qué los filtros están saturados o inadecuados?

Porque la materia prima de entrada (ej. agua) tiene una concentración de sólidos mucho más alta de lo esperado.

5. ¿Por qué la materia prima tiene una alta concentración de sólidos?

Porque existe un **EXCESO DE SEDIMENTOS** en la fuente o en el suministro de materia prima.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE MEJORA

3.1. Alternativas de soluciones

La elección de la metodología más adecuada para darle solución a la problemática encontrada bajo la aplicación del diagrama de Pareto, Ishikawa, matriz de consistencia y para encontrar la causa raíz del mismo se aplicó los cinco porque efectuados en la sección 2.5.5, bajo estos parámetros la tabla 14 representa el mayor porcentaje de aplicación dentro los estudios analizados en la revisión literaria en el apartado 1.2, la cual se evidencia que con un 74% tres potenciales herramientas de aportación al estudio relacionadas con la mejora continua de los procesos de las organizaciones dedicadas al tratamiento de aguas residuales.

Tabla 14. Resultado de metodologías encontradas en la revisión literaria

Metodologías	Utilización	Porcentaje
DMAIC	9	35%
TPM	6	23%
AMFE	5	19%
PHVA	3	12%
Ingeniería de métodos	2	8%
Kaiser	1	3%
TOTAL	26	100%

Nota: Elaborado por autores.

El presente capítulo tiene como finalidad desarrollar una propuesta de mejora integral basada en la metodología DMAIC, orientada a reducir el exceso de sedimentos presentes en el proceso de tratamiento primario de AGUAPEN EP. A partir del diagnóstico realizado en el capítulo anterior, sustentado en datos operativos históricos y observaciones directas en planta, se identificó como problemática recurrente el incremento de sólidos en la etapa de sedimentación primaria. Con base en estos hallazgos, se estableció como eje metodológico la aplicación del ciclo DMAIC, que permite definir con precisión el problema, medir el desempeño actual del sistema, analizar las causas que originan la desviación y plantear soluciones orientadas a su mitigación. De manera complementaria, se integran herramientas de

gestión como el Mantenimiento Productivo Total (TPM), para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos, y el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), para priorizar riesgos operacionales y prevenir fallas que contribuyan al arrastre excesivo de sedimentos como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Herramienta de la gestión por procesos.

Problemas existentes	Propuesta
Exceso de sedimentos	DMAIC + TPM+AMFE

Nota. Elaborado por los autores.

3.2. Implementación de la propuesta

3.2.1. Caracterización de los procesos mediante análisis descriptivo.

Esta fase implica el uso de la estadística descriptiva para el análisis y cuantificación de la documentación oficial de MGP de Aguapen EP, incluyendo documentos relacionados con los procesos de tratamiento, cuantificando la cantidad de subcategorías que componen los mismo. Las frecuencias observadas con las subcategorías de los procesos: i) SC1: procedimientos, ii) SC2: actores, iii) SC3: tareas, iv) SC4: entradas, v) SC5: salidas, vi) SC6: niveles de decisión, vii) SC7: instructivos, viii) SC8: evidencias, ix) SC9: enlaces entre procesos. El análisis de diversos macroprocesos más relevantes del tratamiento de aguas residuales de Aguapen EP, se presentan en la siguiente Tabla 16:

Tabla 16. Proceso crítico sedimentación primaria.

Subcategoría (SC)	Descripción	Valor
SC1 N.º procedimientos.	PO-PTAR-09 Sedimentación.	1
SC2 N.º actores.	Operario, supervisor, laboratorio.	3
SC3 N.º tareas.	Verificar nivel de lodos, ajustar válvulas, medir sólidos.	12
SC4 Entradas.	Agua residual 900 L/s, floculante 2 L/h.	2
SC5 Salidas.	Agua clarificada, lodos.	2
SC6 Decisiones.	Ajuste del dosificador.	1
SC7 Instructivos asociados.	IT-PTAR-09.	1
SC8 Evidencias.	Informe SST, DBO.	2

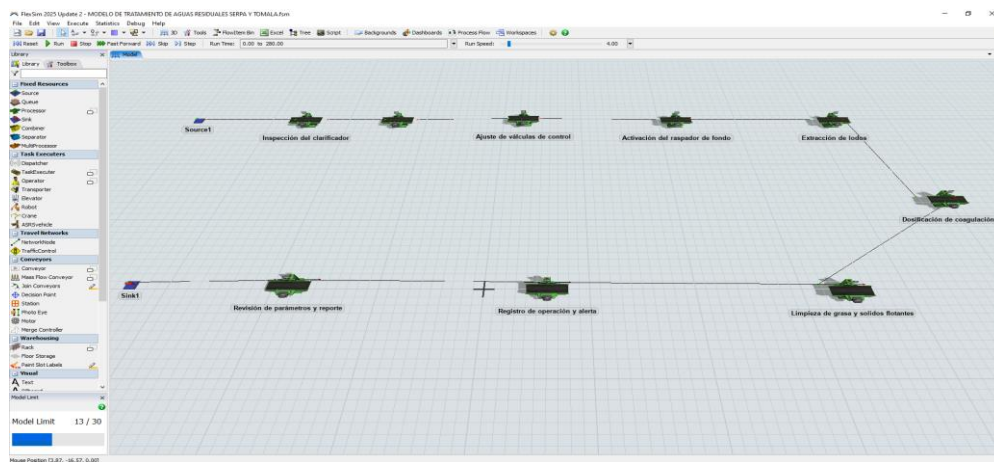
Nota: Elaborado por los autores.

Se determinó la sedimentación primaria alega 23 elementos, por ende, es un proceso fundamental dentro de la PTAR, ya que los procesos dentro de la planta son secuenciales.

3.2.2. Modelación y análisis de procesos de sedimentos

Para una mayor visualización del problema encontrado en el proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Aguapen EP, se desarrolló el modelado con los tiempos de duración que toma este proceso donde se evidencia que el operario al permanecer 280 min ejerciendo la actividad retrasa a las otras operaciones ya que son actividades secuenciales, por tal motivo, se ejecutó un dashboards que muestra la eficiencia en los procesos, como se muestra en la Figura 20.

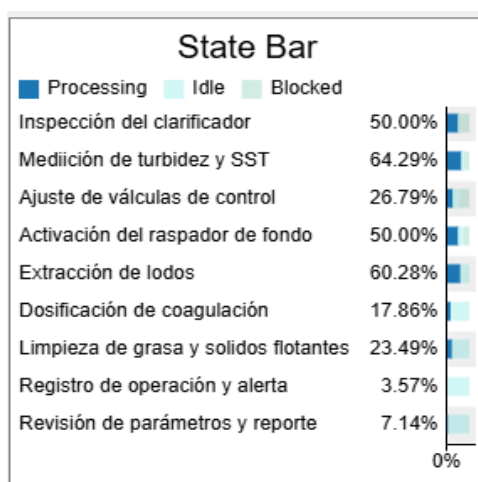
Figura 20. Modelo actual de control de sedimentación.



Nota. Elaborado por los autores.

Bajo estos fundamentos se visualiza en la gráfica el porcentaje de operación de cada proceso inmerso en el proceso de sedimentación y eliminación de lodos y exceso de efluentes donde se utilizaron los parámetros source que indica el inicio del proceso, seguidamente de un processor que simula las actividades que realiza el operador, conjuntamente se aplica el connect object A para unir los proceso y finalmente un dashboards que representa el porcentaje de cumplimiento de cada tarea realizada.

Figura 21. Identificación de porcentaje de tareas.



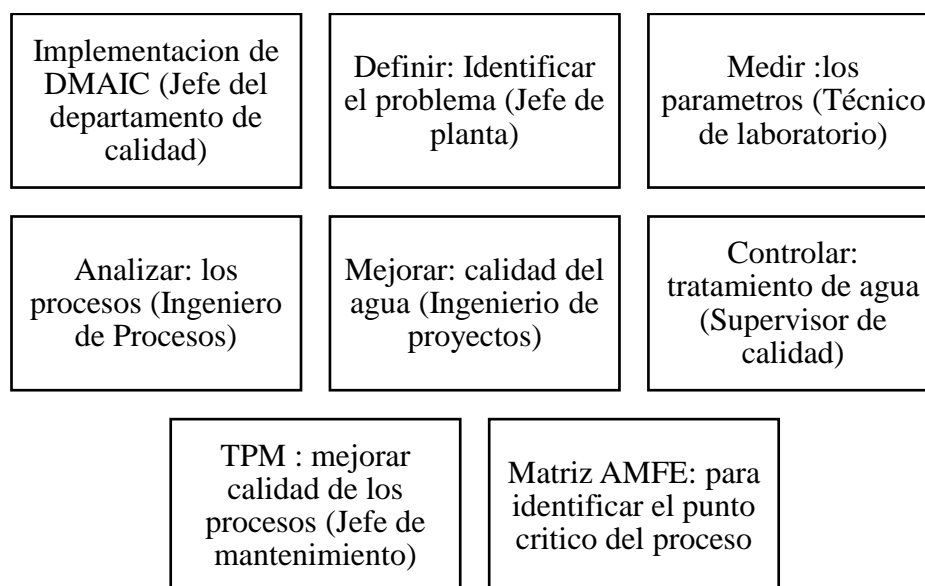
Nota: Elaborado por los autores.

La Figura 20 muestra a detalle la fase de sedimentación primaria la cual presenta una ineficiencia operativa, mostrada por altos porcentajes de tiempos en estado de para (State Bar) entre el 50 % y 64 % respectivamente. Además, esto ocasiona retrasos con la extracción de lodos y limita la toma de decisiones de medición de turbidez y SST, afectando el control del proceso y aumentando la carga sólida hacia el reactor biológico.

3.3. Guía de metodología DMAIC

De acuerdo con la figura 22 ilustra la guía metodológica para darle seguimiento al control de los parámetros del exceso de sedimentos en el tratamiento de agua residuales de la PTAR donde por cada etapa de la metodología guía se ha designado un responsable que se encargara de seguir y cumplir a cabalidad con cada una de las etapas para mejor la calidad del agua y los procesos para brindar un mejor servicio y tener estipulado los estándares permitidos para que la empresa pueda operar sin ninguna inconsistencia.

Figura 22. Guía Metodológica



Nota: Elaborado por los autores.

3.3.1. Definir

Cabe destacar que el DMAIC que se plantea en este documento que tiene como propósito servir como una guía técnica y metodológica para el departamento de Calidad de AGUAPEN EP, entidad responsable del control y tratamiento de las aguas residuales. Este modelo no solo orienta la identificación, análisis y solución de las causas asociadas al exceso de sedimentos. Asimismo, se deja constancia formal de que, cada vez que en la empresa se presenten episodios de incremento o acumulación de sedimentos en las etapas del tratamiento, este DMAIC deberá aplicarse como referencia obligatoria para la evaluación del problema, la toma de decisiones y la implementación de acciones correctivas y preventivas.

En la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Aguapen EP, se detecta un exceso de acumulación de sedimentos representando el 73.98 % del problema en la etapa de tratamiento primario, lo que ocasiona reducción del caudal efectivo, aumento en los tiempos de limpieza y mayor consumo energético en el bombeo. Posteriormente se presenta la Tabla 17 con los procesos y sus estándares mediante la escala de calificación de 0-10 donde el cero abarca que no existe relación y el diez que están fuera de los parámetros permisible, ya que se visualiza el punto crítico que retrasa las otras actividades. La sedimentación tiene el mayor impacto sobre los indicadores operativo donde refleja un puntaje elevado del 32/40, por lo tanto, es el proceso crítico del sistema.

Indicadores operativos de la PTAR:

- E1= % eficiencia remoción de SST.
- E2= % eficiencia remoción de BDO.
- E3= Consumo químico (kg/día).
- E4= Costo operativo mensual.

Tabla 17. Resultado de indicadores operativos de la PTAR.

Proceso / Indicador	E1	E2	E3	E4	TOTAL
Pretratamiento (rejas/desarenado)	6	4	0	2	12
Sedimentación primaria	9	8	7	8	32
Reactor biológico	7	10	2	7	26
Manejo de lodos	8	0	6	9	23

Nota: Elaborado por los autores.

3.3.2. Medir

La normativa (TULSMA) expresada en el libro VI en su anexo 1 radica los límites permitidos basados en el funcionamiento de las plantas de aguas residuales ya sean para uso doméstico o para industrias y municipios que es la encargada de medir las concentraciones de sustancias excesivas de partículas biológicas, químicas en las lagunas de oxidación para mitigar la contaminación ambiental y el deterioro de la salud de las personas, como se aprecia en la siguiente tabla 18, muestra los límites máximos de cuerpos vertidos en aguas. Los LMP se definen como la concentración de las medidas fisicoquímicos y biológicos que caracteriza de las aguas residuales, cuyo exceso causa daños a la salud, a las personas y al medioambiente.

