



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

“ESTUDIO TÉCNICO DEL MÓDULO POTABILIZADOR DE AGUA PARA LA
EFICIENCIA OPERATIVA EN AGUAPEN EP, PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN
SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR

SUÁREZ RAMOS EMILIO JAVIER

TUTOR

ING. MUÑOZ BRAVO RICHARD EDINSON, Mgtr.

La Libertad, Ecuador

2025

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

TEMA:

“ESTUDIO TÉCNICO DEL MÓDULO POTABILIZADOR DE AGUA PARA LA EFICIENCIA OPERATIVA EN AGUAPEN EP, PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

SUÁREZ RAMOS EMILIO JAVIER

TUTOR

ING. MUÑOZ BRAVO RICHARD EDINSON, Mgtr

La Libertad, Ecuador

2025

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Suárez Ramos Emilio Javier**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

TUTOR

f. 

Ing. Muñoz Bravo Richard Edinson, Mgtr.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. 

Ing. Balón Ramos Isabel Del Rocío, Mgtr.

La Libertad, a los 7 días del mes de julio del año 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación "Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en Aguapeñ EP, parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena", elaborado por el Sr. Suárez Ramos Emilio Javier, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

Ing. Muñoz Bravo Richard Edinson, Mgtr.

La Libertad, a los 7 días del mes de julio del año 2025

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Suárez Ramos Emilio Javier**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, "**Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en Aguapen EP, parroquia Atahualpa, 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 mi total autoría.

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

La Libertad, a los 7 días del mes de julio del año 2025

EL AUTOR

f.



Suárez Ramos Emilio Javier

AUTORIZACIÓN

Yo, Suárez Ramos Emilio Javier

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **“Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en Aguapen EP, parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 7 días del mes de julio del año 2025

EL AUTOR:

f.



Suárez Ramos Emilio Javier

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

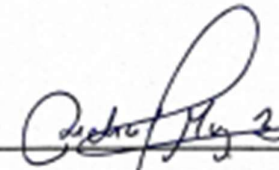
En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema "ESTUDIO TÉCNICO DEL MÓDULO POTABILIZADOR DE AGUA PARA LA EFICIENCIA OPERATIVA EN AGUAPEN EP, PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN SANTA ELENA" elaborado por el Sr. SUÁREZ RAMOS EMILIO JAVIER, egresado de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el Software antiplagio: Compilatio Magíster, 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,

FIRMA DEL TUTOR

f. 
Ing. Muñoz Bravo Richard Edinson, Mgtr.

Certificado

de gramática

Santa Elena, 23 de junio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magíster en Educación Básica, con registro de la **SENECYT N° 1023-2024-2904505** por medio del presente certifico que:

Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado **“ESTUDIO TÉCNICO DEL MÓDULO POTABILIZADOR DE AGUA PARA LA EFICIENCIA OPERATIVA EN AGUAPEN EP, PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN SANTA ELENA”** elaborado por el estudiante **EMILIO JAVIER SUÁREZ RAMOS** en su opción al título de **INGENIERO INDUSTRIAL** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



Firmado electrónicamente por:
**MONICA ISABEL
PAREDES CASTRO**

Validar electrónicamente con FirmADIC

Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría empezar agradeciendo en primer lugar a Dios por brindarme esta oportunidad de lograr este objetivo de vida, a mi familia que siempre estuvo pendiente de mi proceso universitario y me brindó ese apoyo alentador para seguir, a mis padres Pablo Suárez y Ana Ramos que fueron el pilar fundamental de motivación y apoyo incondicional, a mi abuela por el cual me brindó consejos y aliento para seguir adelante como mi segunda madre y por confiar en mi destreza de poder lograr esta meta, a mi tío David Suárez quien estuvo como un amigo en ayudarme cuando lo necesitaba. Finalmente, a los ingenieros Juan Carlos Muyulema, Edison Buenaño, Homero León y mi tutor Richard Muñoz por su guía para la elaboración de esta investigación.

Emilio Javier Suárez Ramos

DEDICATORIA


El presente proyecto de investigación se lo dedico a Dios quien me ha guiado por el buen camino, me ha dado la fuerza y sabiduría para lograr este objetivo y sobre todo a mi amada abuela Ninfa Rivera quien estuvo como mi mayor pilar de motivación. A mis padres Pablo Suárez y Ana Ramos que con sus sacrificios y enseñanzas me han dado lo necesario para alcanzar mi meta. A mis hermanos Emily y Santiago que esperaron que su hermano mayor les llene de orgullo y sea su motivación en sus logros. A mis docentes, cuyo conocimiento y guía fueron esenciales para la realización de este trabajo.

Emilio Javier Suárez Ramos

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Balón Ramos Isabel Del Rocío, Mgtr.
DIRECTORA DE CARRERA

f. 
Ing. Herrera Brunett Gerardo Antonio, PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Muñoz Bravo Richard Edinson, Mgtr.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Sosa Bueno Graciela Celedonia, PhD.
DOCENTE DE LA UIC

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	v
AUTORIZACIÓN.....	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DEDICATORIA.....	x
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	xi
ÍNDICE GENERAL.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLAS DE SÍMBOLOS	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Antecedentes investigativos	4
1.2 Estado del arte	5
1.3 Fundamentos teóricos.....	16
CAPÍTULO II	19
MARCO METODOLÓGICO	19
2.1 Enfoque de investigación.....	19
2.2 Diseño de investigación.....	19
2.3 Procedimiento metodológico.....	20
2.4 Población y muestra.....	23
2.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	25
2.6 Variables del estudio.	29
2.7 Procedimiento para la recolección de los datos.....	29
2.8 Plan de análisis e interpretación de resultados.	30
CAPÍTULO III	32

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1 Descripción de la empresa.....	32
3.2 Marco de resultados.....	34
3.3 Planteamiento de hipótesis.	42
3.4 Estudio Técnico.	44
3.5 Propuesta.	70
3.6 Discusión.	88
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos para la RSL.	5
Tabla 2. Preguntas de investigación.	5
Tabla 3. Cadena de búsqueda en bases de datos web.	7
Tabla 4. Base de datos de la literatura.	7
Tabla 5. Artículos seleccionados para RSL.	12
Tabla 6. Población de estudio de la planta potabilizadora Atahualpa.	24
Tabla 7. Muestra de estudio.	24
Tabla 8. Plan para la recolección de datos.	29
Tabla 9. Plan de análisis e interpretación de datos.	31
Tabla 10. Datos generales de la empresa.	32
Tabla 11. Valoración de procesamiento de datos.	35
Tabla 12. Valoración alfa de Cronbach.	35
Tabla 13. Valor Kaiser – Meyer – Olkin (KMO).	36
Tabla 14. Prueba de KMO y Bartlett.	36
Tabla 15. Estadísticos de prueba Kendall.	37
Tabla 16. Tabulación de matriz general.	37
Tabla 18. Resultados de entrevista.	40
Tabla 19. Coeficiente de correlación de Pearson.	43
Tabla 20. Capacidad de procesamiento de agua planta Atahualpa.	46
Tabla 21. Método cualitativo por puntos.	48
Tabla 22. Área de distribución de planta.	49
Tabla 23. Proyección de demanda 2025.	52
Tabla 24. Proyección de demanda a futuro.	53
Tabla 25. Disponibilidad de insumos.	54
Tabla 26. Costo de los insumos.	55
Tabla 27. Análisis de turbidez por proceso.	61
Tabla 28. Especificaciones técnicas de las bombas.	64
Tabla 29. Identificación de equipos de alto consumo.	65
Tabla 30. Organización del recurso humano.	68
Tabla 31. Producción de agua potable en el año 2024.	70
Tabla 32. Descripción de estación de bombeo agua cruda.	71
Tabla 33. Código de cercanía.	76
Tabla 34. Código de razones.	76
Tabla 35. Plan de mantenimiento preventivo del módulo a implementar.	82
Tabla 36. Cronograma de Capacitación.	82
Tabla 37. Análisis comparativo.	84
Tabla 38. Cronograma de implementación de MPA 3 y 4.	85
Tabla 39. Ingresos de Aguapen EP Año 2024.	85
Tabla 40. Presupuesto del proyecto por módulo potabilizador.	86
Tabla 41. Cálculo del flujo de fondo.	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Síntesis de los pasos a seguir en la RSL con metaanálisis.	6
Figura 2. Listado de palabras claves ordenadas.	7
Figura 3. Red de palabras claves.	8
Figura 4. Criterios de inclusión y exclusión.	9
Figura 5. Diagrama de flujo de acuerdo con lo decretado en la declaración PRISMA.	9
Figura 6. Tendencia de los artículos publicados.	12
Figura 7. Protocolo para estudio técnico en proyecto de inversión.	15
Figura 8. Diagrama de flujo de una PTAP.	17
Figura 9. Diseño de la investigación.	20
Figura 10. Diseño de proceso metodológico.	21
Figura 11. Proceso de la recolección de datos.	25
Figura 12. Fases de la metodología para la validación de instrumentos.	26
Figura 13. Criterios de inclusión y exclusión para expertos.	27
Figura 14. Logo de Aguapen EP.	32
Figura 15. Estructura organizacional de Aguapen EP.	33
Figura 16. Cadena de suministro del módulo potabilizador de agua de Aguapen EP.	45
Figura 17. Módulos de potabilización de agua.	46
Figura 18. Ubicación geográfica planta Aguapen EP.	47
Figura 19. Distribución de planta actual.	50
Figura 20. Factores que determinan o condicionan el tamaño de la planta.	50
Figura 21. Proyección de demanda actual.	53
Figura 22. Proyección de demanda futura.	54
Figura 23. Diagrama de flujo del proceso de producción de Aguapen EP.	56
Figura 24. Diagrama de operaciones de procesos de Aguapen EP.	57
Figura 25. Procedimiento en el análisis de agua potable.	59
Figura 26. Estructura organizacional de la planta Aguapen EP.	68
Figura 27. Diagrama de flujo de los procesos que intervienen en el MPA.	74
Figura 28. Diagrama de relación de actividades del área de producción.	77
Figura 29. Diagrama de hilos.	77
Figura 30. Diagrama adimensional de bloques.	78
Figura 31. Lyout de MPA.	79
Figura 32. MPA3 – Secciones 1-1 y 1-2.	80
Figura 33. Decantadores -MPA3.	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de recolección de datos.	102
Anexo 2 Representación Gráfica de la Pregunta 1	103
Anexo 3 Representación Gráfica de la Pregunta 2	103
Anexo 4 Representación Gráfica de la Pregunta 3	103
Anexo 5 Representación Gráfica de la Pregunta 4	104
Anexo 6 Representación Gráfica de la Pregunta 5	104
Anexo 7 Representación Gráfica de la Pregunta 6	104
Anexo 8 Representación Gráfica de la Pregunta 7	105
Anexo 9 Representación Gráfica de la Pregunta 8	105
Anexo 10 Representación Gráfica de la Pregunta 9	105
Anexo 11 Representación Gráfica de la Pregunta 10	106
Anexo 12 Representación Gráfica de la Pregunta 11	106
Anexo 13 Representación Gráfica de la Pregunta 12	106
Anexo 14 Representación Gráfica de la Pregunta 13	107
Anexo 15 Representación Gráfica de la Pregunta 14	107
Anexo 16 Representación Gráfica de la Pregunta 15	107
Anexo 17 Representación Gráfica de la Pregunta 16	108
Anexo 18. Calificación de expertos.	108
Anexo 19. Ficha de validación por juicio de expertos.....	111
Anexo 20. Check List de verificación de cumplimiento.....	115
Anexo 21. Lyout de planta de Atahualpa.....	116
Anexo 22. Lyout de implementación de MPA-3.	117
Anexo 23. Lyout de MPA 1 y 2 de planta. Atahualpa	117
Anexo 24. Recolección de datos en la planta.....	118

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLAS DE SÍMBOLOS

MPA = Módulo potabilizador de agua.

PRISMA = Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses.

RSL = Revisión sistemática de la literatura.

OMS = Organización Mundial de la Salud.

KMO = Kaiser-Meyer-Okin.

CCK = Coeficiente de concordancia Kendall.

PAC = Policloruro de aluminio.

pH = Potencial de hidrógeno.

PTAP = Planta de tratamiento de agua potable.

INEN = Servicio ecuatoriano de normalización.

NTU = Unidad nefelométrica de turbidez.

NMP = Número más probable, en contexto microbiológico.

μ S = Microsegundo.

SLP = Planeación sistemática de la distribución.

Δ P = Diferencia de presión.

mA = Miliamperios.

PLC = Controlador lógico programable.

HMI = Interfaz hombre – máquina.

kVA = Kilovoltio – amperio.

Hz = Hercio.

VAN = Valor actual neto.

TIR = Tasa interna de retorno.

PR = Período de recuperación.

“ESTUDIO TÉCNICO DEL MÓDULO POTABILIZADOR DE AGUA PARA LA EFICIENCIA OPERATIVA EN “AGUAPEN EP”, PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN SANTA ELENA”

Autor: Suárez Ramos Emilio Javier

Tutor: Ing. Richard Muñoz Bravo, Mgtr.

RESUMEN

Actualmente, la península de Santa Elena presenta una demanda del recurso hídrico vital para la vida cotidiana con respecto a esto últimos años. Ante esta situación, el presente estudio tiene como objetivo evaluar los módulos potabilizadores de agua existentes en la empresa, ubicada en la parroquia Atahualpa, Santa Elena, mediante un estudio técnico, que permita el diseño de un nuevo módulo potabilizador, mejorando la eficiencia operativa y el cumplimiento de la demanda. El marco teórico empleó una revisión rigurosa mediante la revisión sistemática de la literatura por medio del método del metaanálisis de casos similares con respecto a ampliaciones de planta o proyectos de inversión, otorgando en el estado del arte un total de 50 artículos, las cuales sirvieron de base para poder determinar la metodología junto con las técnicas e instrumentos. El enfoque de la investigación fue mixto, no experimental, de tipo transversal y con un alcance descriptivo – propositivo. La técnica de recolección de información fue la encuesta con su instrumento el cuestionario. Posteriormente, los resultados fueron analizados mediante el software SPSS 30. El resultado de fiabilidad mediante el alfa de Cronbach alcanzó 0,913 considerándose como muy buena. La recopilación de esa información logró determinar el problema a investigar y dar como solución una propuesta. Se demuestra la mejora de los indicadores de eficiencia mediante un análisis comparativo al añadir dos módulos, en donde la inversión se recupera en 11 meses y 19 días.

Palabras claves: estudio técnico, agua potable, tratamiento de agua, módulo potabilizador, eficiencia operativa.

“TECHNICAL STUDY OF THE WATER TREATMENT MODULE FOR OPERATIONAL EFFICIENCY IN “AGUAPEN EP”, ATAHUALPA PARISH, SANTA ELENA CANTON”

Autor: Suárez Ramos Emilio Javier

Tutor: Ing. Richard Muñoz Bravo, Mgr.

ABSTRACT

Currently, the Santa Elena Peninsula faces a greater demand for water, a resource vital to daily life than in recent years. Given this situation, this study aims to evaluate the existing water treatment modules at the company, located in the Atahualpa parish of Santa Elena, through a technical study that will allow for the design of a new water treatment module, improving operational efficiency and meeting demand. The theoretical framework employed a rigorous review through a systematic review of the literature using the meta-analysis method of similar cases regarding plant expansions or investment projects. A total of 50 articles were identified in the state of the art, which served as the basis for determining the methodology, techniques, and instruments. The research approach was mixed, non-experimental, cross-sectional, and descriptive-propositional in scope. The data collection technique was a survey with a questionnaire as its instrument. The results were subsequently analyzed using SPSS 30 software. The reliability score using Cronbach's alpha reached 0.913, which is considered very good. The compilation of this information helped determine the problem to be investigated and provide a proposed solution. The improvement in efficiency indicators is demonstrated through a comparative analysis of the addition of two modules, where the investment is recovered in 11 months and 19 days.

Keywords: technical study, drinking water, water treatment, water treatment module, operating efficiency.

INTRODUCCIÓN

El agua es una necesidad humana y esencial para el consumo, el saneamiento, la higiene personal, la salud y para la vida misma como indica (Rosinger, 2022), es así que el acceso al agua potable es un derecho humano, reconocido por organismos internacionales como la UNESCO (UNESCO, 2019). Por lo tanto, este recurso natural se vuelve cada día más escaso debido a varios factores, como el aumento en el incremento poblacional. Cabe mencionar que la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021) estima que 2.200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con agua potable, es decir que tres de cada diez personas presentan dificultades para acceder a esta necesidad básica (Wolska et al., 2023). También se estima que la demanda mundial de agua en 2040 podría aumentar en más del 50 %, creando presión adicional sobre este recurso; además, la deficiencia en el abastecimiento de agua afecta a más del 40% de la población mundial, y para el 2050 al menos el 25% de la población, aproximadamente 57 millones de personas vivirán en un mundo afectado por sequía, desertificación o falta de este recurso hídrico (Eridadi et al., 2021). Se evidencia la magnitud del problema global del acceso al agua potable y el saneamiento, así como las proyecciones alarmantes sobre la demanda futura del recurso.

En América Latina, el escenario es aún más complejo y preocupante. Con una población aproximada de 645 millones de habitantes, se estima que alrededor de 166 millones no tienen acceso al agua potable, mientras que cerca de 444 millones no cuentan con sistemas de saneamiento adecuados como lo establece (UNESCO, 2020). En Colombia, un estudio titulado “Evaluación de riesgos del sistema de abastecimiento y distribución de agua potable en zonas rurales” determinó que el acceso al agua potable segura es particularmente difícil en las zonas rurales debido a las tecnologías de purificación inadecuadas, las limitaciones operativas y la contaminación de las actividades agrícolas, por lo que el 80% de los acueductos rurales no proporcionan agua segura para el consumo (Ramos et al., 2025).

En Ecuador el acceso al agua potable llega a alcanzar un 97.3% a nivel nacional, lo que significa que el 91.21% del tiempo presenta paralizaciones en el servicio de este suministro, ya sea por causas programadas o mantenimientos correctivos (Lorena et al., 2021). A diferencia de la provincia de Santa Elena, si bien los índices de cobertura de agua potable parecen elevados, persisten serias dificultades relacionadas con la continuidad del servicio, especialmente en las zonas rurales. Estas deficiencias se asocian principalmente a limitaciones presupuestarias, barreras geográficas y una gestión administrativa poco eficiente (ARCA, 2023) (Cedeño & Esteves, 2023, 2023; Haro, 2024). No obstante, la empresa pública Aguapen EP

durante el año 2023 se identificaron problemas notables en la eficiencia operativa de las plantas compactas, y eso tuvo un gran impacto en el cumplimiento de los estándares de calidad (Reyes & Veliz, 2021).

Justificación.

Esta investigación tiene **justificación teórica**, porque está basada en la teoría del ciclo del agua urbana, teoría del desarrollo sostenible, teoría de la eficiencia operativa, teoría de los sistemas, teoría de la gestión integrada de los recursos hídricos. Segundo, tiene **justificación práctica** por que aplica directamente en la mejora del servicio del agua potable prestado por la empresa pública Aguapen EP, en la parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena. Tercero, tiene la **justificación metodológica** por que adopta un enfoque metodológico cuantitativo y técnico-operativo, fundamentando en el análisis de datos operativos, revisión de literatura científica y el diseño de propuestas de mejora tecnológica. Además de la revisión documental, observaciones estructuradas realizadas en campo, entrevistas técnicas y análisis de indicadores clave antes y después de la implementación de la propuesta. Por consiguiente, se emplean herramientas como fichas de diagnóstico, evaluación de variables operativas y matrices comparativas, reforzando la solidez de los resultados para que tengan un respaldo verificable y puedan ser replicadas en otros contextos similares (Seo & Yoon, 2025). Cuarto, tiene la **justificación social** porque beneficia significativamente en la búsqueda de mejora de la eficiencia operativa del sistema de potabilización de la empresa Aguapen EP, que brinda servicio a la parroquia Atahualpa; también beneficia a toda la comunidad de la provincia de Santa Elena, ya que garantiza suministro continuo, seguro y sostenible a los habitantes, lo que impacta directamente a la salud pública, la calidad de vida y la equidad social de la población beneficiaria (Perelman et al., 2025).

En este contexto, la propuesta a la implementación de un nuevo módulo potabilizador de agua representa una acción certera para enfrentar los problemas a futuro con respecto a la necesidad poblacional que cada día aumenta geográficamente. Además, de contribuir a la mejora de la eficiencia operativa de la planta al proponer equipos tecnológicos y actualizados para el aumento de capacidad de tratamiento de agua potable.

Preguntas de investigación:

¿Cómo incide el estudio técnico detallado de un módulo potabilizador de agua en la eficiencia operativa de Aguapen EP en la planta compacta, parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena?

Objetivo general:

Evaluar los módulos potabilizadores de agua existentes en la planta compacta Atahualpa, cantón Santa Elena, mediante un estudio técnico, que presente la viabilidad de implementar un nuevo módulo potabilizador, mejorando la eficiencia operativa y el aumento de la capacidad para el cumplimiento de la demanda hídrica.

Objetivos específicos:

OE1: Realizar una revisión sistemática de la literatura (RSL) mediante el análisis de la relación entre los estudios en base a la eficiencia operativa en proyectos de inversión para la conceptualización de las variables de estudio.

OE2: Diseñar un marco metodológico para el análisis técnico del módulo potabilizador de Aguapen EP, a través de la selección y aplicación de métodos, técnicas e instrumentos adecuados.

OE3: Evaluar y contrastar los resultados actuales y los proyectados del estudio técnico, utilizando indicadores de eficiencia y criterios operativos, con el fin de determinar la viabilidad de la propuesta.

Hipótesis: H_1 : La implementación de una propuesta técnica basada en el análisis del módulo potabilizador mejorará la eficiencia operativa de la planta. H_0 : La implementación de una propuesta técnica basada en el análisis del módulo potabilizador no mejorará la eficiencia operativa de la planta.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Con el fin de comprender la problemática, se analizan investigaciones y estudios realizados por diversos autores en el campo del tratamiento de agua potable y la gestión de infraestructura hídrica.

Un estudio realizado por Schroeder et al., (2021), en Cleviston, Estados Unidos, analizó cómo la variación en la salinidad del agua influye en el diseño y operación de plantas de desalinización por el método ósmosis inversa, se esta manera el estudio se basó en el diseño de una planta de osmosis con una capacidad de 11.356 m³/día. Por esta razón la investigación destaca la importancia de aplicar tecnologías adecuadas a las diferentes condiciones del recurso, especialmente en zonas donde existe una alta salinidad o escasez de agua.

De manera complementaria, un estudio realizado por Wang et al., (2022), denominado “Un marco basado en riesgos para evaluar las opciones de inversión en infraestructura para un sistema de suministro de agua”, desarrolló un marco de evaluación probabilístico para analizar la expansión de la planta Trampa Bay Water, en Florida. A través del uso de simulaciones estocásticas y técnicas de programación matemática, el estudio evidenció que incrementar la capacidad de tratamiento a 75.708 m³/día y 113.562 m³/día, mejoraba significativamente la confiabilidad anual del sistema.

Otro estudio que fue realizado por Moreira et al., (2021), en Brasil, titulado “La ultrafiltración de punto muerto como estrategia rentable para mejorar la eliminación de arsénico de aguas con alta turbidez en instalaciones de agua potable convencionales”, cuyo objetivo fue analizar la viabilidad económica de implantar procesos de ultrafiltración en plantas convencionales de tratamiento de agua potable, es así que vale resaltar que se necesitó de un enfoque cuantitativo-comparativo con un análisis de costos aplicados a caudales entre 0.108 – 12.690 m³/h; como evidencia de ellos, los resultados evidenciaron una reducción progresiva en el costo operativo por metros cúbicos tratados (0.98 – 0.81 US \$/m³), concluyendo que la ultrafiltración representa una alternativa eficiente y rentable en sistemas de gran capacidad. Estos hallazgos refuerzan la importancia de innovar en tecnologías de tratamiento de agua para optimizar recursos y garantizar la seguridad del suministro.

1.2 Estado del arte

El estado del arte como la primera fase de la investigación es el marco de referencia para el mismo, refleja el estado del estudio, determina los patrones explicativos y conceptuales de la información recopilada en el estudio de campo (Santos et al., 2024).

Así, la revisión sistemática de la literatura (RSL) es un método para identificar, evaluar e interpretar el trabajo de académicos y profesionales (Maitama et al., 2020). Las revisiones sistemáticas forman una amplia gama de métodos y enfoques, son absolutamente necesarias gracias a la gran cantidad de producción científica en formato digital, que está potencialmente disponible (Siebert et al., 2021).

De los conceptos anteriores para este trabajo se tiene los siguientes objetivos descritos en la siguiente tabla 1:

Tabla 1.

Objetivos para la RSL.

Código	Objetivo
OB1	Examinar estudios previos sobre la expansión de plantas industriales o la implementación de nuevas infraestructuras para incrementar su capacidad operativa.
OB2	Determinar los factores clave que influyen en la toma de decisiones para la expansión de una planta industrial, considerando aspectos técnicos, operativos y económicos.

Nota: Objetivos con base a las variables de estudio.

De estos objetivos, se derivan las preguntas de investigación, que se detallan en la tabla 2:

Tabla 2.

Preguntas de investigación.

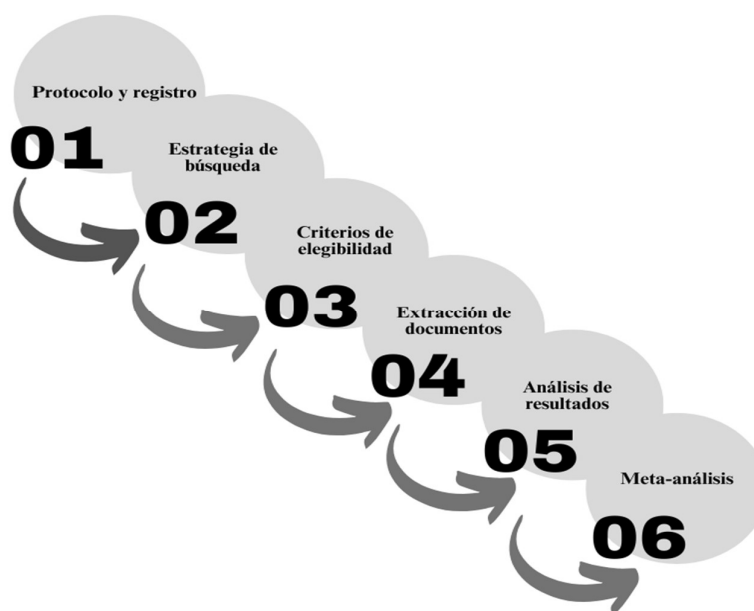
N°	Pregunta	OB
RQ1	¿Cuál es la cantidad de estudios recientes que abordan la implementación de infraestructuras, mejora de eficiencia operativa o proyectos de expansión?	OB1
RQ2	¿Qué enfoques metodológicos han utilizado en estudios previos para evaluar la expansión de plantas industriales y su impacto en la eficiencia operativa?	OB1
RQ3	¿Qué técnicas o herramientas son efectivas en la toma de decisiones para la expansión o mejora de plantas industriales, considerando factores técnicos, operativos y económicos?	OB2
RQ4	¿Cuáles son los beneficios operativos y económicos más relevantes documentados en la literatura tras la implementación de nuevas infraestructuras en plantas industriales?	OB2

Nota: Preguntas derivadas de los objetivos.

Para tratar estas preguntas, este estudio ha seguido las pautas metodológicas de una revisión sistemática de la literatura, basada en directrices planteadas por (Chen et al., 2021; Gorzelitz et al., 2020; Khalef & El-adaway, 2023). Se ha aplicado la declaración PRISMA que proporciona un conjunto de directrices estructuradas destinadas a optimizar la calidad y transparencia en la realización de esta revisión sistemática y del metaanálisis para este estudio (Cho et al., 2023). En la figura 1 se muestra una síntesis visual de los pasos a seguir para la revisión sistemática con metaanálisis, con respecto a las directrices de la declaración PRISMA.