Tabla 18. Límites máximos permisibles para vertidos a cuerpo de aguas.

Parámetro	Unidad	LMP de efluente
Aceites y grasas.	mg/l	30
Coliformes totales.		3000
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO.	Mg/l	100
Demanda química de oxígeno, DOQ.	mg/l	250
Sólidos totales en suspensión, SST.	mg/l	100
Sólidos sedimentales.	mg/l	1

Nota. Tomada de norma de calidad ambiental y descarga de afluentes.

Eficiencia de remoción general % (SST y BDO)

Se seleccionaron dos puntos de monitoreo para la toma de muestras: el primero correspondió a la entrada principal del alcantarillado de la PTAR (afluente) y el segundo al alcantarillado final de la planta (efluente). Las muestras se recogieron en recipientes de vidrio previamente limpios. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron registrados en una tabla de resultados, correspondiente al reporte de efluentes de la PTAR mediante la tabla 19 y 20 se muestran los datos obtenidos por los encargados del análisis de sedimentos.

Tabla 19. Hoja de control de datos de sedimentos (4 semanas).

Semana	SST afluente (mg/L)	SST efluente (mg/L)
1	240	110
2	242	105
3	238	115
4	240	108
Promedio	240	109

Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 20. Hoja de control de datos de sedimentos (4 semanas).

Semana	BOD afluente (mg/L)	BOD efluente (mg/L)
1	180	85
2	178	83
3	182	84
4	179	85
Promedio	180	85

Nota. Elaborado por los autores.

Cálculo de indicadores actuales

Sólidos totales en suspensión

$$EC1: Eficiencia (\%) = \frac{\text{Valor afluente} - \text{Valor efluente}}{\text{Valor Afluente}} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{240 - 109}{240} * 100$$

$$Eficiencia = 55 \%$$

BOD

$$Eficiencia = \frac{180 - 85}{180} * 100$$

$$Eficiencia = 53\%$$

Aceites y Grasas

$$Eficiencia = \frac{70 - 45}{70} * 100$$

$$Eficiencia = 36 \%$$

3.3.3. Analizar

A partir de los resultados que muestran una eficiencia inferior al 70 %, lo que indica que las fallas en la etapa de coagulación/floculación y bajo una carga hidráulica excesiva de los sedimentadores. Mediante la utilización de herramientas para determinar las causas del problema en proceso de sedimentos excesivos donde la PTAR tiene un caudal máximo de 970 L/s. A continuación, en la Tabla 21 se muestra el desarrollo de la herramienta de los cinco porque que ilustra las causas del problema.

Tabla 21. Herramienta de 5 porques.

	Pregunta	Respuesta
1er	¿Por qué hay exceso de sedimentos en el efluente de la PTAR?	Porque los sólidos no se están sedimentando correctamente en los tanques de sedimentación primaria.
2er	¿Por qué los sólidos no se sedimentan correctamente?	Porque los tiempos de retención hidráulica son insuficientes para el caudal máximo de 970 L/s.
3er	¿Por qué los tiempos de retención son insuficientes?	Porque la planta no cuenta con un dimensionamiento adecuado de los clarificadores para manejar el caudal máximo.
4er	¿Por qué la planta no tiene clarificadores dimensionados correctamente?	Porque en el diseño original no se consideró un crecimiento futuro del caudal ni variaciones en la carga de sólidos.
5er	¿Por qué no se consideró el crecimiento futuro ni las cargas variables?	Porque no se implementó un plan de actualización periódica de la infraestructura ni monitoreo de la carga de sólidos entrante.

Nota. Elaborado por autores con referencia a Majka, et al., (2024).

3.3.4. Mejorar

Luego de analizar el paradigma esencial sobre el exceso de sedimentos se proponen las siguientes acciones para reducir este déficit y así lograr mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la empresa Aguapen EP, que se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Acciones consideradas a mejorar.

Acción	Responsable	Meta
Aumentar purgas de lodos de 1 → 3 veces por día.	Operador PTAR.	Reducir acumulación a < 5 cm.

Instalar dosificador automático de polímero.	Jefe de mantenimiento.	Mantener dosis ± 5 %.
Capacitación al operador en control de SST.	Calidad / Operaciones.	Disminuir errores operativos.
Aplicar mantenimiento preventivo.	Jefe de mantenimiento.	Incrementar la eficiencia de bombas, válvulas y sensores mensualmente.

Nota. Elaborado por los autores.

Después de aplicar estas acciones al proceso de tratamiento de aguas residuales los cuales reducirán efectivamente los niveles permisibles de las sedimentos, efluentes, afluentes y grasas y aceites en las aguas tratadas, ya que se llega al cumplimiento normativo de las especificaciones técnicas o parámetros exacto que se encuentren dentro del campo permisibles para su posterior uso mejorando la eficiencia. De tal manera, se muestra los resultados esperados de los indicadores propuestos para el proceso en la siguiente Tabla 23.

Tabla 23. Resultados de indicadores propuesto.

Parámetros	Antes (mg/l)	Después (mg/l)
SST	240	55
DBO	180	40
Aceite y grasas	70	15

Nota. Elaborado por los autores.

Cálculo de indicadores propuestos

SST

$$EC1: Eficiencia (\%) = \frac{\text{Valor afluente} - \text{Valor efluente}}{\text{Valor Afluente}} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{240 - 55}{240} * 100$$

$$Eficiencia = 77 \%$$

BOD

$$Eficiencia = \frac{180 - 40}{180} * 100$$

$$Eficiencia = 78\%$$

Aceites y grasas

$$Eficiencia = \frac{70 - 15}{70} * 100$$

$$Eficiencia = 79 \%$$

3.3.5. Controlar

Tal como se ilustra en la tabla 24 se alega el registro de control para los laboratorios que sirve como guía de análisis de como entra y sale el agua tratada, sin embargo, esto permite encontrar las falencias cuando se efectúa el tratamiento de los recursos hídricos no supere el límite máximo permitido. Por tanto, se debe estructurar frecuencias idóneas en base al comportamiento que tiene la empresa Aguapen EP bajo el control del efluente y el caudal de salida del producto procesado.

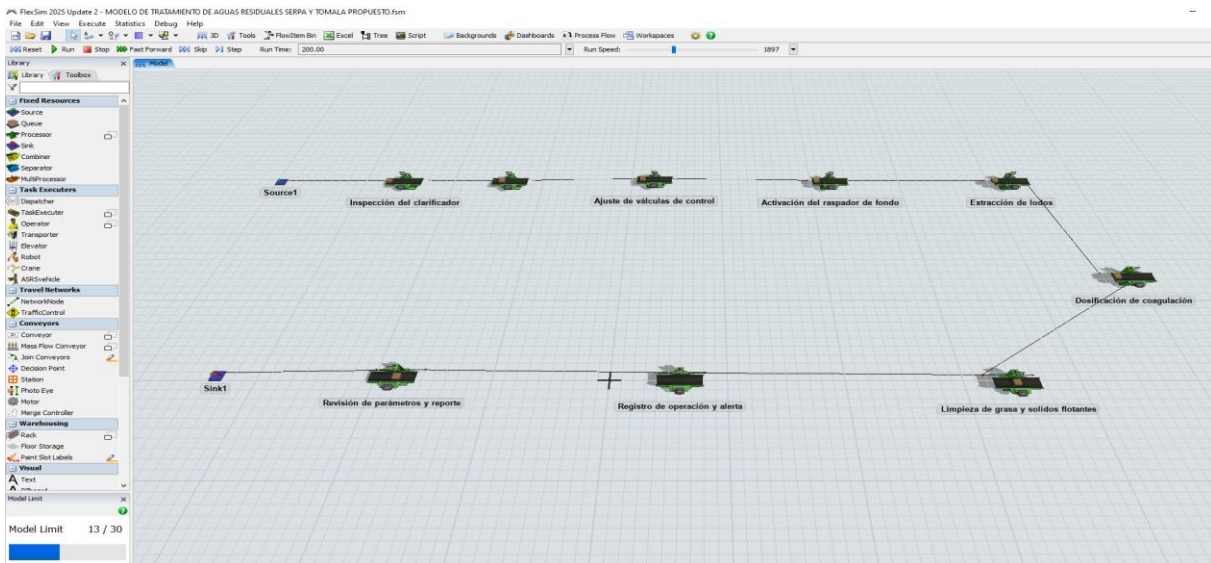
Tabla 24. Controles de análisis de laboratorio.

Parámetros	Frecuencia
SST	Diaria
BDO	Diaria
Aceite y grasas	Semanal.

Nota. Elaborado por los autores.

Bajo estos contextos, se realiza el modelo propuesto donde se puede apreciar en la Figura 23 la reducción de los tiempos de operación de los procesos que anteriormente se identificaron como críticos dando paso a la mejora continua del tratamiento de aguas residuales, ya que también se refleja un aumento del cumplimiento de eficiencia de los parámetros en un 47 % lo que resalta la disminución de exceso de sedimentos.

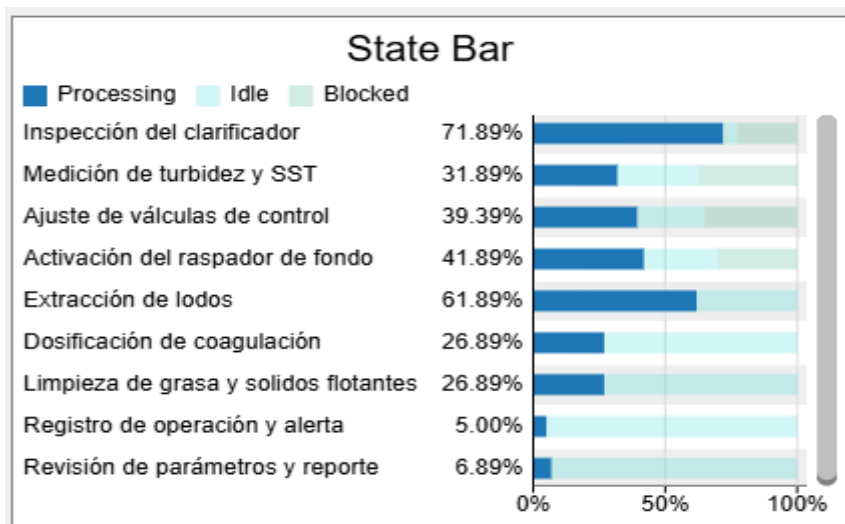
Figura 23. Modelo propuesto de proceso de limpieza de sedimentos.



Nota. Elaborado por los autores.

A continuación, se muestra en la Figura 24 el tiempo de ejecución del proceso de limpieza de sedimentos propuesto, de tal manera que se evidencia la reducción del porcentaje de las actividades antes mencionadas que eran el principal problema donde tenían un tiempo de ciclo de 280 min paso a ser de 200 minutos teniendo una reducción del 28.51 %.

Figura 24. Porcentaje de proceso de actividades propuesto.



Nota. Elaborado por los autores.

3.3.6. Propuesta de TPM (Mantenimiento Total Productivo)

Esta herramienta conocida como Mantenimiento Total Productivo, centralizó su vigilancia en las maquinas clave de la planta de tratamiento de agua residuales Aguapen EP, su finalidad fue promover una cultura dirigida para todos los participantes, promulgando la astucia

de mantener en buenas condiciones operativas cada componente del equipo. Para efectuar su ejecución, se llevaron a cabo las siguientes actividades.

Evaluación OEE inicial

Con relación a la mejora continua de los procesos se procedió a calcular eficiencia general del equipo (OEE) que afronta el papel determinante para medir los parámetros basados en la disponibilidad, rendimiento y por último la calidad del servicio dentro del procesos operativos del tratamiento de aguas residuales.

Disponibilidad: esta fase mide y evalúa el tiempo de ejecución de un proceso puesto en marcha y se obtiene al dividir el tiempo real procesado entre el tiempo total programado de ejecución de una actividad determinada en porcentajes.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo real de operación} - \text{Tiempo programado de}}{\text{Tiempo real de operación}} \times 100$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{720 - 65}{720} * 100$$

$$\text{Disponibilidad} = 91\%$$

Rendimiento: se calcula al dividir la cantidad real producida durante el tiempo de operación sobre la cantidad que, en teoría, podría haberse producido en ese mismo período.

$$\text{Desempeño} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción teórica}} \times 100$$

$$\text{Desempeño} = \frac{680}{800} \times 100$$

$$\text{Desempeño} = 85 \%$$

Calidad: este componente mide el grado de eficiencia en cláusulas de productos aceptables y se calculó dividiendo el número de productos en buen estado entre el total de productos.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Agua tratada dentro de parámetros}}{\text{Agua total procesada}} \times 100$$

$$\text{Calidad} = 90 \%$$

El OEE se calculó multiplicando los tres factores previamente obtenidos, teniendo como resultado un 69 %. Según la escala de evaluación presentada en la Tabla 25, este valor se

denomina como “Regular”, lo que resalta que el desempeño es aceptable únicamente si se encuentra en proceso de mejora continua.

$$OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad$$

$$OEE = 91\% * 85\% * 90\%$$

$$OEE = 69\%$$

Tabla 25. Método de calificación para OEE.