Figura 1.

Síntesis de los pasos a seguir en la RSL con metaanálisis.



Nota: Síntesis visual de los pasos a seguir.

Paso 1. Protocolo y registro.

En este punto, se planea especificar los objetivos específicos de la revisión sistemática de la literatura (RSL) expuestos en la tabla 1.

Paso 2. Estrategia de búsqueda.

En algunas de las bases de datos en línea más importantes, se introdujo una estrategia de búsqueda, como Dimensions, Scopus, ScienceDirect y Scielo. La cadena de búsqueda se detalla en la tabla 3:

Tabla 3.*Cadena de búsqueda en bases de datos web.*

Bases de datos web	Cadena de búsqueda
Dimensions	("Estudio técnico" OR "Expansión de planta") AND ("Metodología" OR "Mejora de eficiencia operativa")
Scopus	TITLE-ABS-KEY (((("Estudio técnico" OR "Expansión de planta") AND ("Metodología" OR "Mejora de eficiencia operativa"))
ScienceDirect	("Estudio técnico" OR "Expansión de planta") AND ("Metodología" OR "Mejora de eficiencia operativa")
Scielo	("Estudio técnico" OR "Expansión de planta industrial")

Nota: Ecuaciones de búsqueda relacionadas a las variables de estudio.

Se tomó en cuenta un fundamento teórico y metodológico de cinco años previos, acentuando la relevancia de la administración del conocimiento en las variables de investigación. A partir de análisis críticos, se establece un vínculo evidente entre la revisión literaria y su fundamentación, como se muestra en la siguiente tabla 4:

Tabla 4.*Base de datos de la literatura.*

Base de datos	Resultados de búsqueda	% de resultados
Dimensions	230	25%
Scopus	252	28%
ScienceDirect	391	44%
Scielo	30	3%
TOTAL	903	100%

Nota: Base de datos académica para la selección de documentos.

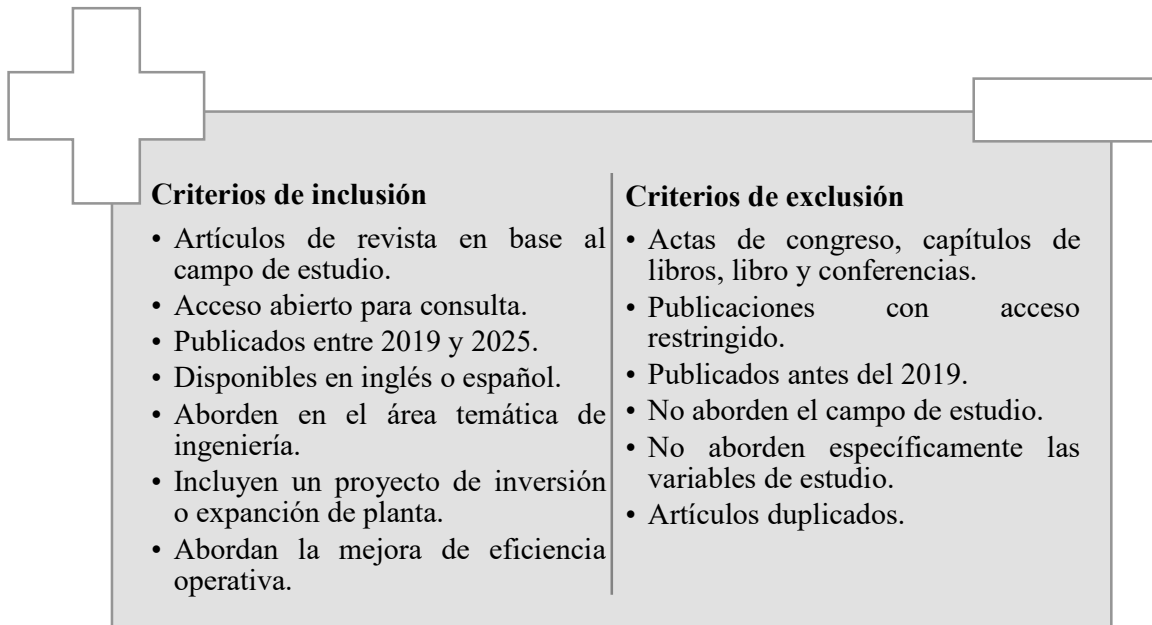
Como se muestra en la tabla 4, se consideraron un total de 903 artículos encontrados de la base de datos académicos, tales como, Dimensions, Scopus, Science Direct y Scielo, cada uno de ellos con porcentajes del 25%, 28%, 44% y 3% respectivamente para el estudio, lo que permite la aplicación de los filtros correspondientes para la selección y extracción de datos.

Los artículos en estas bases de datos fueron sometidos a una revisión sistemática por medio del software VOSviewer, para procesar los registros bibliográficos y seleccionar los que presenten similitudes relacionados a las variables de estudio.

Figura 2.*Listado de palabras claves ordenadas.*

Figura 4.

Criterios de inclusión y exclusión.



Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none">• Artículos de revista en base al campo de estudio.• Acceso abierto para consulta.• Publicados entre 2019 y 2025.• Disponibles en inglés o español.• Aborden en el área temática de ingeniería.• Incluyen un proyecto de inversión o expansión de planta.• Abordan la mejora de eficiencia operativa.	<ul style="list-style-type: none">• Actas de congreso, capítulos de libros, libro y conferencias.• Publicaciones con acceso restringido.• Publicados antes del 2019.• No aborden el campo de estudio.• No aborden específicamente las variables de estudio.• Artículos duplicados.

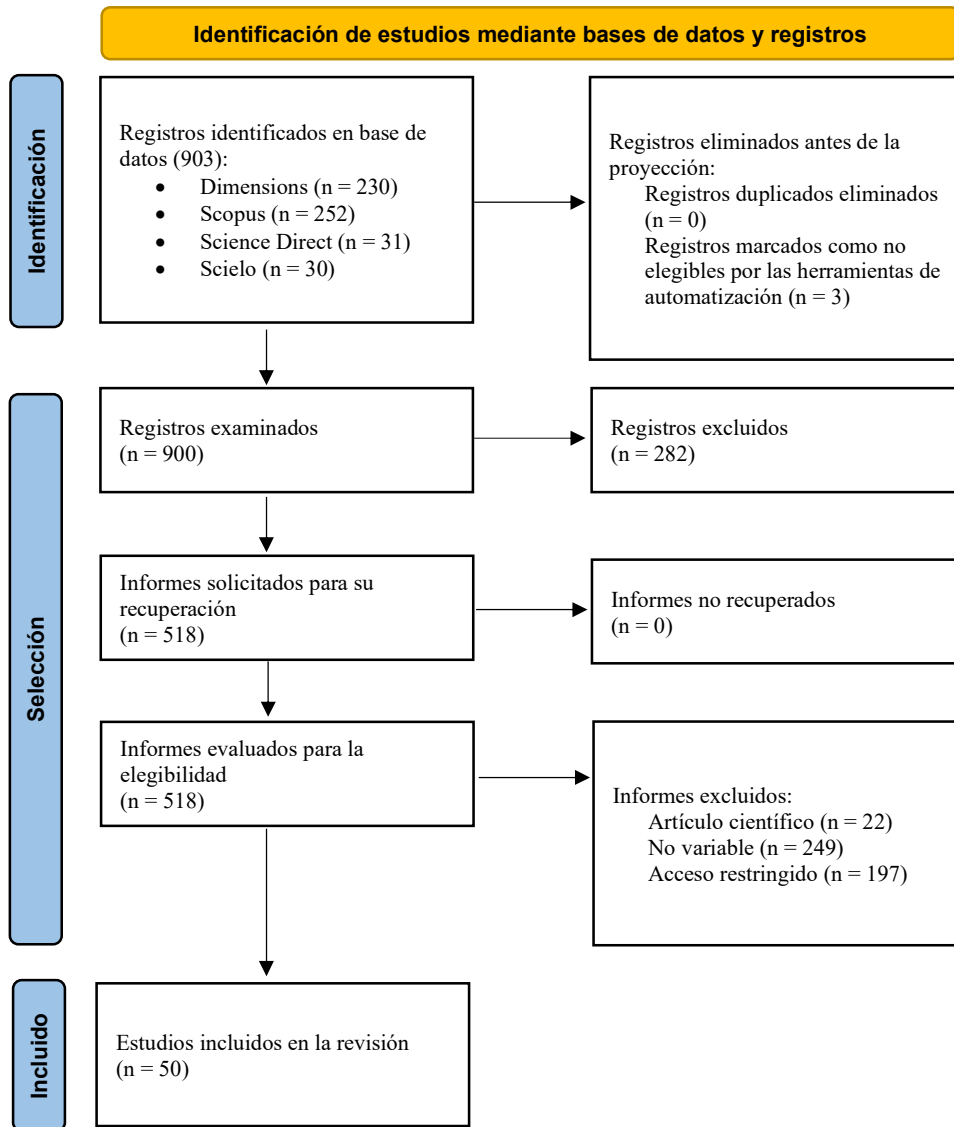
Nota: Selección de criterios que aporten a la búsqueda de información relevante.

Paso 4. Extracción de documentos.

Usando esta información, se desarrolló un diagrama de flujo, reflejando visualmente el proceso de evaluación y selección de artículos científicos hasta que definan la muestra final descrita en la figura 5.

Figura 5.

Diagrama de flujo de acuerdo con lo decretado en la declaración PRISMA.



Nota: Aplicación de criterios en cada etapa de selección.

Mediante el diagrama de flujo PRISMA se consideraron 50 artículos para el análisis, en donde como primera fase de identificación se llegó a la cantidad inicial de 903 artículos recopilados a través de bases de datos y fuentes académicas relevantes. Posteriormente, en la fase de revisión, se aplican los criterios de inclusión definidos previamente, se comenzó con uno de los criterios como el a) año de publicación de los últimos cinco años, tras aplicar este criterio, se incluyeron 518 artículos. Luego, se aplicaron los criterios adicionales tales como: b) documentos que sean artículos de revista en base al campo de estudio, c) que tengan acceso abierto para la consulta. Esto resultó en la inclusión de 197 artículos. Finalmente, se aplicó los criterios d) incluyan un estudio técnico o expansión de planta y e) aborden la mejora de

eficiencia operativa, lo que resultó en la inclusión de 50 artículos que servirían como base para el desarrollo del trabajo de investigación.

Paso 5. Análisis de resultados.

Se obtiene la información de los 50 artículos identificando la metodología aplicada en cada uno de los estudios y las estrategias otorgadas de los autores, con la finalidad de analizar cada una de ellas y seleccionar las más viable de acuerdo con esta investigación. Los resultados se muestran en el paso 6 en lo que corresponde a la pregunta dos del metaanálisis.

Paso 6. Metaanálisis.

El metaanálisis es una combinación de dos o más resultados de investigación, es decir, con los resultados del análisis estadístico se suman los hallazgos de diferentes investigaciones, asumiendo que el nuevo resultado equivale a un solo estudio, pero con una muestra mucho mayor (Abouee et al., 2023; Malakootian et al., 2021; Wasim et al., 2022).

Como consecuencia, los estudios identificados se resumen, y los hallazgos de los estudios seleccionados se analizan de manera narrativa en lugar de utilizar métodos estadísticos formales. Esto facilita responder a las preguntas de investigación, aportando nuevos conocimientos y logrando los objetivos establecidos para cada pregunta, como se muestra en la tabla 2.

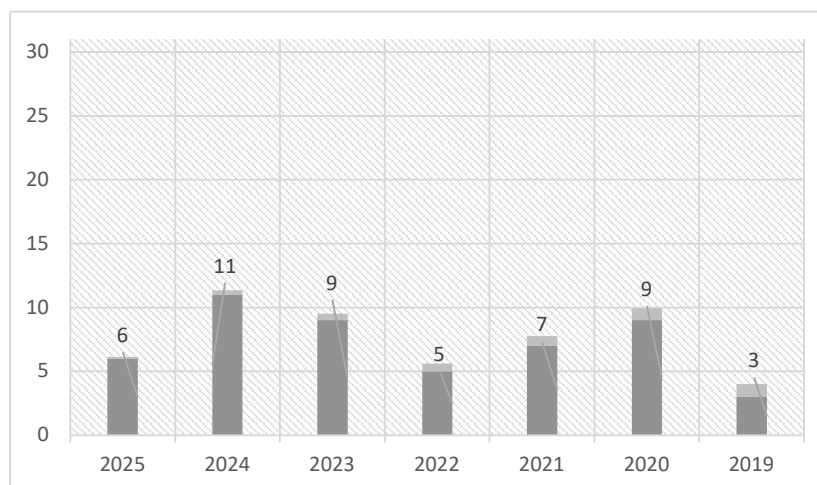
P1. ¿Cuál es la cantidad de estudios recientes que abordan la implementación de infraestructuras, mejora de eficiencia operativa o proyectos de expansión?

En la tabla 5, se proyecta un incremento en la producción científica basada en las variables de este estudio en estos últimos años. Para el año 2025, se resaltan seis contribuciones, correspondientes a los artículos A3, A14, A17, A18, A21 y A27. En contraste para el año 2024, se muestran once publicaciones (A15, A19, A22, A28, A29, A30, A31, A32, A33, A34 y A35), lo que resulta un aumento considerable en comparación con años anteriores. Durante 2023, la producción científica bajó, contabilizando nueve artículos (A6, A10, A13, A20, A23, A26, A36, A37 y A38). En comparación, en 2022 se documentaron únicamente cinco artículos (A5, A12, A25, A39 y A40) que realizaron aportes no tan dirigidas a las variables de estudio, pero muestran un propósito similar. En 2021, se aumentó la producción científica, en donde se encontraron siete publicaciones (A2, A7, A8, A9, A11, A41 y A42). Para el año 2020, existieron nueve artículos (A1, A4, A16, A43, A44, A45, A46, A47 y A48). Finalmente, en 2019, se

registran únicamente tres artículos (A24, A49 y A50). Para mayor visualización, la figura 6 ilustra la tendencia de los artículos publicados a lo largo del tiempo.

Figura 6.

Tendencia de los artículos publicados.



Nota: Publicación de artículos por años.

P2. ¿Qué enfoques metodológicos han utilizado en estudios previos para evaluar la expansión de plantas industriales y su impacto en la eficiencia operativa?

Según los datos obtenidos, se muestran a continuación los enfoques metodológicos con sus técnicas e instrumentos planteados por cada uno de los autores en la tabla 5.

Tabla 5.

Artículos seleccionados para RSL.

Artículo	Autor/año	Enfoque metodológico	Técnicas/instrumentos
A1	(Gómez et al., 2020)	Cuantitativa	Análisis de datos, parámetros técnicos y cálculos financieros.
A2	(Nyoni et al., 2021)	Cuantitativa	Análisis de datos, modelado, simulaciones, evaluación de parámetros técnicos.
A3	(Kliment et al., 2025)	Cuantitativa	Simulación mediante el software Siemens Tecnomatix Plant Simulation versión 2404.
A4	(Pacheco et al., 2020)	Cuantitativa	Medición del error, análisis de los resultados y estrategias de gestión.
A5	(Willockx et al., 2022)	Cuantitativa	Simulación, estimación de producción y análisis de costos.
A6	(Rebeca et al., 2023)	Mixta	Encuesta social (encuesta), evaluación técnica y económica

A7	(Romero et al., 2021)	Cuantitativa	Retornos económicos incrementales (IROI) y los retornos exegéticos de la inversión (ExROI). Uso de simulaciones.
A8	(Sharma et al., 2021)	Cuantitativa	Ecuaciones matemáticas y evaluación de parámetros técnicos.
A9	(Pioquinto et al., 2021)	Cuantitativa	Análisis de datos y análisis de ciclo de vida (ACV).
A10	(Rosengart et al., 2023)	Cuantitativa	Gestión de proyectos de ingeniería de valor verde.
A11	(Turi et al., 2021)	Cualitativa	Revisión sistemática de la investigación y opiniones de expertos.
A12	(Marroni et al., 2022)	Cuantitativa	Identificación de escenarios críticos, evaluación de frecuencia, evaluación de consecuencias y simulaciones dinámicas.
A13	(Manrique et al., 2023)	Cuantitativa	Encuesta, método analítico-sintético, análisis técnicos y económico-financiero.
A14	(Dos Santos et al., 2025)	Cuantitativa	Técnicas de six sigma predictivo y aprendizaje automático. Análisis de datos.
A15	(K.-H. Kim et al., 2024)	Cuantitativa	Modelo de red neuronal profunda basado en LSTM y el modelo XGBoost.
A16	(Lawryshyn et al., 2020)	Cuantitativa	Modelado numérico basado en simulación de Montecarlo.
A17	(Xu et al., 2025)	Cuantitativa	Análisis interdisciplinario (aspectos técnicos, sociales y éticos) y uso del software Aspen y Trnsys.
A18	(Lazarevikj et al., 2025)	Cuantitativa	Análisis técnicos y económicos de procesos.
A19	(Galvin, 2024)	Cualitativa	Modelo de proceso híbrido mediante simulador Aspen Plus.
A20	(R. Gao et al., 2023)	Cuantitativa	Mediciones de campo, formulas empíricas de estimación y cálculo de parámetros técnicos.
A21	(Qiu et al., 2025)	Cuantitativa	Revisión técnica detallada de ecuaciones previamente desarrolladas, análisis comparativo.
A22	(Asaithambi et al., 2024)	Cuantitativa	Simulación matemática, validación experimental y análisis energético.
A23	(Ashour et al., 2023)	Cuantitativa	Análisis de la situación actual, análisis técnico y económico y evaluación de tecnologías.
A24	(Méndez et al., 2019)	Cuantitativa	Pruebas controladas y experimentos.
A25	(Lizarazo et al., 2022)	Cuantitativa	Simulaciones y análisis numérico.
A26	(Rebeca et al., 2023)	Mixta	Evaluación social (encuesta), técnica y económica.
A27	(Mojumder et al., 2025)	Cuantitativa	Herramientas numéricas y simulación de escenarios.
A28	(Wang et al., 2024)	Cuantitativa	Modelos predictivos inteligentes y análisis de datos.
A29	(Wiegelmann et al., 2024)	Cuantitativa	Desarrollo de un algoritmo optimizador.
A30	(Z. Gao et al., 2024)	Cuantitativa	Caracterización experimental y análisis del producto.
A31	(Alrbai et al., 2024)	Cuantitativa	Gestión con modelos de simulación energética.
A32	(B. Chen et al., 2024)	Cuantitativa	Evaluaciones técnicas e indicadores biogeoquímicos.
A33	(J. Kim et al., 2024)	Cuantitativa	Modelado, predicción mediante deep learning y análisis de datos.
A34	(Aldrees et al., 2024)	Cuantitativa	Modelo para análisis predictivo.
A35	(K.G. et al., 2024)	Mixta	Evaluación técnica y estrategia de control multiobjetivo.

A36	(Cacciuttolo & Cano, 2023)	Cuantitativa	Análisis de datos en tiempo real.
A37	(Yazdani et al., 2023)	Cuantitativa	Simulación de fluidos y análisis de presión.
A38	(Aboulfotoh et al., 2023)	Cuantitativa	Evaluación de parámetros operativos.
A39	(Nigieh & Amani, 2022)	Cuantitativa	Evaluación técnica influyentes en ingeniería de valor.
A40	(Elgharbawy & Ali, 2022)	Cuantitativa	Análisis técnico-económico.
A41	(Neto et al., 2021)	Cuantitativa	Modelado de un sistema ORC.
A42	(Chong et al., 2021)	Cuantitativa	Análisis experimental para predecir propiedades.
A43	(Augusto et al., 2020)	Cuantitativa	Ingeniería de procesos, análisis económico y escalamiento.
A44	(Dölle et al., 2020)	Cuantitativa	Análisis experimental.
A45	(Taha & Helal, 2020)	Cuantitativa	Evaluación técnica de geometrías de placas, Análisis térmico.
A46	(Muratov et al., 2020)	Cuantitativa	Análisis experimental de prototipo y ajuste paramétrico.
A47	(Jiang et al., 2020)	Cuantitativa	Modelado de ciclo de vida y simulación de procesos de producción.
A48	(Meng et al., 2020)	Cuantitativa	Análisis de datos y síntesis de coagulante magnético.
A49	(Mejeed et al., 2019)	Cuantitativa	Recopilación de datos, evaluaciones técnicas, análisis de desempeño y validación de parámetros técnicos.
A50	(Clayton et al., 2019)	Cuantitativa	Diseño de sistema integrado mediante la validación de datos y rendimiento operativo.

Nota: Metodologías aplicadas a cada enfoque de estudio por los autores.

Como se observa en la tabla 5, se encuentran los enfoques metodológicos y la metodología o técnicas utilizadas en cada uno de los estudios realizados por los autores en donde enfatizaron enfoques que fueron factibles para el análisis de sus resultados, con este análisis se analiza la técnica mejor aplicada con sus resultados para la implementación de este estudio.

P3. ¿Qué técnicas o herramientas son efectivas en la toma de decisiones para la expansión o mejora de plantas industriales, considerando factores técnicos, operativos y económicos?

Tomar la decisión de invertir en una planta industrial, o de mejorar su eficiencia, tendría que fundamentarse en un método estructurado que considere los factores técnicos, operativos y económicos como una base en general (Zenkovich et al., 2021). Para conseguirlo, distintas estrategias han mostrado ser eficientes, sobre todo las que mezclan metodologías basadas en datos tanto cuantitativos como cualitativos, tal y como se puede observar en la tabla 5.

Autores como Baca Urbina, (2010) plantearon que la evaluación de proyectos industriales debe incorporar herramientas como encuestas para poder identificar las necesidades y expectativas de los interesados, como trabajadores, clientes y las comunidades cercanas. Esto permite anticipar posibles impactos sociales y mejorar la aceptación del proyecto (Kshanh & Tanaka, 2024).

P4. ¿Cuáles son los beneficios operativos y económicos más relevantes documentados en la literatura tras la implementación de nuevas infraestructuras en plantas industriales?

Diversos estudios como el de Onishchenko et al., (2022), señalan que modernizar la infraestructura industrial trae ventajas como la optimización del uso de recursos, menor generación de residuos y mejora en la calidad del producto final. Por otro lado, también se destaca una mayor eficiencia en los procesos productivos mediante la implementación de tecnologías avanzadas y automatizan y digitalizan las operaciones, lo que disminuye la necesidad de intervención manual (Luo et al., 2021).

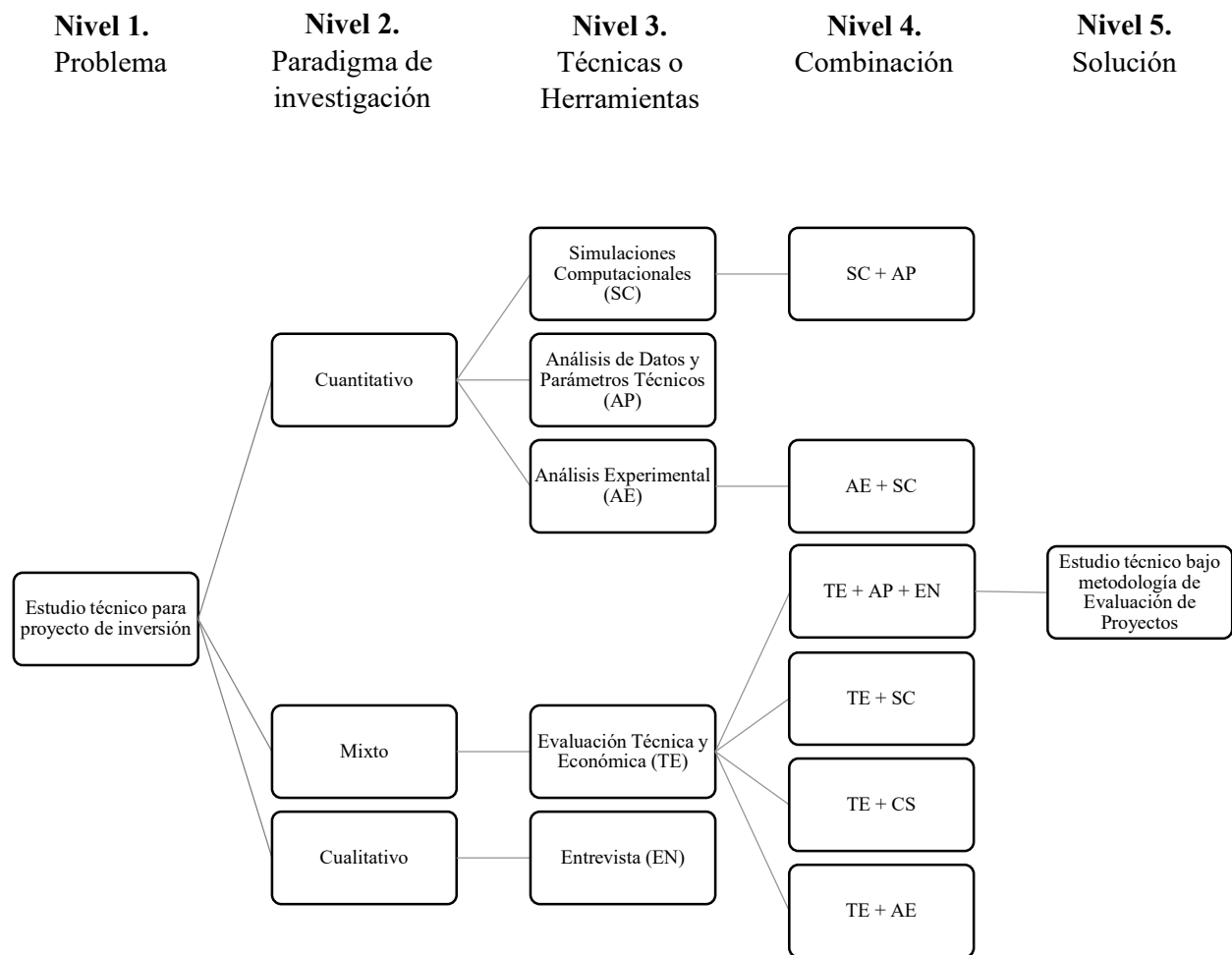
Otro de los beneficios mencionado en la literatura revisada es la reducción del consumo energético, lo que consiste en sustituir equipos obsoletos por tecnologías modernas, es posible disminuir considerablemente los costos relacionados con energía eléctrica o combustibles (Kidar et al., 2021).

Propuesta de marco.

La introducción de un protocolo estructurado y una herramienta visual como mapas mentales optimiza el proceso de evaluación de un proyecto y promueve una práctica más consistente y justificada, que puede contribuir en gran medida en la toma de decisiones en cualquier campo industrial.

Figura 7.

Protocolo para estudio técnico en proyecto de inversión.



Nota: Elaborado por autor basado en (Allaica & Molina, 2024).

Una estructura metodológica bien desarrollada permite construir una solución clara, replicable y técnicamente fundamentada para responder al problema planteado (Fan et al., 2021). A diferencia de estudios centrados en sostenibilidad multivariable, esta investigación se enmarca en la eficiencia operativa y la optimización de recursos técnicos, mejorando la toma de decisiones ante un proyecto de inversión que beneficie operativa y económicamente a la empresa.

1.3 Fundamentos teóricos.

1.3.1 Potabilización de agua-definiciones.

Agua cruda. - Se encuentra en la naturaleza sin recibir algún tipo de tratamiento para el tratamiento de sus características físicas, químicas y bacteriológicas. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza modela la tierra y posee propiedades únicas que la hacen esencial para la vida. (Zhu et al., 2023).