OEE	MÉTRICA DE CALIFICACIÓN
$65\% \leq OEE < 75\%$	Regular
$75\% \leq OEE < 85\%$	Aceptable
$85\% \leq OEE < 95\%$	Bueno
$\geq 95\%$	Excelente

Nota: Elaborado por los autores.

3.3.7. Análisis matriz AMFE

Mediante la tabla 26 se describe la calificación basada en criterios donde se alega que la puntuación de 1-3 es baja, 4-5 es una detección moderada, 6-7 tiene una alta detección y 8-10 no existe un control permisible, por lo tanto, se requiere atención inmediata para diagnosticar los puntos más críticos que existen.

Tabla 26. Método de calificación para el NRP

PUNTAJE	MÉTRICA DE CALIFICACIÓN
1-3	Baja
4-5	Moderada
6-7	Alta
8-10	Critica

Nota: Elaborado por los autores.

Una vez que se calculó el OEE inicial, se procedió a efectuar un análisis más profundo empleando la matriz AMFE, como se aprecia en la Tabla 27. Este enfoque ayudo a identificar los posibles modos de falla en cada etapa del tratamiento de aguas residuales y así evaluar sus efectos potenciales. Al diagnosticar la causa raíz y asignarles un nivel de severidad, ocurrencia y detección, se desarrolló una guía sólida para priorizar acciones correctivas.

Bajo estos fundamentos la matriz análisis modal de fallos y efectos (AMFE) ejecutada en el estudio permitió evaluar las falencias en el proceso del tratamiento de aguas residuales dentro de la planta Aguapen EP, por lo que se refiere a tomar acciones basadas en estrategias específicas alegando la reducción de los números críticos de prioridad de riesgo (RPN), el cual demostró que estas medidas fueran claras y precisas, especialmente dentro del proceso de coagulación, sedimentación, bombeo y filtración de agua. Para determinar el mantenimiento preventivo, inspección, limpieza, monitoreo preventivo constante enfocado en incrementar la eficiencia del proceso.

La matriz AMFE identifica que la purga de lodos es el proceso más crítico, con un RPN de 336, debido a la acumulación de sedimentos y fallas en la purga, lo que exige acciones preventivas inmediatas. La dosificación de polímero y la rastra de lodos presentan riesgos moderados (RPN 240 y 180), relacionados con fallas de dosificación y problemas mecánicos, que se reducen mediante mantenimiento y calibraciones periódicas. En conjunto, la matriz permite priorizar los riesgos y orientar las mejoras en el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 27. Matriz AMFE en Aguapen EP.

Aguapen EP				División: Tratamiento de aguas residuales						Fecha: 11/10/2025				
Artículo: Agua tratada				Preparado por: Área de ingeniería						Matriz AMFE				
Proyecto: Mejora continua														
Proceso: Tratamiento de aguas														
N°	Procesos	Falla Potencial	Efecto	Causa	Severidad	Ocurriencia	Detección	RP N	Acciones	Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	RP N
1	Purga de lodos	Purga insuficiente	Acumulación de sedimentos	Malla muy grande	8	7	6	336	Mantenimiento preventivo mensual, purga de líneas, cambio programado de diafragma.	Se estableció un cronograma de mantenimiento mensual.	8	3	3	72
2	Dosificación de polímero	Método incorrecto	Baja eficiencia de remoción	Sensor de temperatura dañado	8	5	6	240	Lubricación automática, check semanal de torque y balanceo.	Se realizó Lubricación automática y balanceo periódico.	8	3	3	72
3	Rastra de lodos	Rastrillo se traba	Sedimentación deficiente	Exceso de sólidos o falta de engrase	9	4	5	180	Inspección diaria, limpieza de lodos, mantenimiento planificado trimestral.	Inspección, limpieza y mantenimiento trimestral.	9	4	3	108

Nota. Elaborado por los autores.

Aplicación TPM

Se identificaron de manera precisa los modos de falla potenciales y se tomaron acciones correctivas para mitigar los riesgos asociados al proceso de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, debido a la severidad de los problemas identificados en las distintas máquinas, se evidenció la necesidad de implementar un enfoque más integral que garantice tanto la eficiencia operativa como la confiabilidad del equipo. Bajo estos fundamentos, se tomó la alternativa estratégica de comenzar la implementación del plan de Mantenimiento Productivo Total, tomando de referencia los diversos tipos de mantenimiento que se ilustran en la Tabla 28.

Tabla 28. Plan de mantenimiento para las máquinas.

N°.	Descripción	Cantidad	Tipo de Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Responsable	
1	Dosificación de químicos.	2	Preventivo.	Purga de líneas.	Mensual.	Técnico de mantenimiento.
2	Coagulación.	3	Lubricación.	Lubricación y balanceo de ejes.	Semanal.	Operador y supervisor mecánico.
3	Sedimentación.	1	Preventivo.	Inspección y limpieza de lodos.	Diaria.	Operador de planta.
4	Filtración.	2	Preventivo.	Revisión de presión y cambio de sellos.	Semanal.	Técnico de mantenimiento.
5	Post-cloración.	2	Predictivo.	Verificación de sensores de nivel y alarmas.	Semanal.	Área de automatización.

Nota: Elaborado por los autores.

Evaluación OEE final

Tras la implementación del plan de Mantenimiento Total Productivo, se ejecutó una nueva evaluación del índice de OEE con la finalidad de verificar los efectos de las mejoras efectuadas. Los hallazgos actualizados ofrecieron una visión idónea del rendimiento operativo actual en la planta de tratamiento de aguas residuales. Para ello, se recalcularon los tres componentes claves del OEE: disponibilidad, rendimiento y calidad.

Además, como dato adicional se da a conocimiento que varios datos fueron proporcionados por la empresa a través de su archivo histórico

Disponibilidad:

$$Disponibilidad = \frac{680}{720} * 100$$

$$Disponibilidad = 94 \%$$

Rendimiento:

$$Rendimiento = \frac{720}{800} * 100$$

$$Rendimiento = 90 \%$$

Calidad:

$$Calidad = 95 \%$$

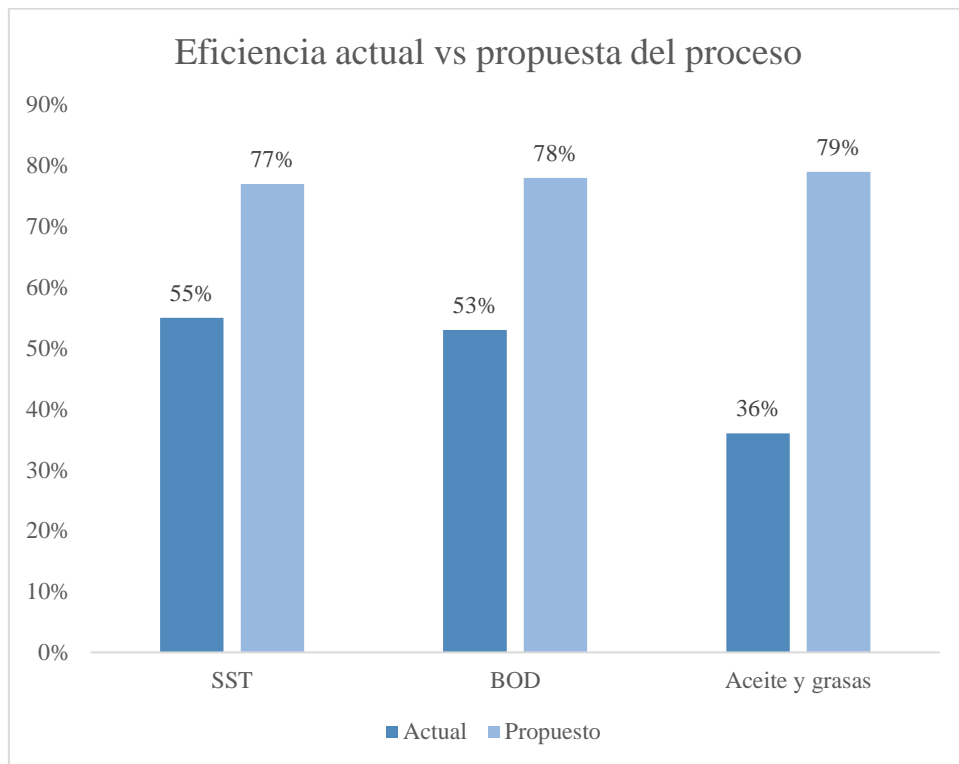
El OEE obtenido fue 80 %, lo que le ubica en la categoría de “Bueno”. Esta clasificación indica que el rendimiento del proceso es competitivo, alegando una mejora significativa o en curso dentro del proceso.

$$OEE = 94\% * 90\% * 95\%$$

$$OEE = 80\%$$

De tal manera, mediante el diagrama de barras mostrado en la Figura 25 el cual hace referencia comparativa de los indicadores actuales y propuesto inmersos en el estudio como propuesta de mejora para mejorar los procesos del tratamiento de aguas residuales en la empresa Aguapen EP.

Figura 25. Indicadores actuales vs propuesto.



Nota. Elaborado por los autores.

La Figura 25 muestra que los sólidos totales suspendidos en el proceso de sedimentación de aguas residuales actuales eran de 55 % que paso a ser del 77 %, seguido de la demanda bioquímica de oxígeno actualmente tenía una eficiencia del 53 % a su vez con la mejora este ascendió a 78 %, finalmente la aceite y grasas en el agua tratada era del 36 % paso a ser del 79 %. Bajo estos fundamentos, la empresa cumple con los límites permisibles basado en Libro VI, Anexo 1 del TULSMA que es el ente regulador para que las plantas de tratamiento de aguas domésticas o fluviales operen con normalidad. A través de este proceso los sólidos suspendidos totales eran de 109 se redujo a 45 que se encuentra dentro del rango límite, asimismo la demanda bioquímica de oxígeno actualmente estaba en 85 paso a ser de 40.

3.4. Justificación económica

El presupuesto de la implementación del DMAIC, TPM y AMFE se presenta en la Tabla 29, con una inversión de \$7.486.50 USD destinada a programas de formación, optimización operativa y actividades relacionadas con las cuatro perspectivas del modelo. Para cubrir este presupuesto, se plantea financiar la inversión mediante un préstamo bancario a una tasa de interés anual del 15 % un plazo de amortización de cinco años.

Tabla 29. Presupuesto de la investigación.

Item	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1. Personal			
Consultoría en reducción de costo.	1	\$ 475,00	\$ 475,00
Jefe de logística para seguimiento.	1	\$ 600,00	\$ 600,00
Consultoría para implementación de TPM.	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Asistente de capacitación en mantenimiento.	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Funcionario para control de registros.	1	\$ 700,00	\$ 700,00
2. Equipos y Herramientas			
Kit de herramientas para mantenimiento.	2	\$ 150,00	\$ 300,00
Sistema de lubricación para maquinaria.	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Sistema de monitoreo de rastrillo.	1	\$ 450,00	\$ 400,00
3. Gastos de transporte			
Transporte para visitas de control de calidad.	2	\$ 150,00	\$ 300,00
Viáticos para equipo técnico en capacitación.	2	\$ 100,00	\$ 200,00
4. Materiales e Insumos			
Material de oficina para capacitación TPM.	1	\$ 100,00	\$ 625,00
Encuestas de cumplimiento de normativa.	5	\$ 4,00	\$ 20,00
Señalización en planta para zonas de seguridad.	6	\$ 10,00	\$ 60,00
5. Servicio Técnico			
Mantenimiento de equipos de tratamiento.	1	\$ 300,00	\$ 300,00
Calibración de equipos de control de calidad.	1	\$ 400,00	\$ 400,00
6. Otras Actividades			
Talleres de sensibilización en calidad.	2	\$ 300,00	\$ 600,00
Evaluación de puestos de trabajo TPM.	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Campaña de concienciación interna.	1	\$ 400,00	\$ 400,00
Elaboración de manuales y distribución.	1	\$ 200,00	\$ 200,00
		Subtotal	\$ 7.130,00
		Imprevistos 5%	\$ 356,50
		Total	\$ 7.486,50

Nota. Elaborado por los autores.

Para establecer un modelo de gestión por procesos, se realizó una inversión total de \$7.486,50 mostrado en la Tabla 30 la empresa se distribuye estratégicamente en áreas fundamentadas al mejoramiento de la calidad del agua tratada y reducción de costos. La inversión principal se centra en la adquisición de sistemas de mantenimiento y monitoreos, así como herramientas de lubricación y calibración, esenciales para mitigar los tiempos improductivos y asegurar un funcionamiento eficaz de los equipos.