Según el tipo de contaminante presente en el agua, estos pueden ser:

Contaminante físico: definido por cualquier partícula que provoca turbidez, color, gusto y aroma en el agua (Payus et al., 2021).

Contaminante químico: se refiere a la existencia de cualquier sustancia y compuesto químico como el plomo el aluminio, el cobre, el cloro, los nitritos, los sulfatos, los hidróxidos, entre otros, que en grandes cantidades pueden generar inconvenientes a la salud (Barceló et al., 2020).

Contaminante biológico: son los microorganismos patógenos como los virus, bacterias, hongos, algas y protozoos presentes en el agua (R. Gao et al., 2024).

Potabilización. - Es un proceso fundamental que permite transformar el agua natural proveniente de fuentes superficiales como ríos, lagos o subterráneas como pozos, donde se convierte en un recurso seguro para el consumo humano (Llumiquinga, 2020).

Agua para el consumo humano. - Sin importar su procedencia y difusión, se refiere al agua destinada al consumo, la preparación de comidas u otros usos en el hogar; cuyas propiedades físicas, químicas y microbiológicas aseguran su idoneidad para el uso cotidiano (Méndez, 2023).

NTE INEN 1108. - Norma Técnica Ecuatoriana que posee los requisitos que debe tener el líquido vital para el consumo humano, proveída por medio de redes de distribución (ARCA, 2022).

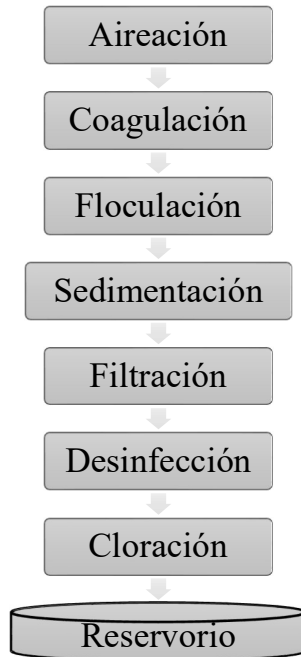
Parámetros. - Características físicas, químicas y microbiológicas que son medibles para establecer los escenarios de la inocuidad del agua (Klamt et al., 2021).

Procesos operativos.

Según las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua, las fuentes de captación y la ubicación, las plantas de tratamiento de agua potable adaptan su diseño, estructura, procesos y operación. Sin embargo, por lo general, incluyen las siguientes partes de tratamiento (García & Cantos, 2024).

Figura 8.

Diagrama de flujo de una PTAP.



Nota: Elaborado por autor basado en (García & Cantos, 2024).

1.3.2 Módulos potabilizadores

Un módulo potabilizador es fabricado para transformar el agua cruda y convertirla en agua potabilizada para el consumo humano y principalmente se utilizan en áreas pequeñas rurales, situaciones de emergencia, instalaciones temporales e incluso en pequeñas comunidades, por lo que su diseño permite adaptarse y ampliarse según la demanda, lo que los hace eficaces en escenarios con aumento poblacional o mayor necesidad de agua (Yupanqui et al., 2024).

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Enfoque de investigación.

Un enfoque de investigación hace referencia a la orientación estratégica y teórica que guía la elaboración de un estudio. En él se definen las bases esenciales que estructuran la exploración, se examina el fenómeno de interés y se delimita la información relevante, junto con su correspondiente análisis (Pacheco, 2025). En este contexto, mediante el uso de recursos que facilitaron la medición de datos vinculados al análisis, se estableció el método adecuado para la investigación.

Con base en lo desarrollado en el capítulo anterior, la metodología se sustenta en los criterios establecidos por Gabriel Baca Urbina, dentro de su enfoque de evaluación de proyectos, lo cual permite analizar la viabilidad técnica y operativa del proyecto. Se adopta un enfoque metodológico mixto, con predominancia del enfoque cuantitativo y un componente de enfoque cualitativo complementario, lo que permite un análisis integral del fenómeno de estudio (Pons et al., 2021; López, 2021).

2.2 Diseño de investigación.

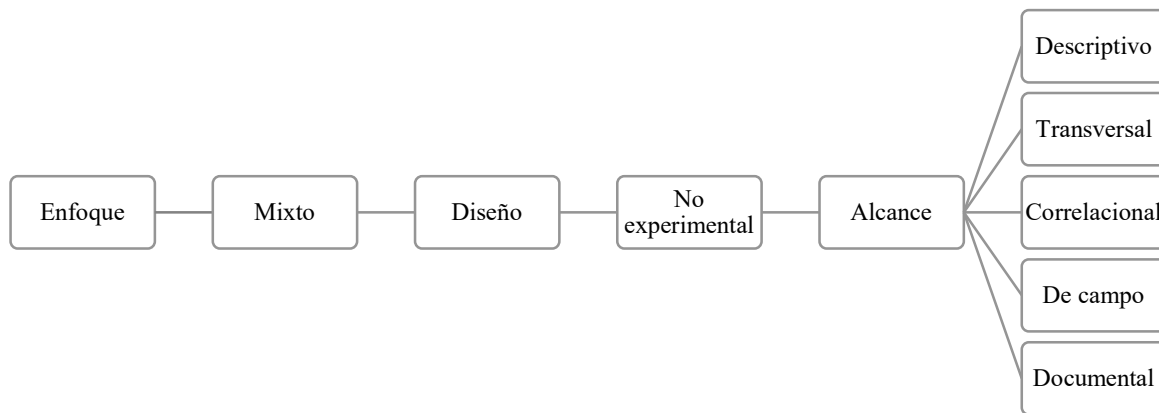
Esta investigación se realizó dentro del enfoque cuantitativo, el cual se fundamenta en la objetividad, la cuantificación y el uso de análisis estadísticos para entender los fenómenos, es así que parte del supuesto de que la realidad es objetiva, medible y externa al investigador, lo que permite su observación y explicación mediante variables numéricas. De forma complementaria, se incorpora un enfoque cualitativo a través de la observación directa en el campo y el análisis de documentos técnicos.

Para el desarrollo del estudio, se adoptó un diseño **no experimental**, ya que no se manipula deliberadamente las variables de estudio; sino que se observan y analizan tal y como ocurren en su contexto natural (condiciones existentes del sistema de potabilización), con el propósito de proponer una mejora (Galarza, 2021). Además, el estudio posee un carácter **descriptivo-propositivo** y **transversal**, puesto que la información se recopila en un periodo de tiempo definido y acotado (Alban et al., 2020; Manterola et al., 2023). En este contexto, se adopta un diseño de investigación **correlacional** para poder identificar y examinar el nivel de relación existente entre las variables clave, como el incremento de la demanda y la capacidad limitada presente. Además, se realiza una investigación **de campo** que consiste en la obtención

directa de datos en el entorno real de la empresa, lo cual permitirá corroborar de manera tangible las condiciones estructurales y operativas presentes (Vargas, 2024). Finalmente, se recurre a una investigación **documental**, mediante la revisión de fuentes secundarias como manuales técnicos de operación, fichas de equipos de tratamiento, registros históricos de funcionamiento, informes internos y normativas técnicas nacionales e internacionales que regulan la calidad del agua y la infraestructura sanitaria (Satorres & Ferrándiz, 2020).

Figura 9.

Diseño de la investigación.



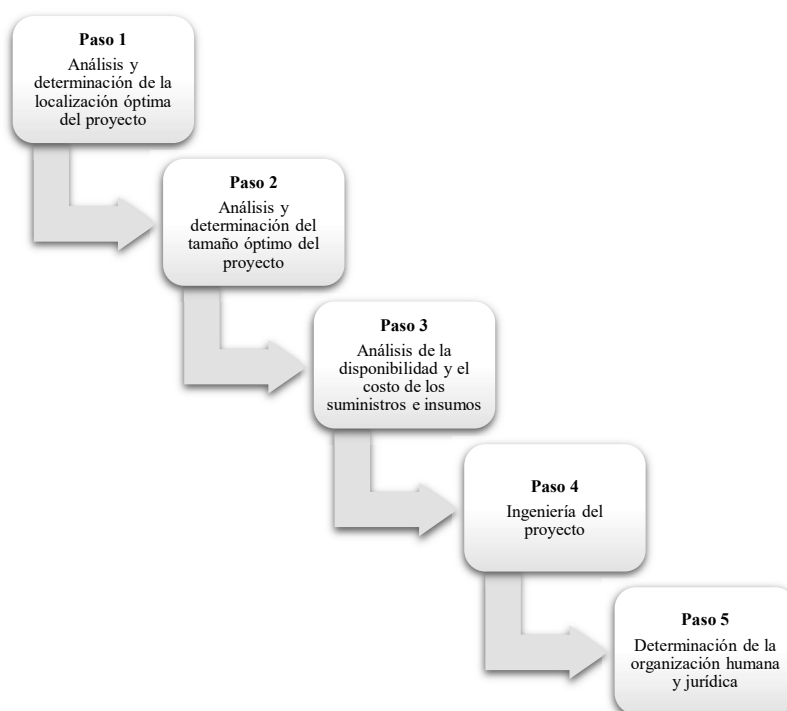
Nota: Elaborado por autor basado en (Ato et al., 2013).

2.3 Procedimiento metodológico.

La metodología de este estudio se basa a los lineamientos de la evaluación de proyectos propuestos por Baca Urbina, (2010), que constituyendo el enfoque metodológico principal. Este marco permite realizar un análisis integral de la viabilidad técnica y operativa de proyectos de infraestructura. El estudio técnico se estructura en cinco pasos claves, tal como se observa en la figura 10. Se parte de una valoración que busca establecer la mejor localización para el proyecto, continuando con la estimación de la dimensión ideal, para luego analizar la accesibilidad de los materiales y su precio, ya que impactará la funcionalidad del proceso a futuro. Después, se arma la ingeniería del proyecto, donde se detallan los aspectos técnicos del módulo a implementar. Para finalizar, se decide la estructura organizacional de la empresa y los asuntos legales que se requieren.

Figura 10.

Diseño de proceso metodológico.



Nota: Elaborado por autor basado en (Urbina, 2010).

PASO 1. Análisis y determinación de la localización óptima.

Determinar el lugar óptimo para un proyecto significa encontrar un sitio donde la rentabilidad del capital aumente o donde se pueda obtener el costo unitario mínimo por cada artículo que se fabrique (Romero et al., 2019). El objetivo central de este paso consiste en determinar el lugar óptimo para la implementación de un nuevo módulo potabilizador, o a su vez concluir que el sitio actual sigue siendo óptimo para la ampliación.

Macro y micro localización por el método cualitativo por puntos.

Este método consiste en asignar valores numéricos a un conjunto de factores que se consideran importantes para la ubicación. Esto lleva a una evaluación numérica de varios lugares. Además, esta técnica posibilita dar importancia a elementos preferidos para el investigador al momento de decidir (Serrano et al., 2021). El proceso para jerarquizar cada factor cualitativo es el siguiente:

1. Se realiza una lista de factores relevantes.

2. Se asigna un peso a cada elemento para establecer su importancia relativa (los pesos sumarán 1.00), y el peso asignado dependerá de las condiciones actuales de este estudio.
3. Se define una escala común para calificar cada factor y se establece el valor mínimo.
4. Se califica a cada sitio potencial según la escala, y se multiplica cada calificación por su peso correspondiente.
5. Se suman las puntuaciones obtenidas para cada sitio y se selecciona aquel con la puntuación más alta.

PASO 2. Análisis y determinación del tamaño óptimo.

Determinar el tamaño de una nueva planta de producción es una labor restringida por las interacciones que hay entre el tamaño, la demanda, la accesibilidad de los insumos, las tecnologías, los equipos y el capital disponible (Mosquera, 2020).

La demanda: se analiza la demanda actual que satisface el módulo en funcionamiento y posteriormente se compara con la demanda insatisfecha o la proyectada a futuro (Pérez et al., 2022). Con base en este resultado, se establece el caudal diario que debe abastecer el nuevo módulo potabilizador de agua. Finalmente, se comparará esta demanda con la capacidad del sistema presente, identificando la diferencia y definiendo el tamaño requerido del nuevo módulo para asegurar un abastecimiento eficiente.

Los suministros e insumos: se analiza la disponibilidad de insumos como factor condicionante del tamaño óptimo del módulo, verificando si los recursos permiten escalar la capacidad operativa (Piñán, 2023). Se evaluará si la tecnología utilizada actualmente permite operar a una mayor escala, o si existen restricciones técnicas que obligan a modular el tamaño del nuevo sistema en función del consumo de insumos como productos químicos, energía o mantenimiento.

La organización: se examina desde un punto de vista técnico – administrativo, si la empresa cuenta con la experiencia, procedimientos y recursos humanos suficientes para ampliar su infraestructura sin comprometer su eficiencia (Falcón, 2022).

PASO 3. Análisis de la disponibilidad y el costo de los suministros e insumos.

Se identificaron los insumos clave que se necesitan en el proceso de potabilización y la información será recopilada a partir de registros técnicos internos, fichas de operación y entrevistas con el personal encargado del sistema (Mariano & Mendoza, 2024), de esta forma, se procederá a cuantificar el consumo promedio de cada insumo, expresado en relación con el volumen de agua tratada. Paralelamente, se estimará los costos operativos para obtener así un valor aproximado de gasto mensual o anual por insumo.

PASO 4. Ingeniería del proyecto.

La finalidad de este paso consiste en encargarse de cada aspecto relativo de la planta y la operatividad. Esto abarca desde detallar todos los procesos que intervienen, pasando por establecer la disposición más eficiente del lugar, hasta precisar la forma legal y la estructura organizativa que deberá adoptar la unidad de producción (Zlachevsky, 2022).

PASO 5. Determinación de la organización humana y jurídica.

Una vez que se determina el tamaño y los procesos del módulo, establecer un marco legal y organizativo sólido es muy importante para que funcione correctamente a largo plazo. Por lo tanto, en este paso se identifica al personal adecuado para garantizar el cumplimiento de la norma (Nichelatti, 2020). Se define la estructura operativa requerida, incluyendo el número de personas, jerarquía y funciones necesarias para operar el nuevo módulo. En cuanto al componente jurídico, se revisará la normativa aplicable a la gestión del agua potable en el Ecuador, especialmente la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, así mismo como las disposiciones técnicas del ente regulador.

2.4 Población y muestra.

2.4.1 Población.

La población de estudio estará compuesta por todo el personal operacional de la planta Atahualpa, personal administrativo y personal involucrado (control de calidad y producción) en el proceso de tratamiento de agua de la empresa Aguapen EP. Si se va a trabajar con toda la población, se quitará la sección relacionada con la muestra.

Criterio de inclusión: estará incluido todo el personal de la planta potabilizadora de Atahualpa.

Criterio de exclusión: estará excluido todo el personal que no tenga ninguna relación directa con el proceso de potabilización, y que no quieran voluntariamente participar del estudio.

Tabla 6.*Población de estudio de la planta potabilizadora Atahualpa.*

Población de estudio	Cantidad de trabajadores
<i>Personal Administrativo.</i>	
Gerencia.	1
Departamento de calidad.	3
Departamento de producción.	3
<i>Personal planta Atahualpa.</i>	
Operarios (jefe de turno).	1
Personal técnico de planta.	12
Total, personal administrativo.	
Total, personal en planta.	7
Total, personal.	13
	20

Nota: Población requerida para la elaboración del estudio.

Como se presenta en la tabla 6, se detalla la presentación del grupo estudiado, logrando de manera precisa el conteo de personas que cumplen con los requisitos de esta investigación sobre la empresa Aguapen EP.

2.4.2 Muestra.

Como en este estudio no se basa en una selección aleatoria, se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, siguiendo los criterios de Stratton, (2021), tomando la cantidad de 13 trabajadores directamente vinculados con el proceso de potabilización de la planta Atahualpa mostrados en la tabla 7. Estas personas aceptaron voluntariamente participar en el estudio y facilitaron la recolección de información, dado que su conocimiento y experiencia resultan clave para el análisis.

Tabla 7.*Muestra de estudio.*

Área	Nº Trabajadores		Total
	Hombres	Mujeres	
<i>Personal Administrativo.</i>			
Gerencia.	1	-	1
Departamento de calidad.	-	1	1
Departamento de producción.			
<i>Personal de producción.</i>			
Operarios (jefe de turno).	1	-	1
Personal técnico de planta.	1	-	1
	7	2	9
Total	10	3	13

Nota: Personas vinculadas directamente con el módulo potabilizador.

Se utilizó el muestreo no probabilístico intencional, la cual es el más apropiado para cumplir con los objetivos de la investigación “Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en Aguapen-EP”.

Unidad de análisis: cada uno de los trabajadores que están vinculados con el proceso de potabilización en la planta Atahualpa, en total 13 trabajadores, debido a la rotación de turnos.

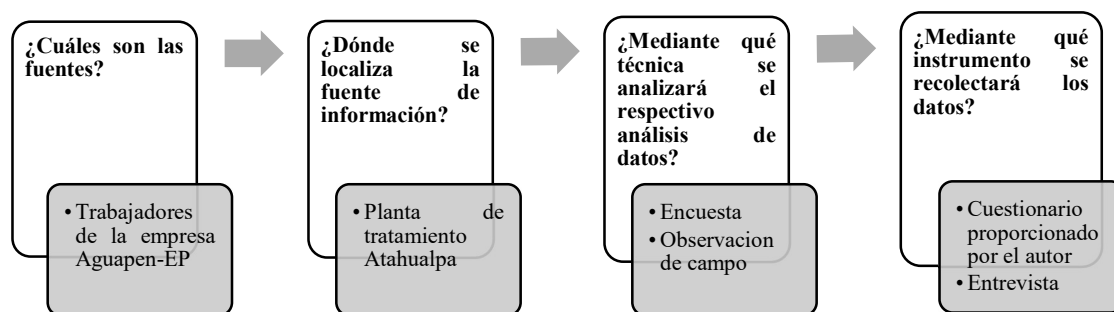
2.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

2.5.1 Métodos de recolección de datos.

En las investigaciones científicas, tanto cualitativos como cuantitativos, la obtención de datos ya sea a través de la observación directa o por medio plataformas digitales, se lleva a cabo utilizando distintas metodologías y herramientas que se establecieron en la etapa de planificación del estudio, lo que implica que el investigador formula este proceso antes de empezar a ejecutarlo, según lo indican Caicedo et al., (2022). En la figura 11, se proporciona un esquema completo que ilustra cada etapa del plan elaborado especialmente para la recopilación de información en este contexto específico.

Figura 11.

Proceso de la recolección de datos.



Nota: Elaborado por el autor.

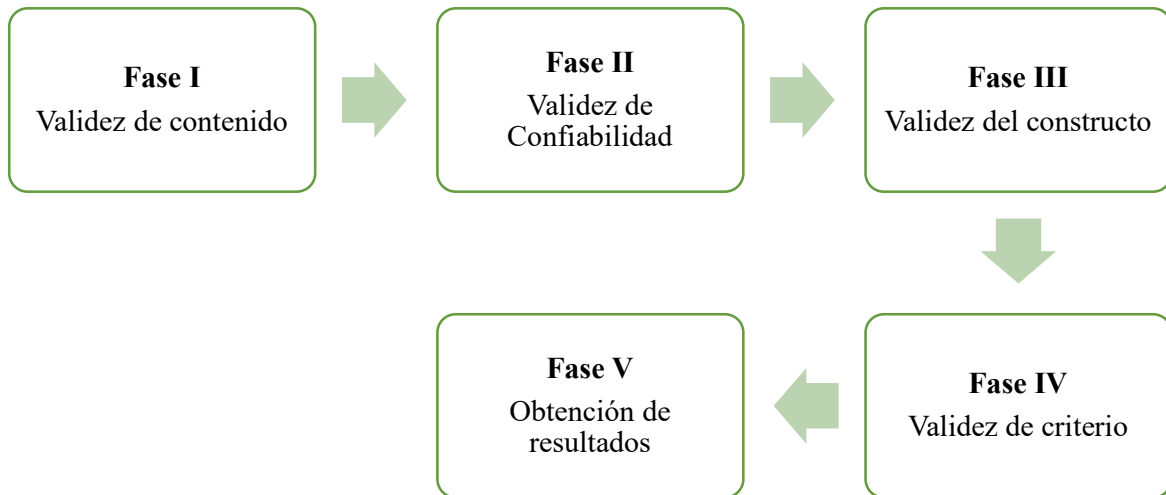
Este proceso está dirigido a la recolección de datos de los trabajadores de la empresa Aguapen EP en la parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena, se utiliza la técnica de encuesta por medio de la plataforma de Google Forms, y la recolección se llevará a cabo mediante un cuestionario proporcionado por el estudiante, donde se entregará por vía enlace al departamento de Producción para dicha distribución al personal seleccionado.

2.5.2 Técnicas de recolección de los datos.

Para recopilar y registrar la información necesaria para el análisis, se utilizó el enfoque de encuestas. Este procedimiento fue evaluado mediante el método de validación de herramientas, tal como sugieren López et al., (2019), con el objetivo de asegurar la consistencia de los datos en el contexto de la investigación científica. El propósito de este enfoque consiste en garantizar la validez del instrumento de investigación aplicable. Para la aplicación de este método se siguió por medio de fases descritas en la figura 12, la cual estableció un marco ordenado para el procedimiento.

Figura 12.

Fases de la metodología para la validación de instrumentos.



Nota: Elaborado por autor adaptado de (López et al., 2019).

Fase I: Validez de contenido.

En esta fase se constituye el instrumento de recolección de datos asegurando su validez interna. Implica una aproximación a la población para comprender la problemática y definir con precisión las variables de estudio, se lo realizará por medio de un cuestionario. Además, se recurre al juicio de expertos para evaluar si los ítems del instrumento son claros, coherentes, relevantes y exhaustivos.

Fase II: Validez de confiabilidad.

Esta fase forma parte de la validez interna del instrumento y tiene como objetivo comprobar que los resultados obtenidos sean consistentes y estables. Se evalúa la confiabilidad

mediante el método estadístico del coeficiente alfa de Cronbach, el cual determinará la proporción de la varianza de los resultados verdaderos y el error de medición.

Fase III: Validez del constructo.

En esta fase se comprueba el instrumento que mida los factores teóricos definidos en la investigación. Se utilizan análisis estadísticos y técnicas como el análisis factorial para la evaluación de la validez del constructo.

Fase IV: Validez de criterio.

En esta fase se establece la relación entre el instrumento de medición y otras variables conocidas que deberían estar vinculadas con el constructo que se está evaluando. Para valorar la validez de un criterio, se utilizan correlaciones u otros procedimientos estadísticos.

Fase V: Obtención de resultados.


Para esta fase se trata de la verificación de mantener los resultados estables a lo largo del tiempo y que en condiciones similares cuando se vuelven a tomar las mismas mediciones continúen siendo consistentes. Se asegura que los datos no presenten sesgos o cambios externos, para confirmar que las mediciones son estables y se puedan replicar. Por lo tanto, para que los resultados sean fiables se utilizan herramientas para comprobar su estabilidad.

2.5.3 Instrumentos de recolección de los datos.

Según el tipo de investigación, los objetivos y la metodología de elección, los instrumentos de recolección de datos en estudios de contexto científico varían. Estos instrumentos facilitan a los investigadores a adquirir información necesaria para el análisis de las variables (Martínez, 2022). Antes de su aplicación, el instrumento fue sometido a un proceso en donde expertos revisaron y verificaron la validez. Esta revisión garantizó la confiabilidad y pertinencia a lo que se ha determinado medir. Se utilizan criterios de inclusión y exclusión descritos en la figura 13.

Figura 13.

Criterios de inclusión y exclusión para expertos.



Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none"> • Formación académica en el área de estudio. • Experiencia comprobada en investigación. <ul style="list-style-type: none"> • Experiencia práctica. • Participación previa como evaluador. • Disponibilidad y disposición para participar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de experiencia relevante. • Conflicto de interés. • Baja disponibilidad de tiempo para el análisis. • No poseer formación académica al área de estudio. • Baja reputación académica.

Nota: Criterios específicos para la selección de expertos.

Criterios de inclusión.

- Formación académica en el área de estudio: poseer título profesional o de posgrado relacionado con el tema del cuestionario.
- Experiencia comprobada en investigación: haber participado en proyectos de investigación científica o técnica relacionados al área de estudio.
- Experiencias prácticas: haber trabajado directamente en el campo técnico del estudio, con conocimiento aplicado del contexto.
- Participación previa como evaluador: haber colaborado anteriormente en procesos de validación de instrumentos o revisión de contenidos.
- Disponibilidad y disposición para participar: tener tiempo y voluntad para analizar el cuestionario y brindar retroalimentación en los plazos requeridos.

Criterios de exclusión.

- Falta de experiencia relevante: no contar con trayectoria profesional o investigativa vinculada al tema del cuestionario.
- Conflicto de interés: tener vínculos personales o laborales que puedan sesgar su evaluación.
- Baja disponibilidad de tiempo para el análisis: no disponer del tiempo necesario para revisar el cuestionario de forma adecuada.

- No poseer formación académica al área de estudio: no tener estudios en disciplinas relacionadas con el objeto de investigación.
- Baja reputación académica: tener antecedentes cuestionables en su ejercicio académicos o profesional.

2.6 Variables del estudio.

Este estudio surge porque la organización tiene una necesidad específica, que, a pesar de funcionar correctamente su rol operativo, debe hacer frente a demandas cada vez mayores de un recurso vital por parte de los usuarios a las que brinda el servicio. Frente a esta situación, se vuelve imprescindible contar con herramientas técnicas que permitan tomar decisiones acertadas en torno a la expansión o renovación de su infraestructura de potabilización.

Variable independiente: Estudio técnico

Variable dependiente: Eficiencia operativa

2.7 Procedimiento para la recolección de los datos.

Para este estudio se seleccionó la encuesta como método clave de recolección de datos, dirigida específicamente a los trabajadores técnicos de la planta potabilizadora de agua Atahualpa de la empresa Aguapen EP. Luego de obtener la información, se somete a una evaluación y análisis mediante el software IBM SPSS Statistics 30, lo que permitió la facilidad de determinar los resultados de los datos recolectados.

En la tabla 8, se presenta un plan para la gestión de los datos recolectados propuesto por Figueredo et al., (2019), donde se lleva a cabo en fases organizadas de manera sistemática.

Tabla 8.

Plan para la recolección de datos.

N°	Plan	Procedimiento
1	Procesamiento de datos	Evaluación de los datos recolectados para eliminar información errónea. Confirmación de la información debido a datos erróneos. Tabulación de la información recolectada según las variables junto con análisis estadísticos. Informe redactado sobre los hallazgos logrados a través de la encuesta.
2	Presentación de datos	Presentación de los resultados mediante herramientas estadísticas. Presentación gráfica de los resultados para facilitar la comprensión de estos.

Nota: Elaborado por autor basado en (Figueredo et al., 2019).

2.8 Plan de análisis e interpretación de resultados.

En la tabla a continuación, se presenta el grado de cumplimiento de cada uno de los objetivos de este estudio. Para alcanzar el primer objetivo, se realizó un análisis del estado del arte a través de la revisión de diversas fuentes literarias. En el segundo objetivo, se aplica un enfoque metodológico mixto, con predominancia del enfoque cuantitativo y soporte cualitativo complementario. Se necesitó la recopilación de información utilizando un instrumento, el cual fue autorizado y validado por un grupo de expertos.

Luego, se establecieron las fases del proceso que se seguirían para el análisis de los datos recogidos, y se presentó la correspondiente evaluación de la información obtenida a través del cuestionario, gracias al uso de IBM SPSS Statistics 30 para poder comprobar la viabilidad y confiabilidad mediante el método estadístico del coeficiente alfa de Cronbach. Este mismo software se empleó para poder evaluar tanto el constructo como los criterios del cuestionario y se crearon tablas estadísticas para mostrar visualmente los resultados del análisis de datos y facilitar la comprensión del estudio, es así que para evaluar e interpretar los resultados obtenidos al alcanzar los objetivos específicos, la tabla 9 presenta una descripción detallada de los procedimientos y herramientas utilizadas con este propósito.