Tabla 30. Cálculos del flujo de fondo.

	0	1	2	3	4	5
FF	\$ -7.846,50	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Saldo Actualizado 10%	\$ -7.846,50	\$ 2.272,73	\$ 2.066,12	\$ 1.878,29	\$ 1.707,53	\$ 1.552,30
Saldo actualizado acumulado	\$ -7.846,50	\$ -5.573,77	\$ -3.507,66	\$ -1.629,37	\$ 78,16	\$ 1.630,47

Nota. Elaborado por los autores.

Como se muestra en la Tabla 31 el cálculo del presupuesto se consideró una tasa del 10 % dando como resultado un VNA del \$9.476,97. Conjuntamente el resultado del valor actual neto (VNA) \$1.630,47, posteriormente a una tasa interna de retorno del 18 %, juntamente con un periodo de recuperación de 3.70 años indica que la inversión inicial será recuperada antes de finalizar el plazo de cinco años, asegurando que los beneficios netos comiencen a generarse en el corto plazo. En conjunto, estos hallazgos respaldan la propuesta como una estrategia que no solo mejorar la calidad del agua, sino que también contribuye de forma positiva al desempeño organizacional y al crecimiento sostenible de la empresa.

Tabla 31. Indicadores financieros.

VAN	\$1.630,47
TIR	18%
PR	3,70
CB	3,1

Nota. Elaborado por los autores.

Discusión

De acuerdo con Zhang et al., (2024) bosquejaron un modelo sostenible de tratamiento de aguas residuales industriales basado en tecnologías de big data, alineado con el desarrollo de ciudades inteligentes en China, este recopila continuamente datos operativos de múltiples instalaciones, permitiendo el monitoreo del estado del sistema, la predicción de tendencias operativas y la toma de decisiones automáticas. Gracias al análisis predictivo, el sistema también anticipa necesidades futuras de recursos y costos operativos, optimizando la asignación de recursos y reduciendo gastos.

Según Filali et al., (2025) menciona que llevar a cabo un sistema cíclico de tratamiento de aguas grises, adoptando ósmosis mecánica, biológica y fitorremediación mediante el uso de *Chenopodium quinoa*, teniendo la finalidad de reutilizar estas aguas mediante prácticas agrícolas sostenibles. Su modelo de gestión se estructuró a través de un diseño experimental

basado en tres niveles de tratamiento, evaluando su impacto en la calidad del agua y en las propiedades fisicoquímicas del suelo y de la planta, demostrando mejoras significativas, como la reducción de la DBO de 31,33 a 15,74 mg O₂/L y de la DQO de 102,64 a 54,19 mg O₂/L, cumpliendo con la normativa tunecina NT 106.03 y las directrices de la OMS.

Bajo estos contextos, se respalda que la aplicación de las metodologías DMAIC y TPM, se evidenció una mejora significativa en los indicadores de desempeño del proceso de sedimentación de aguas residuales. Inicialmente, la eficiencia en la remoción de sólidos totales suspendidos era del 55 %, la cual se incrementó hasta 77 % tras la implementación de las mejoras operativas y de mantenimiento. De igual manera, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presentaba una eficiencia del 53 %, alcanzando posteriormente un 78 % gracias al control sistemático de las variaciones del proceso y a la disponibilidad operativa de los equipos.

Limitaciones del estudio

Durante el desarrollo del estudio se evidenciaron diversas limitaciones en el trabajo, que afectaron de manera considerable la uniformidad del análisis efectuado cada una de las fases implementadas anteriormente para darle seguimiento a la problemática encontrada en la empresa evaluada.

El estudio presentó diversas limitaciones que condicionaron el alcance del diagnóstico sobre el exceso de sedimentos en el tratamiento primario de la PTAR de Aguapen EP. La alta variabilidad del caudal y de la carga de sólidos dificultó obtener un comportamiento representativo del sistema, mientras que la disponibilidad limitada de datos históricos redujo la posibilidad de comparar tendencias a largo plazo. Asimismo, las restricciones de instrumentación y el uso de muestreos manuales afectaron la precisión de las mediciones. A ello se sumaron limitaciones de acceso a unidades operativas críticas y la influencia de factores externos no controlados o descargas extraordinarias fuera de los procesos operativos. El periodo acotado de evaluación también restringió la identificación de fluctuaciones estacionales. Finalmente, los condicionamientos presupuestarios y la imposibilidad de modificar el proceso en operación limitaron la ejecución de ensayos experimentales que habrían permitido un análisis más completo del fenómeno de sedimentación.

Futuras líneas de investigación

Las futuras líneas de investigación deberán orientarse a profundizar el análisis de la variabilidad de los sedimentos mediante sistemas avanzados de monitoreo continuo, integrando sensores en línea y modelación estadística que permitan fortalecer cada fase del ciclo DMAIC y, en consecuencia, obtener diagnósticos más robustos y oportunos.

Asimismo, resulta pertinente desarrollar estudios experimentales que evalúen alternativas de rediseño del tratamiento primario bajo criterios TPM, considerando mejoras en la confiabilidad de equipos críticos, optimización de rutinas de mantenimiento y evaluación comparativa de tecnologías para reducir la acumulación de sólidos sedimentables.

De igual manera, se recomienda ampliar la aplicación del AMFE para identificar fallos potenciales en etapas aún no analizadas, incorporando análisis de riesgo cuantitativo que faciliten priorizar intervenciones y establecer estrategias preventivas más precisas dentro del sistema integral de operación y mantenimiento.

Finalmente, futuras investigaciones podrían explorar simulaciones hidráulicas, análisis de eficiencia energético operativa y la incorporación de metodologías híbridas de mejora continua que integren Lean, Six Sigma y TPM, con el propósito de generar soluciones sostenibles y replicables que incrementen la eficiencia global del proceso y minimicen la reincidencia del exceso de sedimentos.

CONCLUSIONES

Para el desarrollo del presente estudio fue esencial el análisis bibliométrico de la literatura mediante las bases de datos Scopus y WoS, dado que permitieron sustentar con fundamentos teóricos las variables de estudio y su relación con la gestión por procesos y el tratamiento de aguas residuales. Se evidenció que, en los últimos años, existe un incremento eficaz en investigaciones basadas con la implementación de modelos de procesos como estrategia para aumentar la competitividad de las organizaciones.

El marco metodológico se basó en la implementación enfoques cuantitativos que permitió comprender la situación inicial de la planta Aguapen EP, logrando identificar los puntos críticos que alteran los parámetros permitidos por la normativa TULSMA. El análisis reveló debilidades significativas como el exceso de sedimentos que para tener una mayor aceptación del paradigma investigativo se aplicaron las herramientas Pareto que mostro el problema esencial del exceso de sedimentos, conjuntamente con un Ishikawa que se determinó para encontrar las ramificaciones del nivel de contaminante que se desplego bajo las 6M, posteriormente para analizar de forma detallada el exceso de sedimentos se ejecutó una matriz de ponderación que desglosa cada una de las ramificaciones del Ishikawa para así darle un peso a cada una sus causas alegan que la mayor es la de medir donde recae el exceso del sedimento por tal motivo se llegó a la causa raíz implementando los cinco porque.

La adaptación del enfoque en base a gestión por procesos resulto ser beneficiosos para mejorar la eficiencia del tratamiento del agua, ya que describe las etapas por las cuales pasa el recurso hídrico hasta ser acto para el consumo humano, esta propuesta permite optimizar el proceso y cumplir los límites permisibles que debe tener las plantas de tratamiento de aguas residuales. Bajo estos fundamentos, se aplicaron tres herramientas para darle una guía de cómo se debe realizar y controlar cada proceso que son el DMAIC, TPM y AMFE, que buscan disminuir los cuellos de botella presentes en la calidad del agua.

- En conjunto, los resultados del estudio evidencian que una adecuada gestión de procesos industriales no solo mejora los indicadores del proceso, sino que también fortalece la cultura organizacional enfocada hacia la mejora continua, la sostenibilidad operativa y la competitividad con empresa dedicadas a la misma índole.
- La metodología DMAIC ayudó a mejorar la eficiencia de los procesos en el tratamiento de aguas residuales mejorando a cabalidad los indicadores a través

de este proceso los excedente de sólidos suspendidos totales inicialmente eran de 109 donde por medio de la aplicación de las cinco etapas de la herramienta se aumentó hasta que se encuentra dentro del rango limite, asimismo la demanda bioquímica de oxígeno actualmente estaba en 85 paso a ser de 40 y finalmente las aceites y grasas quedando con un porcentaje de 90%.

- El Mantenimiento Total Productivo se efectuó para analizar el proceso que pasas en cada operación la sedimentación donde se verifica que la disponibilidad de los equipos utilizados para este proceso es escasa donde su evaluación inicial bajo el cálculo de OEE resultó en un 69%, catalogado como regular. Conjuntamente se desarrolló la matriz AFME que influyó de forma satisfactoria en el estudio donde inicialmente un cálculo en base a ponderación dada en rango del 1 al 10 bajo estos criterios se obtuvo que el NRP era crítico con un 336 en el proceso de exceso de sedimentos, pero bajo acciones recomendadas este se disminuyó a un 72 lo que mejora la per sección de los procesos de forma idónea.
- Finalmente, el TPM se aplicó para mitigar las causas inmersas en el proceso tenían un escaso proceso donde en la situación inicial, el OEE se encontraba en un 69%, clasificado como "Regular". Sin embargo, tras la implementación del de la matriz AFME y el plan TPM ligado a tomar acciones de mejora, se observa una transformación sustancial, elevando el OEE al 95%, ahora categorizado como "Bueno".

RECOMENDACIONES

Implementar de forma permanente la metodología DMAIC en los procesos de la PTAR, integrándola al sistema de gestión de calidad de Aguapen EP, con el fin de mantener un control continuo sobre los parámetros de sólidos suspendidos y extender su aplicación a otras etapas críticas del tratamiento de aguas residuales.

IncurSIONAR más acerca del control y monitoreo secuencial de los instrumentos que utilizan para medir el cumplimiento de los registros incorporando sensores en las líneas del tratamiento primario dado que es donde surge la problemática en la variación del tiempo real en que es tratada el agua y así evita la acumulación de sólidos.

Se recomienda brindarle mayor atención al personal técnico bajo capacitaciones en base las herramientas ligadas a la mejora continua de los procesos de la gestión de actividades, alegando así una mejora primordial en la ejecución de sus actividades diarias dentro de la planta, lo que garantiza la maximización del rendimiento de la organización a largo y corto plazo respectivamente.

REFERENCIAS (o BIBLIOGRAFÍA)

- Alfonso, I., Gómez, A., Doñate, S., Garcés, K., Castro, H., & Cabot, J. (2023). A model-based framework for IoT systems in wastewater treatment plants. *Journal of Object Technology*, 22(2). <https://doi.org/10.5381/jot.2023.22.2.a10>
- Alnajjar, H. Y. H., & Üçüncü, O. (2023). Performance prediction and control for wastewater treatment plants using artificial neural network modeling of mechanical and biological treatment. *Archives of Environmental Protection*, 49(2), 16–29. <https://doi.org/10.24425/aep.2023.145893>
- Babičković, B. P., Vojinović, Ž., Leković, B., Cvijanović, D., Sedlak, O., & Ćirić, Z. (2020). Business process improvement of the wastewater treatment: Reducing the risk of environmental pollution. *Serbian Journal of Management*, 15(1), 127–142. <https://doi.org/10.5937/SJM15-17334>
- Cabeza-García et al. (2022). design of a process management system.
- Cairone, S., Hasan, S. W., Choo, K. H., Lekkas, D. F., Fortunato, L., Zorpas, A. A., Korshin, G., Zarra, T., Belgiorno, V., & Naddeo, V. (2024). Revolutionizing wastewater treatment toward circular economy and carbon neutrality goals: Pioneering sustainable and efficient solutions for automation and advanced process control with smart and cutting-edge technologies. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 63). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105486>
- Cajas, M. et al. (2023). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales.
- Carrasquillo, Y. M. (2022). The Role and Process of Operationalization Within the Scientific Method. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4487158>
- Casas-Anguita, Repullo-Labrador, J. R., & Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención Primaria*, 31(8), 527–538. [https://doi.org/10.1016/s0212-6567\(03\)70728-8](https://doi.org/10.1016/s0212-6567(03)70728-8)
- Castelo-Grande, T., Augusto, P. A., Rico, J., Marcos, J., Iglesias, R., Hernández, L., & Barbosa, D. (2021). Magnetic water treatment in a wastewater treatment plant: Part II - Processing

- waters and kinetic study. *Journal of Environmental Management*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112177>
- Filali, H., Moussa, M., Barsan, N., Nedeff, V., Irimia, O., & Hachicha, M. (2025). A Cyclic Graywater Treatment Model for Sustainable Wastewater Management Applied in a Small Scale. *Applied Sciences*, 15(5), 2836. <https://doi.org/10.3390/app15052836>
- Fu, T., Liu, S., & Li, P. (2024). Digital twin-driven smelting process management method for converter steelmaking. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-024-02366-7>
- Hernández González, Osvaldo. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. <http://www.revmgi.sld.cu/index.php/mgi/article/view/907>
- Hernández Sampieri et al., R. (2014). *Metodologia_de_la_Investigacion_Sampieri*. Sexta Edición. https://www.academia.edu/24753853/Metodologia_de_la_Investigacion_Sampieri_6ta_edicion_
- Holloway, T. G., Williams, J. B., Ouelhadj, D., & Yang, G. (2021). Dynamic resilience for biological wastewater treatment processes: 1 interpreting data for process management and the potential for 2 knowledge discovery.
- Jesús Urdánigo-Cedeño III, J., Fabián Guevara-García, A. I., & Enmanuel Garcés-Bravo, J. I. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia. Núm. 1. Enero-Marzo, 8, 1165–1185. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i41.2546>
- Jjingi, H. E., Yazdi, S. K., Abakar, Y. A., & Etim, E. (2024). Evaluation of membrane bioreactor (MBR) technology for industrial wastewater treatment and its application in developing countries: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100886>
- Kumara, V., & Ganesan, E. (2024). A novel approach to wastewater treatment control: a self-organizing fuzzy sliding mode controller. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 13(3), 2796–2807. <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i3.pp2796-2807>

- Li, W., Li, Y., Li, D., & Zhou, J. (2024). A Multivariable Probability Density-Based Auto-Reconstruction Bi-LSTM Soft Sensor for Predicting Effluent BOD in Wastewater Treatment Plants. *Sensors*, 24(23). <https://doi.org/10.3390/s24237508>
- Li, Z., Feng, Z., Chen, M., Song, Y., Dai, Y., Mao, S., & Zhao, H. (2025). Cathode-mediated electrochemical conversion of phenol to benzoquinone in wastewater: High yield rate and low energy consumption. *Water Research*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122967>
- Lino-Gamarra et al. (2024). Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional process management model in the improvement of medical-legal services in a peruvian ministry of state. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14801802>
- Mahmoud et al. (2025). 978-3-0364-1812-4_a.
- Majka, M. (n.d.). Mastering Root Cause Analysis with the 5 Whys Method. <https://www.researchgate.net/publication/385047019>
- Muyulema-Allaica, J., Pucha-Medina, P., Muyulema-Allaica, C., Calderón-Pineda, F., Reyes-Soriano, F., & Calero-Mendoza, R. (2022). Global Corporate Performance Measurement Model Through the Integration of Six Sigma and Balanced Scorecard. Application in the Poultry Industry. *Communications in Computer and Information Science*, 1676 CCIS, 394–413. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20316-9_30
- Neelakandan, S., Rajasekhar Reddy, N. V., Ghfar, A. A., Pandey, S., Kiran, S., & Arasu, P. T. (2023). Internet of things with nanomaterials-based predictive model for wastewater treatment using stacked sparse denoising auto-encoder. *Water Reuse*, 13(2), 233–249. <https://doi.org/10.2166/wrd.2023.006>
- Pande, P., & Hambarde, B. (2024). Design of an improved process optimization model for enhancing the efficiency of the wastewater treatment process. *Water Practice and Technology*, 19(5), 1603–1614. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.112>
- Pillapa Ponluisa, J. D., López López, L., Yépez Intriago, A. C., & Navarro Peñaherrera, C. P. (2024). Evaluación de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de “El Corazón” del Cantón Pangua, Ecuador. *Revista Científica y Arbitrada Del Observatorio Territorial*,

Artes y Arquitectura: FINIBUS, 7(14), 155–164.
<https://doi.org/10.56124/finibus.v7i14.015>

Piñuela-Espín & Quito-Godoy et al. (2023). Los desafíos de la gestión por procesos en la era digital. Scielo.

Pulgarín, E. L., Marcela, D., & Gutiérrez, G. (2021). Gestión por procesos, un enfoque desde el factor “Recurso humano” en las organizaciones 1.

Riba-Campos et al. (2019). Métodos y diseños de investigación cualitativa y cuantitativa PID_00258440.

Seepma, S. Y. M. H., Koskamp, J. A., Colin, M. G., Chiou, E., Sobhan, R., Bögels, T. F. J., Bastiaan, T., Zamanian, H., Baars, E. T., de Moel, P. J., Wolthers, M., & Kramer, O. J. I. (2025). Mechanistic model advancements for optimal calcium removal in water treatment: Integral operation improvements and reactor design strategies. *Water Research*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122781>

Soto-Grant, A. (2022). La gestión por procesos como herramienta fundamental en el aseguramiento de la calidad de las carreras universitarias. *Actualidades Investigativas En Educación*, 22(2), 1–24. <https://doi.org/10.15517/aie.v22i2.48726>

Steinfeld, F., Kersten, A., Schabel, S., & Kerpen, J. (2025). Microplastics in German paper mills’ wastewater and process water treatment plants: Investigation of sources, removal rates, and emissions. *Water Research*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.123016>

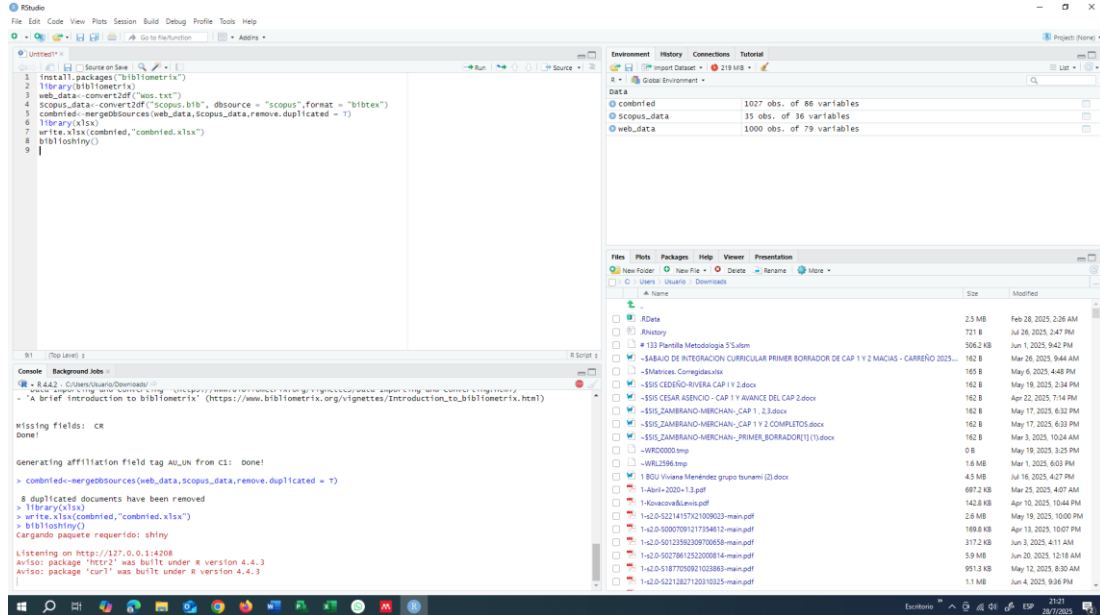
Suša Vugec, D., Bosilj Vukšić, V., Pejić Bach, M., Jaklič, J., & Indihar Štemberger, M. (2020). Business intelligence and organizational performance: The role of alignment with business process management. *Business Process Management Journal*, 26(6), 1709–1730. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-08-2019-0342>

Tabish, M., Tabinda, A. B., Mazhar, Z., Yasar, A., Ansar, J., & Wasif, I. (2024). Physical, chemical and biological treatment of textile wastewater for removal of dyes and heavy metals. *Desalination and Water Treatment*, 320. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100842>

- Timiraos, M., Díaz-Longueira, A., Jove, E., Fontenla-Romero, Ó., & Luis Calvo-Rolle, J. (2025). The Operational Nitrogen Indicator (ONI): An Intelligent Index for the Wastewater Treatment Plant's Optimization. <https://doi.org/10.3390/pr13072301>
- Ullah, M., Ippolito, N. M., Spera, L., & Vegliò, F. (2024). Treatment of wastewater produced during the hydrometallurgical extraction of silver from in-mold structural electronics. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100916>
- Ulusoy, A., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Jagosz, B., & Rolbiecki, S. (2024). Innovative Approaches for Sustainable Wastewater Resource Management. *Agriculture*, 14(12), 2111. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122111>
- Usman, I., Hartani, N. H., & Sroka, M. (2020). Operational performance of SME : the impact of entrepreneurial leadership, good governance and business process management. *Polish Journal of Management Studies*, 21(1), 408–418. <https://doi.org/10.17512/PJMS.2020.21.1.30>
- Vásquez et al. (2023). modelo de metodología para una investigación no experimental dra irene vasquez cruceta. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26602.90560>
- Wang, D., Thunéll, S., Lindberg, U., Jiang, L., Trygg, J., & Tysklind, M. (2022). Towards better process management in wastewater treatment plants: Process analytics based on SHAP values for tree-based machine learning methods. *Journal of Environmental Management*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113941>
- Won, Y., Kim, S., Park, K. J., & Eun, Y. (2021). Continuous productivity improvement using ioe data for fault monitoring: An automotive parts production line case study. *Sensors*, 21(21). <https://doi.org/10.3390/s21217366>
- Yagual, L., Reyes Soriano, F., Balón Ramos, I. del R., & Muyulema Allaica, J. (2022). Una revisión sistemática de los estudios sobre la ingeniería de métodos y la cadena de producción. 593 *Digital Publisher CEIT*, 7(4–2), 470–482. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.4-2.1272>
- Yang, K., Abu-Reesh, I. M., & He, Z. (2024). Domestic wastewater treatment towards reuse by “self-supplied” microbial electrochemical system assisted UV/H₂O₂ process. *Water Research*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122504>

ANEXOS

Anexo 1. Unión de base de datos (Web of Science y Scopus).



Nota. Datos obtenidos de RStudio.

El Anexo 1 ilustra la unión de las bases de datos en el software RStudio, el cual se enfatiza por eliminar los documentos duplicados en los motores de búsqueda identificados para revisar la información existente en base a las variables de estudio.

Anexo 2. Elaboración de gráficas en Biblioshiny.

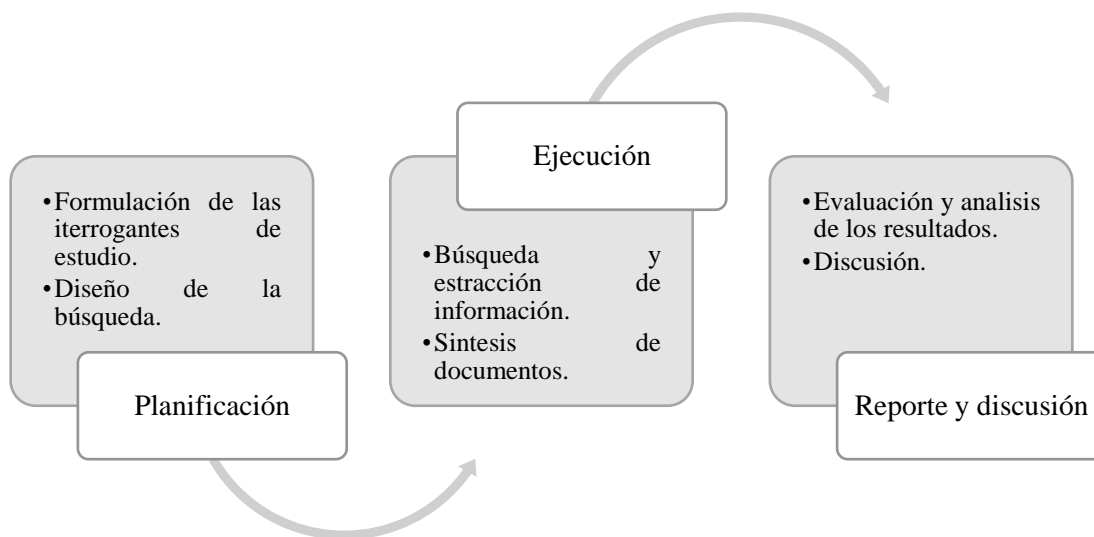
Metadata	Description	Missing Counts	Missing %	Status
AB	Abstract	0	0.00	Excellent
C1	Affiliation	0	0.00	Excellent
AU	Author	0	0.00	Excellent
RP	Corresponding Author	0	0.00	Excellent
DT	Document Type	0	0.00	Excellent
SO	Journal	0	0.00	Excellent
LA	Language	0	0.00	Excellent
PY	Publication Year	0	0.00	Excellent
TI	Title	0	0.00	Excellent
TC	Total Citation	0	0.00	Excellent
DI	DOI	1	0.10	Good
DE	Keywords	7	0.68	Good
WC	Science Categories	27	2.63	Good
ID	Keywords Plus	121	11.78	Acceptable
CR	Cited References	1027	100.00	Completeness missing

Nota. Obtenido del software Bibliometrix.