Tabla 9.*Plan de análisis e interpretación de datos.*

Objetivos Específicos	Procedimientos	Herramientas	Resultados esperados
OB1. Analizar la relación de los artículos científicos inmersos en la eficiencia operativa en proyecto de inversión, mediante una revisión sistemática de la literatura (RSL), considerando el método metaanálisis, para la identificación de estrategias que representen un aporte sustancial al presente estudio.	1.- Revisión de la literatura científica. 2.- Método metaanálisis, con respecto a las directrices de la declaración PRISMA. 3.- Identificación de técnicas y metodologías utilizadas en estudios similares.	1.- Revisión sistemática de la literatura. 2.- Base de datos científica. 3.- Software VOSviewer.	1.- Lista de estudios relevantes para el análisis técnico. 2.- Identificación de metodologías aplicables.
OB2. Establecer un marco metodológico, en base a los resultados obtenidos en el capítulo uno enfocados en la interpretación de métodos, técnicas e instrumentos, para el análisis técnico del proyecto de la empresa Aguapen EP.	1.- Aplicación de una metodología con enfoque mixto, con predominancia cuantitativa. 2.- Planificación para la recolección de datos. 3.- Validación del instrumento (cuestionario).	1.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos. 2.- Método de validación del instrumento.	1.- Determinación de la metodología. 2.- Definición de población y muestra. 3.- Propuesta metodológica estructurada.
OB3. Evaluar los resultados del estudio técnico, mediante el análisis de indicadores de eficiencia operativa y criterios técnicos, para la propuesta de viabilidad del proyecto.	1.- Aplicación de técnicas de recolección de datos. 2.- Análisis estadístico y verificación de fiabilidad. 3.- Presentación e interpretación de resultados.	1.- Software IBM SPSS Statistics 30.	1.- Tabulación y análisis de los datos recolectados. 2.- Evaluación técnica del sistema. 3.- Conclusiones y recomendaciones finales.

Nota: Procedimientos para el cumplimiento de los objetivos específicos

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción de la empresa.

3.1.1 Generalidades.

Aguapen EP se fundó como una empresa de carácter privado, constituida bajo las normas legales ecuatorianas el 14 de diciembre de 1999 bajo la actividad económica principal de proporcionar servicios públicos de sistema de alcantarillado para aguas residuales, sistema de drenaje pluvial y el tratamiento de aguas residuales para Santa Elena.

Figura 14.

Logo de Aguapen EP.



Fuente: Aguapen EP.

Aguapen EP brindar un servicio respetuoso y responsable tanto a los usuarios como a la comunidad que vive o visita la provincia.

Tabla 10.

Datos generales de la empresa.

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

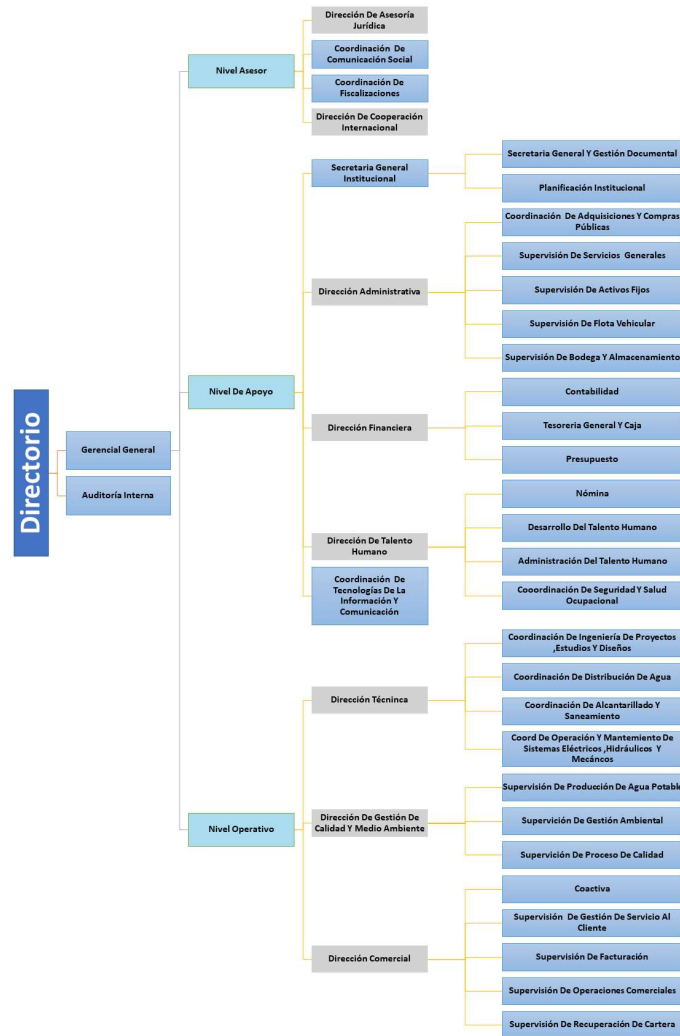
Nota: Elaborado por el autor.

3.1.2 Organigrama estructural.

La figura 15 presenta el organigrama estructural de la empresa, cuenta con una estructura organizativa jerárquica que permite una gestión técnica, operativa y administrativa eficiente. Esta estructura está organizada en tres niveles principales: nivel asesor, nivel de apoyo y nivel operativo, todos bajo la supervisión del gerente general y la auditoría interna, los cuales dependen directamente del directorio de la empresa.

Figura 15.

Estructura organizacional de Aguapen EP.



Fuente: Aguapen EP.

3.2 Marco de resultados.

3.2.1 Validación del instrumento de recolección de datos.

La validación de la información aseguró la calidad y fiabilidad de los resultados de la investigación, al asegurar que los instrumentos que se usaron fueron precisos, se proporcionaron datos sólidos sobre los cuales dar conclusiones y recomendaciones.

3.2.1.1 Fase I: Validez de contenido.

Construcción del cuestionario.

Se implementó un cuestionario para la recopilación de información, el cual incluyó 16 preguntas con caracteres cerrados (Sí, No, y Tal vez) (**Anexo 1**). Estas preguntas se formularon con la finalidad de conocer la situación inicial del módulo potabilizador de agua de Aguapén EP, y para la selección de los criterios de diagnóstico e indicadores para la realización del estudio técnico.

Juicio de experto.

Para asegurar que las preguntas del cuestionario fueran comprensibles, pertinentes, precisas y adecuadas, se constituyó un grupo de cinco expertos, cuyos perfiles fueron previamente evaluados con base a los criterios de inclusión y exclusión. Estos fueron contactados presencialmente, presentando la documentación (**Anexo 18**) por correo electrónico, recibiendo respuestas a la brevedad.

3.2.1.2 Fase II: Validez de confiabilidad.

Según Sampieri et al., (2014), existen distintos procedimientos para calcular la confiabilidad de un instrumento de compuesto por varias escalas que miden las variables de un estudio.

Uno de los coeficientes más ampliamente aceptados para evaluar la confiabilidad de un instrumento es el coeficiente alfa de Cronbach (Videla et al., 2024). De la misma manera, se calculó mediante los criterios establecidos por el autor citado anteriormente y se muestra de la siguiente manera:

Alfa de Cronbach entre 0,7 y 0,9 es excelente.

Alfa de Cronbach entre 0,4 y 0,6 es aceptable.

Alfa de Cronbach < a 0,4 es inaceptable.

En la tabla 11 se estableció el procesamiento de casos, puesto que las preguntas tienen caracteres de 1 al 3 en las alternativas de respuesta.

Tabla 11.

Valoración de procesamiento de datos.

Resumen de proceso de casos			
		N	%
Casos	Válido	13	100,0
	Excluido ^a	0	0,0
	Total	13	100,0

a. La eliminación por lista se fundamenta en todas las variables del proceso.

Nota: Elaborado por el autor.

En la tabla 12, se determinó la confiabilidad del instrumento de recolección de información como excelente según el cálculo realizado en el software IBM SPSS Statistics 30 siguiendo los criterios establecidos.

Tabla 12.

Valoración alfa de Cronbach.

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
0,913	16

Nota: Elaborado por el autor.

Se estableció que el análisis realizado por la obtención de resultados correspondientes a la aplicación del cuestionario aplicado a los empleados encargados del módulo potabilizador de agua de Aguapen EP, y del análisis ejecutado en el software IBM SPSS Statistics demuestra una intervención en su eficiencia operativa. En consecuencia, se procede a establecer un planteamiento de hipótesis y una propuesta.

3.2.1.3 Fase III: Validez del constructo.

El coeficiente Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) evalúa si existe un nivel suficiente de correlación entre las variables para justificar el uso del análisis factorial, mientras que la prueba de esfericidad de Bartlett determina si la matriz de correlaciones se aparta de forma significativa de una matriz identidad, lo que evidencia la presencia de correlación entre los ítems (Shrestha, 2021). En la Tabla 13 se registra el valor calculado del índice KMO, dato esencial para confirmar la adecuación de los datos antes de emprender el análisis factorial del cuestionario.

Tabla 13.*Valor Kaiser – Meyer – Olkin (KMO).*

Valor Kaiser – Meyer – Olkin (KMO)	Análisis factorial
KMO < 0.5	Los resultados del análisis factorial probablemente no sean adecuados para el análisis de los datos.
KMO < 0.6	Estos resultados sugieren que el proceso de muestreo no es apropiado y que se deben tomar medidas correctivas.
0.6 < KMO < 0.7	Los valores son promedio o mediocres.
0.7 < KMO < 0.8	Los valores son medianos.
0.8 < KMO < 1.0	Los valores representan que el muestreo es el adecuado.
KMO = 1.0	Los valores demostraron que el muestreo es perfecto.

Nota: Elaborado por el autor.

La tabla 13 presentó los resultados de las pruebas KMO y Barlett, la misma que demostró ser de importancia para verificar la funcionabilidad de los datos para el análisis factorial, es así que la medida del muestreo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) obtuvo un valor de 0.7, esto sugiere que la matriz de datos es la adecuada para este análisis. Este resultado aporta confianza en la estructura de los datos y en su capacidad para identificar elaciones subyacentes entre las variables evaluadas en el cuestionario.

Tabla 14.*Prueba de KMO y Bartlett.*

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	0,768	
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	44,531
	gl	21
	Sig.	0,002

*Nota: Elaborado por el autor.***3.2.1.4 Fase IV: Validez de criterio.**

La validez del criterio se basó en la estimación de la relación entre el resultado obtenido al usar el instrumento para el acopio de datos y los anteriores criterios conocidos. En este aspecto, el coeficiente de concordancia Kendall (CCK) se utilizó estadísticamente para establecer el grado de similitud entre un conjunto presuntivo de variables que son expresadas en rangos o numerales ordinales. Está este coeficiente entre 0 y 1, en el que se establece que 1 es un acuerdo o concordancia, mientras que 0 es una contradicción o independencia según (Aithal & Aithal, 2020).

Según lo establecido antes, el resultado que se presenta en la tabla 15 establecen un coeficiente Kendall de 0,727. Este valor refleja un alto nivel de concordancia entre las evaluaciones de los expertos, lo que incrementa la validez del instrumento.

Tabla 15.

Estadísticos de prueba Kendall.

Estadísticos de prueba	
N	13
W de Kendall ^a	0,727
Chi-cuadrado	141,802
gl	15
Sig. asintótica	0,000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall.

Nota: Elaborado por el autor.

3.2.1.5 Fase V: Obtención de resultados

Para la recopilación de información, se utilizó un muestreo por conveniencia, conforme a lo detallado en el capítulo II. Se encuestó a un total de 13 empleados de la planta Atahualpa. Posteriormente, los datos obtenidos de la encuesta (**Anexo 2**) fueron analizados utilizando el software IBM SPSS Statistics 30, lo que permitió una evaluación exhaustiva y precisa de los resultados.

La tabla 16, otorga un resumen de los datos obtenidos para la evaluación inicial del problema de la empresa.

Tabla 16.

Tabulación de matriz general.

Preguntas	Respuestas			Total
	Si	No	A veces	
P 1	13	0	0	13
P 2	13	0	0	13
P 3	5	0	8	13
P 4	9	0	4	13
P 5	10	3	0	13

P 6	9	0	4	13
P 7	13	0	0	13
P 8	8	0	5	13
P 9	8	0	5	13
P 10	9	0	4	13
P 11	0	9	4	13
P 12	0	9	4	13
P 13	10	0	3	13
P 14	0	0	13	13
P 15	8	0	5	13
P 16	0	10	3	13
Total	115	31	62	208
Total general			208	

Nota: Elaborado por el autor.

Análisis de resultados del cuestionario

La tabla 17 muestra el resumen de la información obtenida de las preguntas empleadas en base a los trabajadores del módulo potabilizador de agua Aguapen EP, de esta forma, cada fila de la Tabla corresponde a una pregunta específica enumerada del 1 al 20, la segunda columna corresponde al análisis e interpretación del resultado y la tercera columna representó el anexo al que se encuentran vinculados para hallar más información sobre los resultados.

Tabla 17.