La grafica presenta el Anexo 2 con la complejidad de metadatos de 1.027 artículos los cuales fueron fusionados a partir de dos bases de datos, abarcando la proporción de campos faltantes en cada variable identificada para ser analizada.

Como se observa en el Anexo 3 los pasos a seguir para el proceso de revisión documental empleando el método bibliométrico, por ende, este proceso se divide en tres etapas principales como son; la planificación, ejecución y por último reporte y análisis de los hallazgos obtenidos.

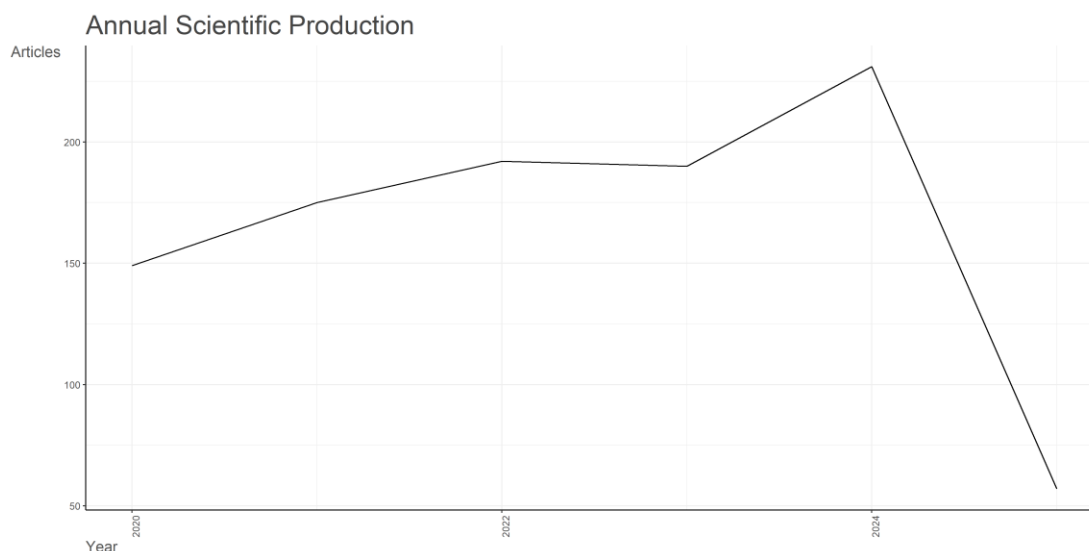
Anexo 3. Fases de la revisión bibliométrica.



Nota obtenido de la revisión literaria. Pasos de análisis bibliométrico en base a López-Sevilla & Medina-Chicaiza (2024).

Como se aprecia en el Anexo 4 que muestra a detalle los resultados tras analizar detalladamente un total de 1027 artículos seleccionados previamente para el estudio de la producción científica en el ámbito de gestión por procesos y tratamiento de aguas residuales, se concluye que en el año 2024 ha sido testigo del mayor número de contribuciones con un total de artículos 321. Posteriormente, en el año 2022 se registraron 192 artículos, seguido por el año 2023 con un aporte importante de 190 documentos y en el año 2021 con 175 artículos. Por último, se destaca un modesto numero de 149 y 57 documentos que emergieron entre los años 2020 y 2025.

Anexo 4. Artículos publicados por año.

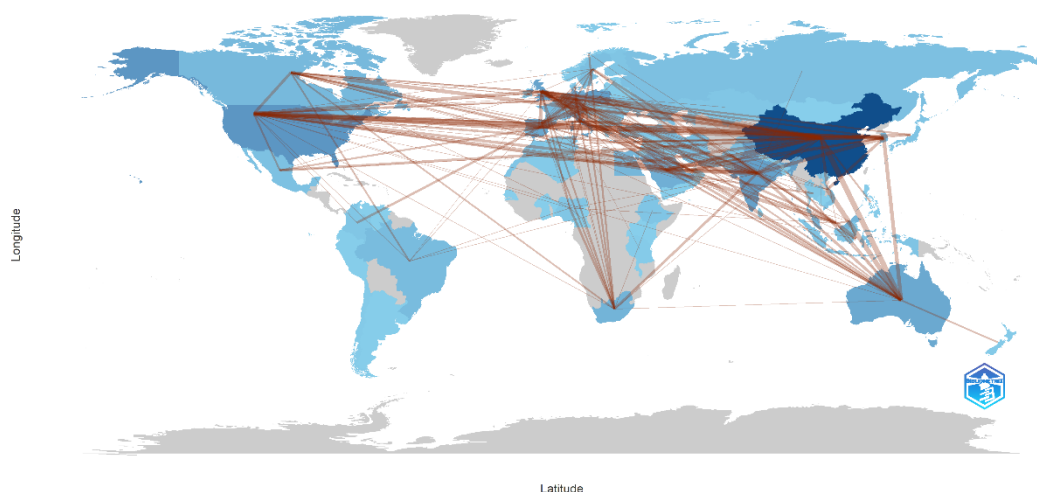


Nota. Número de documentos contribuyentes a la investigación.

Como se evidencia en el Anexo 5, el mapa evidencia la colaboración que existe entre países, donde se diferencian por sus tonalidades que representan la intensidad de aportación en redes internacionales. De tal manera, tenemos a China, Australia entre otros países europeos como Reino Unido y Alemania que se destacan por sus colores más oscuros, lo cual manifiesta una alta frecuencia de colaboración.

Anexo 5. Mapa de colaboración entre países.

Country Collaboration Map



Nota. Mapa de países contribuyentes a la investigación.

La representación gráfica de coocurrencia, ilustrada en el Anexo 6, despliega de manera integral las interconexiones y asociaciones entre las palabras clave coexistentes en los documentos examinados. En síntesis, esta visualización de la red de coocurrencia brinda una

(Holloway et al., 2021)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo, descriptivo.	Encuesta.	Cuestionario.
(Topalić Marković et al., 2021)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo, descriptivo.	Censo.	Cuestionario.
(Duarte et al., 2024)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo, descriptivo.	Análisis documental.	Revisión de datos.
(Wang et al., 2022)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo, descriptivo.	Encuesta.	Cuestionario.
(Lino-Gamarra et al., 2024)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo, no experimental.	Encuesta .	Cuestionario.
(Cabeza-García et al., 2022)	Modelo de gestión por procesos.	Exploratorio y descriptivo.	Observación.	Guía de observación.
(Piñuela-Espín & Quito-Godoy et al., 2023)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo.	Observación.	Guía de observación.
(Muyulema-Allaica et al., 2022)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo .	Entrevista.	Guía de entrevista.
(Fu et al., 2024)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo, no experimental.	Encuesta.	Cuestionario.
(Huldt-Navarro et al., 2024)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo, descriptivo y correlacional.	Encuesta.	Cuestionario.
(Soto-Grant, 2022)	Modelo de gestión por procesos.	Hermenéutico-dialéctico.	Censo.	Guía de censo.

(Pulgarín et al., 2021)	Modelo de gestión por procesos.	Cualitativo.	Encuesta.	Cuestionario.
(Suša Vugec et al., 2020)	Modelo de gestión por procesos.	Cuantitativo.	Encuesta.	Cuestionario.
(Usman et al., 2020)	Modelo de gestión por procesos.	Cualitativo.	Entrevista.	Cuestionario.
(Baarimah et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Cualitativo.	Observación directa.	Guía de observación.
(Alfonso et al., 2023)	Tratamiento de aguas residuales.	Cualitativo.	Entrevista.	Cuestionario.
(Cairone et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Cualitativo.	Entrevista.	Cuestionario.
(Velásquez et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Mixto.	Encuesta.	Cuestionario.
(Z. Li et al., 2025)	Tratamiento de aguas residuales.	Mixto.	Entrevista y encuesta.	Cuestionario.
(Gulshin & Kuzina, 2025)	Tratamiento de aguas residuales.	Cualitativo.	Encuesta.	Cuestionario.
(Steinfeld et al., 2025)	Tratamiento de aguas residuales.	Mixto, deductivo-inductivo.	Análisis de datos.	Hoja de registro.
(Castelo-Grande et al., 2021)	Tratamiento de aguas residuales.	Mixto, diseño experimental.	Entrevista.	Cuestionario.
(Neelakandan et al., 2023)	Tratamiento de aguas residuales.	Mixto, diseño experimental.	LoT.	Hoja de registro.
(Alnajjar & Üçüncü, 2023)	Tratamiento de aguas residuales.	Cuantitativo.	Entrevista.	Guía de entrevista.
(Mahmoud et al., 2025)	Tratamiento de aguas residuales.	Mixto, diseño experimental.	Encuesta.	Cuestionario.

(Seepma et al., 2025)	Tratamiento de aguas residuales.	Cualitativo.	Observación.	Guía de observación.
(Yang et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Mixto, descriptivo y correlacional.	Análisis documental.	Hoja de registro.
(Ullah et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Cuantitativo, descriptivo.	Censo.	Cuestionario.
(W. Li et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Cualitativo.	Encuesta.	Cuestionario.
(Jijingi et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Cualitativo.	Encuesta.	Cuestionario.
(Tabish et al., 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Cuantitativo.	Observación.	Guía de observación.
(Kumara & Ganesan, 2024)	Tratamiento de aguas residuales.	Cuantitativo.	Entrevista.	Guía de entrevista.

Nota. Documentos obtenidos durante el estudio.

Por otro lado, se evidencia en el Anexo 8 que los enfoques cuantitativos ejecutados por los autores se destacan con un aporte del 51 % a la indagación, asimismo tenemos los enfoques cualitativos con 27 %, seguido de los enfoques mixtos con un aporte de 22 %.

Anexo 8. Enfoques de investigación.

Enfoque de estudio	N.º de documentos	% de aportación al estudio
Cuantitativo	17	51%
Cualitativo	9	27%
Mixto	7	22%
TOTAL	33	100%

Nota. Documentos obtenidos mediante el análisis de documentos.

El Anexo 9 exhibe los métodos utilizados por los investigadores en sus documentos, por ende, se enfatiza que la metodología empleada donde sobresale el DMAIC con aporte al estudio

con el 35 %, conjuntamente asociado al lean manufacturing con el 23 %, seguida por el Six Sigma con un aporte del 19 %, entre otros.

Anexo 9. Metodologías utilizadas.

Metodologías	N.º de documentos	% de aportación al estudio
DMAIC	9	35 %
Lean manufacturing	6	23 %
Six Sigma	5	19 %
PHVA	3	12 %
Ingeniería de métodos	2	8 %
Kaizen	1	3 %
TOTAL	26	100 %

Nota: Metodologías obtenidas mediante el análisis de documentos.

Como se aprecia en el Anexo 10 las técnicas de recolección de datos con las cuales los diversos investigadores se adentraron para formular interrogantes que les ayude a estudiar una población objeto de estudio con la finalidad de tener datos verídicos donde la encuesta es la más mocionada con un 44 %, seguido de la entrevista con 28 %, además, de las observaciones directas y otras técnicas con un aporte del 19 % y 9 % respectivamente.

Anexo 10. Técnicas aplicadas por los autores.

Técnicas	N.º de documentos	% de utilización
Encuesta	14	44 %
Entrevista	9	28 %
Observación directa	6	19 %
Censo	3	9 %
TOTAL	32	100 %

Nota. Técnicas más empleadas en el estudio.

Tal como se visualiza en el Anexo 11 los instrumentos de recopilación de información que desarrollaron los investigadores donde se hace énfasis que el cuestionario es el más adecuado para la adaptación del estudio con el 47 %, de la misma manera tenemos la guía de

entrevista con un 28 %, consecuentemente la guía de observación con 19 % y, por último, tenemos las hojas de registro con un 6 % equivalentemente.

Anexo 11. Instrumentos empleados por los investigadores.

Instrumentos	N.º de artículos	% de utilización
Cuestionario	15	47 %
Guía de entrevista	9	28 %
Guía de observación	6	19 %
Hoja de registro	2	6 %
TOTAL	32	100 %

Nota. Instrumentos más utilizados en el estudio.




Anexo 12. Operacionalización de variables.

Variabl e	Definición conceptual	Definición operacional	Dimension es	Indicadores	Instrumentos
Gestió n por proces os	Es un enfoque de administración que organiza las actividades de la organización en procesos interrelacionados, con el objetivo de mejorar la eficiencia, calidad, y satisfacción del cliente mediante la identificación, documentación, gestión y mejora continua de los procesos.	Aplicación de metodologías y herramientas para identificar, analizar, diseñar, ejecutar, controlar y mejorar los procesos organizacionales para el logro de los objetivos estratégicos.	Identificaci ón de procesos. Diseño de procesos. Ejecución de procesos. Monitoreo y control de actividade s.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Existencia de mapa de procesos. ▪ Documentación de entradas, actividades y salidas. ▪ Claridad de roles. ▪ Cumplimiento de procedimientos establecidos. ▪ Capacitación personal en procesos. ▪ Medición de desempeño de procesos (KPI's) ▪ Reportes de desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Encuestas a empleados. ▪ Revisión documental (mapas de procesos, manuales, procedimientos). ▪ Listas de verificación.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Tratamiento de aguas residuales	Conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos destinados a remover contaminantes del agua residual, con el fin de cumplir normas ambientales y prevenir impactos negativos en la salud y el ecosistema.	Aplicación de operaciones y técnicas específicas (sedimentación, filtración, desinfección, lodos activados, etc.) para evaluar la eficiencia del sistema de depuración en función de parámetros de calidad del agua tratados en una planta o sistema experimental.	Eficiencia del proceso.	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento de materia prima. • de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) • Disminución de sólidos suspendidos totales. • Cumplimiento con límites normativos ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de observación técnica. • Registro de laboratorio • Check list de parámetros normativos. • Encuestas a operarios y supervisores. • Fichas de control de procesos.

Tal como se muestra en el Anexo 13, el formato de validación por medio de expertos en el tema el cual se encuentra acompañado por medio de una calificación haciendo referencia a la escala de Likert.

Anexo 13. Validación por expertos.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 																																																															
ASUNTO: VALIDACIÓN DE ENCUESTA POR EXPERTOS Opinión: Yo <u>Alex Andrés Arvelino Agüero</u> , con CI: <u>2450596123</u> , requerido por los estudiantes de Ingeniería Industrial, TOMALA VERA JULISSA con CI: 2450756191, SERPA ARREAGA RUBÉN DARÍO con CI:0922624804 para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los operadores de la empresa Aguapen EP dedicada a la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado, señalo lo siguiente:																																																															
 FIRMA																																																															
TEMA: MODELO DE GESTION POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES AGUAPEN EP, CANTON SANTA ELENA.																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">No.</th> <th style="width: 65%;">PREGUNTAS</th> <th style="width: 25%;">RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE LIKERT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>¿La empresa cuenta con procesos documentados para el tratamiento de aguas residuales?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>¿Existen diagramas de flujo que describan los procesos?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>¿Los procesos de la planta están estandarizados?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>¿El personal comprende y demuestra conocimiento de los procesos establecidos de manera efectiva?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>¿Se han determinados procesos críticos dentro del sistema de tratamiento?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>¿La empresa establece responsables directos en cada fase del tratamiento, certificando la trazabilidad, control y responsabilidad en la gestión de sus procesos?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>¿Se emplean indicadores de desempeño para comparar la eficiencia de los procesos?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>¿Se realiza la revisión y actualización de manera periódica para la adaptación a cambios operativos en la gestión interna?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>¿La comunicación interna mejora el cumplimiento de los procesos definidos?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>¿La organización dispone de mecanismos para monitorear y evaluar el cumplimiento de los procesos?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>¿Las etapas del tratamiento de aguas residuales se cumplen de acuerdo a lo estipulado por la normativa ambiental?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>¿Se ejecutan registros de los hallazgos en los análisis del agua tratada?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>¿Se aplica un control de calidad en cada etapa del tratamiento de aguas residuales?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>¿El personal a cargo del tratamiento está capacitado sobre normativas ambientales actualizadas?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>¿Se elaboran análisis de laboratorio del agua tratada?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>¿Se cuenta con protocolos de seguridad en la operación de la planta de tratamiento?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>¿Se emplean prácticas de mejora continua (PHVA) en el sistema de tratamiento?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>¿Se realiza mantenimiento preventivo programado en los equipos del sistema de tratamiento de aguas para garantizar su operación continua?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>¿Se llevan registros actualizados de la operación del sistema de tratamiento?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>¿Los residuos generados dentro del tratamiento son gestionados en relación a la normativa ambiental?</td> <td style="text-align: center;">1 2 3 4 5</td> </tr> </tbody> </table>	No.	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE LIKERT	1	¿La empresa cuenta con procesos documentados para el tratamiento de aguas residuales?	1 2 3 4 5	2	¿Existen diagramas de flujo que describan los procesos?	1 2 3 4 5	3	¿Los procesos de la planta están estandarizados?	1 2 3 4 5	4	¿El personal comprende y demuestra conocimiento de los procesos establecidos de manera efectiva?	1 2 3 4 5	5	¿Se han determinados procesos críticos dentro del sistema de tratamiento?	1 2 3 4 5	6	¿La empresa establece responsables directos en cada fase del tratamiento, certificando la trazabilidad, control y responsabilidad en la gestión de sus procesos?	1 2 3 4 5	7	¿Se emplean indicadores de desempeño para comparar la eficiencia de los procesos?	1 2 3 4 5	8	¿Se realiza la revisión y actualización de manera periódica para la adaptación a cambios operativos en la gestión interna?	1 2 3 4 5	9	¿La comunicación interna mejora el cumplimiento de los procesos definidos?	1 2 3 4 5	10	¿La organización dispone de mecanismos para monitorear y evaluar el cumplimiento de los procesos?	1 2 3 4 5	11	¿Las etapas del tratamiento de aguas residuales se cumplen de acuerdo a lo estipulado por la normativa ambiental?	1 2 3 4 5	12	¿Se ejecutan registros de los hallazgos en los análisis del agua tratada?	1 2 3 4 5	13	¿Se aplica un control de calidad en cada etapa del tratamiento de aguas residuales?	1 2 3 4 5	14	¿El personal a cargo del tratamiento está capacitado sobre normativas ambientales actualizadas?	1 2 3 4 5	15	¿Se elaboran análisis de laboratorio del agua tratada?	1 2 3 4 5	16	¿Se cuenta con protocolos de seguridad en la operación de la planta de tratamiento?	1 2 3 4 5	17	¿Se emplean prácticas de mejora continua (PHVA) en el sistema de tratamiento?	1 2 3 4 5	18	¿Se realiza mantenimiento preventivo programado en los equipos del sistema de tratamiento de aguas para garantizar su operación continua?	1 2 3 4 5	19	¿Se llevan registros actualizados de la operación del sistema de tratamiento?	1 2 3 4 5	20	¿Los residuos generados dentro del tratamiento son gestionados en relación a la normativa ambiental?	1 2 3 4 5
No.	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE LIKERT																																																													
1	¿La empresa cuenta con procesos documentados para el tratamiento de aguas residuales?	1 2 3 4 5																																																													
2	¿Existen diagramas de flujo que describan los procesos?	1 2 3 4 5																																																													
3	¿Los procesos de la planta están estandarizados?	1 2 3 4 5																																																													
4	¿El personal comprende y demuestra conocimiento de los procesos establecidos de manera efectiva?	1 2 3 4 5																																																													
5	¿Se han determinados procesos críticos dentro del sistema de tratamiento?	1 2 3 4 5																																																													
6	¿La empresa establece responsables directos en cada fase del tratamiento, certificando la trazabilidad, control y responsabilidad en la gestión de sus procesos?	1 2 3 4 5																																																													
7	¿Se emplean indicadores de desempeño para comparar la eficiencia de los procesos?	1 2 3 4 5																																																													
8	¿Se realiza la revisión y actualización de manera periódica para la adaptación a cambios operativos en la gestión interna?	1 2 3 4 5																																																													
9	¿La comunicación interna mejora el cumplimiento de los procesos definidos?	1 2 3 4 5																																																													
10	¿La organización dispone de mecanismos para monitorear y evaluar el cumplimiento de los procesos?	1 2 3 4 5																																																													
11	¿Las etapas del tratamiento de aguas residuales se cumplen de acuerdo a lo estipulado por la normativa ambiental?	1 2 3 4 5																																																													
12	¿Se ejecutan registros de los hallazgos en los análisis del agua tratada?	1 2 3 4 5																																																													
13	¿Se aplica un control de calidad en cada etapa del tratamiento de aguas residuales?	1 2 3 4 5																																																													
14	¿El personal a cargo del tratamiento está capacitado sobre normativas ambientales actualizadas?	1 2 3 4 5																																																													
15	¿Se elaboran análisis de laboratorio del agua tratada?	1 2 3 4 5																																																													
16	¿Se cuenta con protocolos de seguridad en la operación de la planta de tratamiento?	1 2 3 4 5																																																													
17	¿Se emplean prácticas de mejora continua (PHVA) en el sistema de tratamiento?	1 2 3 4 5																																																													
18	¿Se realiza mantenimiento preventivo programado en los equipos del sistema de tratamiento de aguas para garantizar su operación continua?	1 2 3 4 5																																																													
19	¿Se llevan registros actualizados de la operación del sistema de tratamiento?	1 2 3 4 5																																																													
20	¿Los residuos generados dentro del tratamiento son gestionados en relación a la normativa ambiental?	1 2 3 4 5																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Escala de Likert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 5%;">5</td> <td>Muy de acuerdo</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>De acuerdo</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>En desacuerdo</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>En desacuerdo más que en acuerdo</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Muy en desacuerdo</td> </tr> </tbody> </table>	Escala de Likert		5	Muy de acuerdo	4	De acuerdo	3	En desacuerdo	2	En desacuerdo más que en acuerdo	1	Muy en desacuerdo	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS DEL EXPERTO:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">NOMBRE:</td> <td>Alex Arvelino Agüero</td> </tr> <tr> <td>PROFESIÓN:</td> <td>Ingeniería Agropecuaria</td> </tr> <tr> <td>AÑOS DE EXPERIENCIA:</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>TELÉFONO:</td> <td>0960828002</td> </tr> <tr> <td>CORREO:</td> <td>arvelino@aguapen.gub.ec</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE VALIDACION:</td> <td>Mar 14, 09 de Septiembre del 2025</td> </tr> </tbody> </table>	DATOS DEL EXPERTO:		NOMBRE:	Alex Arvelino Agüero	PROFESIÓN:	Ingeniería Agropecuaria	AÑOS DE EXPERIENCIA:	2	TELÉFONO:	0960828002	CORREO:	arvelino@aguapen.gub.ec	FECHA DE VALIDACION:	Mar 14, 09 de Septiembre del 2025																																				
Escala de Likert																																																															
5	Muy de acuerdo																																																														
4	De acuerdo																																																														
3	En desacuerdo																																																														
2	En desacuerdo más que en acuerdo																																																														
1	Muy en desacuerdo																																																														
DATOS DEL EXPERTO:																																																															
NOMBRE:	Alex Arvelino Agüero																																																														
PROFESIÓN:	Ingeniería Agropecuaria																																																														
AÑOS DE EXPERIENCIA:	2																																																														
TELÉFONO:	0960828002																																																														
CORREO:	arvelino@aguapen.gub.ec																																																														
FECHA DE VALIDACION:	Mar 14, 09 de Septiembre del 2025																																																														

Nota. Elaborado por los autores.

Conforme a la representación gráfica, se visualiza el cumplimiento de la encuesta a los trabajadores de Aguape EP, que se desarrolló en cada uno de los departamentos u oficinas respectivamente.

Anexo 14. Encuesta a trabajadores de Aguapen EP.



Nota. Elaborado por los autores.

A continuación, se presenta el Anexo 15, que es el cuestionario compuesto por 20 ítems con opciones de respuesta de “Si, No y Tal vez”, dirigido a los operadores de la empresa para recabar la información necesaria, donde con amabilidad de ejecuto este proceso de forma minuciosa de los datos adyacentes para encontrar la necesidad del estudio.

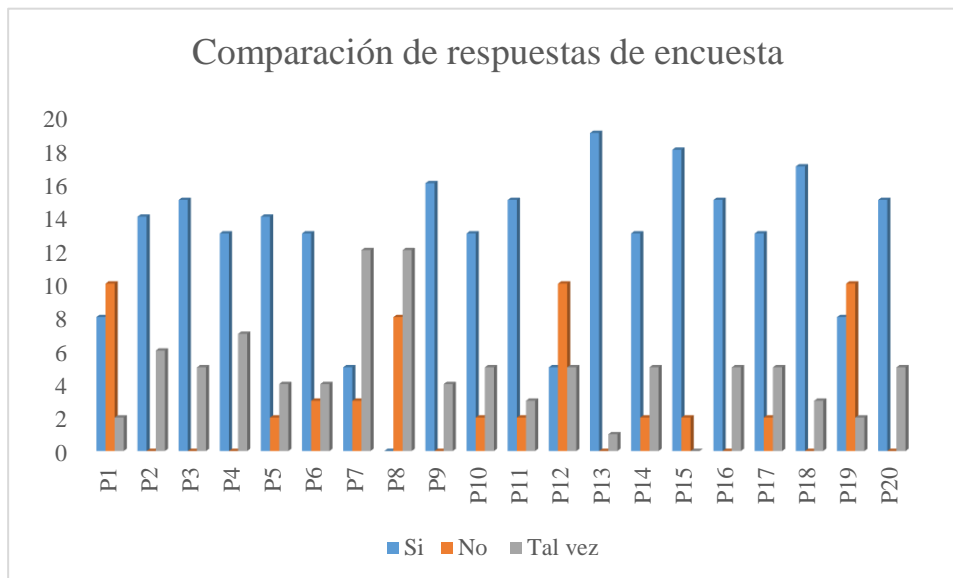
Anexo 15. Cuestionario de preguntas dirigida a los operadores.

CUESTIONARIO DE RECOLECCION DE DATOS				
Área de Producción				
Nombre: <i>Nelson William Hidalgo</i>		Cédula: <i>0916091291</i>		
Sexo: Masculino (<input checked="" type="checkbox"/>) Femenino ()		Edad: <i>(51)</i>		
Instrucciones: Estimado(a) trabajador, que opina sobre la mejora del proceso de tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de un modelo de gestión por procesos				
Marca solo una puntuación de la escala que crees que cumple por cada ítem				
Variable / Dimensiones / Indicadores / Ítems	Opciones de respuesta			
	1 Si	2 No	3 Tal vez	
Variables: Modelo de gestión por procesos y tratamiento de aguas residuales				
1	¿La empresa cuenta con procesos documentados para el tratamiento de aguas residuales?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
2	¿Existen diagramas de flujo que describan los procesos?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
3	¿Los procesos de la planta están estandarizados?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
4	¿El personal comprende y demuestra conocimiento de los procesos establecidos de manera efectiva?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
5	¿Se han determinados procesos críticos dentro del sistema de tratam	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
6	¿La empresa establece responsables directos en cada fase del tratamiento, certificando la trazabilidad, control y responsabilidad	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
7	¿Se emplean indicadores de desempeño para comparar la eficiencia de los procesos?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
8	¿Se realiza la revisión y actualización de manera periódica para la adaptación a cambios operativos en la gestión interna?	Diaria	Semanal	Mensual <input checked="" type="checkbox"/>
9	¿La comunicación interna mejora el cumplimiento de los procesos definidos?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
10	¿La organización dispone de mecanismos para monitorear y evaluar el cumplimiento de los procesos?	Totalmente	Parcialmente <input checked="" type="checkbox"/>	En proceso
11	¿Las etapas del tratamiento de aguas residuales se cumplen de acuerdo a lo estipulado por la normativa ambiental?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
12	¿Se ejecutan registros de los hallazgos en los análisis del agua tratada?	Menos del 50%	Entre 50 % y 74% <input checked="" type="checkbox"/>	Entre 75% y 99%
13	¿Se aplica un control de calidad en cada etapa del tratamiento de aguas residuales?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
14	¿El personal a cargo del tratamiento está capacitado sobre normativas ambientales actualizadas?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
15	¿Se elaboran análisis de laboratorio del agua tratada?	Siempre <input checked="" type="checkbox"/>	A veces	Nunca
16	¿Se cuenta con protocolos de seguridad en la operación de la planta de tratamiento?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
17	¿Se emplean prácticas de mejora continua (PHVA) en el sistema de tratamiento?	Totalmente	Parcialmente <input checked="" type="checkbox"/>	En proceso
18	¿Se realiza mantenimiento preventivo programado en los equipos del sistema de tratamiento de aguas para garantizar su operación	Siempre <input checked="" type="checkbox"/>	A veces	Nunca
19	¿Se llevan registros actualizados de la operación del sistema de tratamiento?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3
20	¿Los residuos generados dentro del tratamiento son gestionados en relación a la normativa ambiental?	1 <input checked="" type="checkbox"/>	2	3

Nota. Elaborado por los autores.

El Anexo 16, muestra una gráfica de barras donde se describen las comparaciones entre las 20 veinte preguntas dirigidas al personal de la empresa para recopilar la información necesaria, la cual nos ayudó a delimitar el problema adyacente en la empresa.

Anexo 16. Comparación de resultados de la encuesta.



Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 32. Resumen y análisis de cada ítem.

Ítems	Resultados
P1	La empresa cuenta con procesos documentados la cual representa un 100 % de las personas encuestadas están seguras de que si existe una información documentada de los procesos para el tratamiento de aguas residuales.
P2	El total de los empleados respondieron con un porcentaje del 70 % que, si existen diagramas de flujos del proceso, consecutivamente el 30 % de las personas restantes alega que tal vez exista información.
P3	Los encuestados ratifican que los procesos de la planta de tratamiento de agua están estandarizados, mientras que un leve porcentaje del 25 % abarca que tal vez se encuentren en proceso.
P4	Los criterios de respuesta a la interrogante si el personal tiene conocimiento detallado de los procesos de forma eficiente, en el cual la mayoría con un 65 % demuestran amplios conocimientos y solo un 35 % esta tal vez orientado a los procesos.

-
- P5 Los trabajadores determinan que el 70 % de los procesos han determinado procesos críticos dentro del sistema de tratamiento de agua, posteriormente con el 20 % y 10 % mencionan que tal vez o que no se hayan encontrado procesos críticos en la operación.
- P6 La compañía establece roles por cada etapa del tratamiento donde los operarios respondieron con un 65 % que, si existen trazabilidad, control y responsabilidades en el proceso de gestión, mientras tanto con el 20 % dice que tal vez están asignados responsables y en con el 15 % enfatiza que no existe tal cosa.
- P7 La empresa emplea indicadores de desempeño donde los operadores encuestados mencionan que con 60 % que tal vez existan indicadores para medir la eficiencia del proceso y con un 25 % que, si los utilizan, y un 15 % no conoce acerca de estos indicadores.
- P8 Los operarios mencionan que la revisión y actualización de cambios operativos se realiza mensualmente con un aporte del 60 %, por otro lado, con un 40 % realizan la revisión de manera semanal, solo a aspectos que necesiten mayor seguimiento.
- P9 La comunicación interna mejora detalladamente el cumplimiento de los procesos establecidos con un 80 % si beneficia este proceso, además, el 20 % de los trabajadores manifiestan que tal vez exista una mejora.
- P10 La organización dispone de mecanismos para monitorear y evaluar los procesos donde el 65 % de los encuestados están totalmente de acuerdo que, si existe, pero con otros criterios detallan que están en un 25 % en proceso, y finalmente, solo un 10 % esta parcialmente cumpliendo estos datos.
- P11 El análisis de cumplimiento en base a la normativa demuestra que el 75 % tal vez cumple con las fases adecuadas del tratamiento de aguas residuales según la norma vigente, mientras que el 15 % indica una incertidumbre, además con un 10 % si cumple las especificaciones, reflejando deficiencias y a la vez sugiere la necesidad de aclarar la documentación en áreas o control operativo más preciso y sistemático.
- P12 La evaluación de los registros indica que el 50 % en su mayoría de los casos los resultados se ejecutan entre un 50 % a 74 %, mostrando un cumplimiento constante. Por lo tanto, se registra con un 25 % evidenciando déficit significativo, mientras que con un 25% alcanza
-

	estándares de 75 % y 98 % de registro detallados de los análisis del agua tratada.
P13	Bajo el análisis de los operadores en primera instancia, tenemos con un 95 % de los casos efectúan control de calidad en cada fase del tratamiento de agua residuales, lo que resalta que existe un déficit de los datos.
P14	Los hallazgos obtenidos, considerando la encuesta aplicada a los operadores, indica que el 65 % del personal se encuentra capacitado en base a normativas ambientales vigentes. Sin embargo, un 10 % no cuenta con la respectiva capacitación, lo que genera una brecha, mientras que un 25 % alega que tal vez, lo que alega una actualización de conocimientos a todo el personal.
P15	Los resultados enfatizan que el 90 % de los trabajadores siempre ejecuta análisis de laboratorio del agua tratada, dejando a consideración que un 10% lo hace de vez en cuando.
P16	La encuesta evidencia que la mayoría del personal con un 75 % ratifica la existencia de protocolos de seguridad bajo la operación de planta, lo que indica un entorno orientado y establecido a la prevención de riesgos, aunque un 25 % sugiere brechas en el conocimiento de diversos procesos, señalando la necesidad de reforzar la comunicación y capacitación interna del personal.
P17	La empresa aplica un método para lograr la mejora continua de los procesos de tratamiento lo que presenta un 65 % del personal aludieron que sí, consecutivamente, el 25 % describe que están en proceso, por último, con un 10 % aseguran estar parcialmente adaptando mejora con el ciclo PHVA.
P18	La empresa realiza mantenimiento preventivo a los equipos del sistema de tratamiento de aguas donde con un 85 % respondieron que siempre se efectúa una inspección de los sistemas y con el 15 % aportan que no se desarrolla ningún mantenimiento previo a las máquinas.
P19	La organización lleva registros actualizados de la operación donde el personal describe con un 50 % que no se actualiza dicha información, seguido del 40 % que responde que si existe un registro diario de la operación y con un 10 % tal vez hagan una ficha actualizada de los procesos.

P20 El 75 % de los encuestados menciona que los residuos si son tratados y revisados bajo la normativa ambiental, también con un 25 % certifican que tal vez, los residuos generados son gestionados correspondiente en parámetros normativos.

Anexo 17. Compilación de información del instrumento.

*Encuesta Tomala- Serpa.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	P1	Númérico	8	0	¿La empresa c...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
2	P2	Númérico	8	0	¿Existen diagra...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
3	P3	Númérico	8	0	¿Los procesos ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
4	P4	Númérico	8	0	¿El personal co...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
5	P5	Númérico	8	0	¿Se han deter...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
6	P6	Númérico	8	0	¿La empresa e...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
7	P7	Númérico	8	0	¿Se emplean in...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
8	P8	Númérico	8	0	¿Se realiza la r...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
9	P9	Númérico	8	0	¿La comunicac...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
10	P10	Númérico	8	0	¿La organizaci...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
11	P11	Númérico	8	0	¿Las etapas de...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
12	P12	Númérico	8	0	¿Se ejecutan r...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
13	P13	Númérico	8	0	¿Se aplica un c...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
14	P14	Númérico	8	0	¿El personal a ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
15	P15	Númérico	8	0	¿Se elaboran a...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
16	P16	Númérico	8	0	¿Se cuenta co...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
17	P17	Númérico	8	0	¿Se emplean p...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
18	P18	Númérico	8	0	¿Se realiza ma...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
19	P19	Númérico	8	0	¿Se llevan regi...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
20	P20	Númérico	8	0	¿Los residuos ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
21	VI	Númérico	8	2		Ninguno	Ninguno	10	Derecha	Ordinal	Entrada
22	VD	Númérico	8	2		Ninguno	Ninguno	10	Derecha	Ordinal	Entrada

Nota. Elaborado por los autores.

Como se aprecia en el Anexo 17 la compilación de las preguntas relacionadas a las variables de estudio para su posterior evaluación de los resultados obtenidos mediante la ejecución de la encuesta en la empresa Aguapen EP.

Anexo 18. Fiabilidad de instrumento y encuesta.

VALIDACIÓN DE EXPERTO	PREGUNTAS																				SUMATORIA
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	
E1	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	96
E2	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	96
E3	4	5	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	5	4	4	4	84
E4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	80
E5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	96
PROMEDIO	4,4	4,6	4,4	4,6	4,4	4,6	4,4	4,6	4,6	4,4	4,6	4,4	4,6	4,4	4,6	4,4	4,6	4,6	4,6	4,6	
VALIDACIÓN (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
Varianza	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
Sumatoria de varianza	4,8																				
Varianza de preguntas	48,64																				

k	20
S.V	4,8
V.T	48,64

alfa	0,949
------	-------

Fiabilidad

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

Casos	N		%	
	Válido	Excluido ^a		
	20	0	100,0	,0
Total	20		100,0	

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,755	20

Nota. Elaborado por los autores.

El Anexo 18 muestra la compilación de las variables en IBM SPSS Statistics, donde se visualizan los resultados de entre las variables (VI y VD), acompañadas del nivel de significancia bilateral y tamaño de muestra, por consiguiente, se detalla el estudio de fiabilidad mediante alfa de Cronbach y estadísticas asociadas.

Anexo 19. Estación de bombeo de agua residual.



Anexo 20. Lagunas de oxidación.