Análisis de resultados

Número de pregunta	Análisis e interpretación
P1 (Ver anexo 2)	El módulo potabilizador cuenta con planes técnicos completamente actualizados en todos los casos estudiados. Esto es un indicador positivo para la eficiencia operativa del módulo potabilizador, debido a que la actualización de los planes técnicos es crucial para el funcionamiento óptimo y la adaptación a nuevas tecnologías y regulaciones.
P2 (Ver anexo 3)	En la pregunta número dos: “¿El diseño del módulo cumple con las normativas técnicas como el INEN o similares?”, todos los encuestado indican que el diseño cumple con las normativas técnicas del INEN u otras similares. No hay respuestas “no” o “a veces”, lo que sugiere que no hay casos donde el diseño del módulo no cumpla con las normativas o lo haga parcialmente.
P3 (Ver anexo 4)	En la tercera pregunta se consultó si el módulo cumple con el caudal de tratamiento necesario. El 38% de los encuestados respondió que sí lo hace siempre, mientras que el 62% indicó que solo lo logra a veces. Esto muestra que el módulo no funciona de forma constante y presenta ciertas irregularidades que podrían deberse a problemas en su funcionamiento o en las condiciones bajo las que opera.
P4 (Ver anexo 5)	En la cuarta pregunta sobre la estabilidad del proceso, el 69% de los encuestados considera que el módulo funciona de forma estable, mientras que el 31% dice que solo es estable a veces. Nadie afirmó que el proceso sea inestable. Aunque la mayoría percibe

	estabilidad, también hay una parte significativa que experimenta ciertas irregularidades, lo que podría reflejar problemas puntuales que afectan el buen funcionamiento del módulo.
P5 (Ver <u>anexo 6</u>)	En la quinta pregunta, se consultó si el módulo funciona dentro de un sistema automatizado. El 77% de los encuestados respondió que sí, mientras que el 23% indicó que no. Esto sugiere que la mayoría percibe que el módulo opera con tecnología automatizada, lo cual es positivo para su eficiencia. Sin embargo, también hay una parte que señala la falta de automatización, lo que podría afectar la uniformidad del funcionamiento en algunos casos.
P6 (Ver <u>anexo 7</u>)	En la sexta pregunta, sobre el uso de tecnologías modernas en el módulo de tratamiento de agua, el 69% de los encuestados considera que sí se utilizan, mientras que el 31% opina que solo se usan a veces, de esta forma esto muestra que la mayoría observó que el módulo está avanzado de una manera tecnológica, siendo un aspecto positivo para su eficiencia y sostenibilidad.
P7 (Ver <u>anexo 8</u>)	Para la pregunta siete todos los encuestados coincidieron en que las instalaciones se encuentran en excelente estado, por lo tanto, este resultado muestra una percepción positiva, sugiriendo que las instalaciones están bien cuidadas y quizás han sido modernizadas, por ende, esta opinión general refuerza la idea de un buen manejo y mantenimiento, fundamentales para el buen funcionamiento del módulo.
P8 (Ver <u>anexo 9</u>)	En la octava pregunta, el 62% de los encuestados señaló que los componentes del módulo son fácilmente accesibles para su mantenimiento, lo que indica una percepción mayoritariamente positiva sobre su diseño. Sin embargo, el 38% mencionó que esa accesibilidad solo se da a veces, lo que sugiere que en ciertas condiciones puede resultar más complicado hacer mantenimiento.
P9 (Ver <u>anexo 10</u>)	En la novena pregunta, el 62% de los encuestados consideró que el número de trabajadores establecidos es el necesario para operar el módulo y por otro lado el 38% mencionó que solo lo es en ciertos casos, reflejando una percepción mayoritariamente positiva sobre la asignación de personal, aunque también señala que, en algunos momentos, podría no ser suficiente.
P10 (Ver <u>anexo 11</u>)	En la décima pregunta, el 69% de los encuestados dijo que los insumos necesarios para la potabilización están disponibles; esto refleja una percepción mayoritariamente positiva en base al acceso de los recursos, aunque el 31% dijo que dichos insumos solo están disponibles pocas veces, lo que sugiere que en ciertas situaciones pueden faltar. Aunque en general se cuenta con lo necesario para garantizar un proceso continuo y eficiente, esta intermitencia en la disponibilidad es un aspecto que merece atención.
P11 (Ver <u>anexo 12</u>)	En la undécima pregunta, ninguno de los encuestados consideró que el módulo produzca siempre la cantidad de agua potable necesaria. El 69% afirmó que no genera suficiente agua, y el 31% indicó que solo lo hace a veces. Esto refleja una percepción mayoritariamente negativa sobre su capacidad de producción, lo cual es preocupante, ya que sugiere que el módulo no está cumpliendo con uno de sus objetivos principales: cubrir de forma constante la demanda de agua potable.
P12 (Ver <u>anexo 13</u>)	En la pregunta doce, ningún encuestado contestó que el módulo puede abastecer completamente con agua potable, por otro lado, el 69% afirmó que no es posible, y el 31% indicó que solo se logra en ciertas ocasiones, demostrando una percepción negativa sobre su capacidad de abastecimiento, siendo algo preocupante, debido a que indica que el módulo no está se está desempeñando de forma constante con una de sus funciones principales la cual es garantizar agua potable suficiente para toda la comunidad.
P13 (Ver <u>anexo 14</u>)	En la pregunta trece el 77% de los encuestados mencionó que el módulo funciona de forma continua durante la jornada laboral e indicando una percepción positiva sobre su estabilidad operativa, no obstante, el 23% mencionó que el funcionamiento no es siempre constante y revelando que aún existen algunas interrupciones.
P14 (Ver <u>anexo 15</u>)	En la catorce todos los encuestados coincidieron en que sí ocurren interrupciones inesperadas durante el funcionamiento del módulo, pero solo de forma ocasional, es así que, si bien las fallas no son constantes, son lo suficientemente frecuentes como para ser reconocidas por todos.
P15 (Ver <u>anexo 16</u>)	En la pregunta quince, el 62% de los encuestados dijo que el mantenimiento del módulo se realiza según lo planificado e indicando una percepción positiva sobre su gestión; por otro lado, el 38% mencionó que esto solo ocurre a veces, lo que sugiere que en ciertos casos no se cumple con los tiempos establecidos.

P16 (Ver anexo 17)	En la pregunta dieciséis, ninguno de los encuestados mencionó que el cronograma de mantenimiento técnico se cumpla puntualmente, un 77% afirmó que no se realiza según lo planificado y el 23% dijo que solo se cumple a veces, reflejando una percepción negativa, evidenciando retrasos frecuentes en el mantenimiento.
--------------------------	---

Nota: Elaborado por el autor.

Resultados de entrevista.

En la tabla 18, se presentaron los resultados de la aplicación de entrevista en los departamentos de administración y producción para complementar la información recolectada.

Tabla 18.

Resultados de entrevista.

Departamento	Preguntas	Respuestas
Administración	1. ¿Cuál es la distribución de la planta potabilizadora de agua?	La planta potabilizadora está organizada en diferentes áreas, cada una diseñada para que el proceso fluya de manera ordenada. Todo comienza con la captación del agua cruda, que luego pasa por las etapas de decantación, sedimentación, filtración, y finalmente llega al reservorio. Cada sección está separada físicamente, lo que facilita tanto el control operativo como el mantenimiento. Además, contamos con una cámara de reunión, oficinas técnicas y espacio para futuras ampliaciones. Gracias a esta distribución, el sistema puede funcionar de forma eficiente y segura.
	2. ¿Qué tecnologías recientes se han incorporado en los módulos potabilizadores?	Por ahora, el módulo potabilizador no cuenta con tecnologías recientes, porque todavía estamos en la etapa de evaluación y planificación para hacer mejoras a futuro. Estamos desarrollando un proyecto que incluirá sistemas automatizados y monitoreo en tiempo real, pero por el momento, el módulo funciona con tecnología tradicional y procesos principalmente hidráulicos.
	3. ¿Tiene el diseño estructural actual la capacidad de soportar futuras ampliaciones o mejoras técnicas sin necesidad de una reconstrucción completa?	Sí porque la configuración estructural del módulo potabilizador se concibió desde el inicio para la posibilitación futura de expansiones técnicas. La planta también tiene un esquema modular y espacio libre y simplifica la incorporación de nuevas tecnologías o el aumento de la capacidad operativa en el momento que se necesite.
	4. ¿Cuántas personas por jornada están asignadas actualmente para la operación y mantenimiento de las unidades?	Ahora solo contamos con una persona en cada turno que está encargada tanto del funcionamiento como el mantenimiento de la unidad.
	5. ¿Cuál es el intervalo de tiempo para el abastecimiento de insumos esenciales para la operación?	El tiempo que se necesita para el abastecimiento de insumos para la operación del módulo potabilizador normalmente es quincenal o mensual y depende del tipo de insumo y su nivel de consumo. Por ejemplo, el PAC (coagulante), está determinado por la preparación de las tolvas cada 10 horas, y su reemplazo completo se realiza cada 4 días. Este ritmo de consumo requiere una reposición programada del insumo al menos una

	<p>vez por semana, para asegurar la continuidad del proceso sin interrupciones y mantener la calidad del tratamiento del agua.</p>
6. ¿Cuál es el registro histórico de cumplimiento diario o mensual respecto a la cantidad de agua distribuida con respecto a la demandada?	<p>El registro histórico de cumplimiento muestra que la planta ha logrado atender la demanda diaria y mensual de distribución de agua, gracias a su operación continua las 24 horas del día, los 7 días de la semana, y a un caudal actual de 960 litros por segundo. Los módulos manejan un cierto volumen de agua por segundo, pero si la demanda supera ese nivel, satisfacer todas las necesidades de distribución puede resultar imposible. Esto genera presión en la operación y puede afectar la continuidad del servicio. Por eso, estamos analizando opciones para ampliar la capacidad o incluso agregar un nuevo módulo, con el objetivo de responder de manera eficiente al crecimiento de la demanda en la zona.</p>
7. ¿Cómo afecta la capacidad instalada de los módulos al cumplimiento de los volúmenes de distribución solicitados?	<p>Los principales motivos que han causado retrasos o incumplimientos en el cronograma de mantenimiento están relacionados con el aumento en la demanda de agua por parte de la población. Esto obliga a que el módulo funcione de manera continua, reduciendo los momentos disponibles para realizar los mantenimientos programados. Además, la calidad del agua cruda varía bastante, especialmente cuando llega con mucha carga de sedimentos o contaminantes, lo que requiere una atención extra y ajustes constantes en el proceso. Todo esto dificulta que se pueda llevar a cabo el mantenimiento técnico en los tiempos planificados.</p>
8. ¿Qué causas han provocado retrasos o incumplimientos en el cronograma de mantenimiento?	<p>Considerando los parámetros hidráulicos del sistema y las necesidades de la comunidad, el caudal ideal para la planta es de 880 litros por segundo. Esta cifra representa el límite de capacidad diseñada de los módulos. Sin embargo, la planta produce 970 litros por segundo para satisfacer la demanda actual. Aunque esta situación se ha manejado con algunos ajustes técnicos, a largo plazo podría afectar la eficiencia y la vida útil del sistema si no se toman medidas para ampliar o modernizar la planta.</p>
9. Teniendo en cuenta las necesidades de la población junto con los aspectos hidráulicos relacionados con el sistema de captación y tratamiento ¿Cuál sería el caudal ideal para la planta?	<p>Cada día monitoreamos varios parámetros para asegurarnos de que el módulo potabilizador funcione de manera estable. Principalmente controlamos el caudal de entrada y salida, la turbidez del agua en distintas etapas, el nivel de cloro residual para garantizar una desinfección adecuada, y el pH para mantenerlo dentro del rango permitido. También revisamos la presión en las tuberías, el nivel de los tanques, y verificamos que las bombas, válvulas y filtros estén trabajando correctamente. Gracias a esto, podemos detectar cualquier problema a tiempo y asegurar que la operación siga siendo continua y segura.</p>
Producción	
10. ¿Qué parámetros operativos se monitorean diariamente para asegurar la estabilidad de los módulos potabilizadores?	

11. ¿Qué funciones de los módulos están automatizadas actualmente?	Actualmente, el módulo no cuenta con funciones automatizadas, ya que el sistema es un diseño hidráulico y opera de manera manual, sin integración de controles electrónicos o automatización en sus procesos.
12. ¿Qué materiales predominan en la infraestructura de los módulos?	Los materiales predominantes en la infraestructura son de concreto armado para las estructuras principales, acero inoxidable en tuberías y tanques, y PVC para tuberías y accesorios secundarios, debido a su resistencia a la corrosión y durabilidad.
13. ¿Los módulos cuentan con espacios adecuados para realizar reparaciones o reemplazos sin interrumpir toda la operación?	Sí porque el módulo incluye áreas importantes que permiten realizar las reparaciones o reemplazos sin tener que detener la operación y, además, la planta dispone de espacio suficiente para futuras ampliaciones.
14. ¿Cuál es el volumen promedio de agua tratada diariamente con los módulos?	Cada día los módulos tratan un volumen de agua que promedia los 85.000 metros cúbicos y esta cantidad resulta del caudal actual de operación, que es de 970 litros por segundo, funcionando de manera continua todo el día y permite satisfacer la demanda poblacional actual de manera eficiente.
15. ¿Cuáles son las causas más comunes de las paradas no programadas?	Las causas que ocasionan las paradas no programadas suelen ser fallas en las bombas por el desgaste o por variaciones eléctricas; también ocurren por bloqueos en las tuberías debido a acumulación de sedimentos o residuos. En algunos casos, se presentan problemas con los tableros eléctricos o desgaste en válvulas que requieren atención inmediata. Estas situaciones las atendemos de inmediato para restablecer la operación lo antes posible.
16. ¿Qué partes durante el proceso requieren mantenimiento preventivo con mayor frecuencia?	Las partes del proceso que necesitan mantenimiento preventivo con más frecuencia son, principalmente, las válvulas de desagüe. Estas válvulas se usan constantemente para la purga y limpieza de los equipos, y están expuestas todo el tiempo a la presión, sedimentos y químicos del proceso.

Nota: Elaborado por el autor.

3.3 Planteamiento de hipótesis.

3.3.1 Verificación de hipótesis.

Se realizó una prueba de hipótesis usando el software SPSS Statistics 30 y para ello se utilizó la herramienta de correlación de Pearson, la misma que facilita la evaluación del vínculo existente entre dos variables analizadas. Un valor de $r=1$ indica una correlación positiva perfecta entre las variables, lo que lleva a aceptar la hipótesis alternativa y rechazar la hipótesis nula. Por otro lado, si $r=-1$, esto señala una correlación negativa perfecta, implicando la aceptación de la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa.

Si $r = 0$ no existe correlación.

Si $0 < r < 0.25$ = débil correlación.

Si $0.25 \leq r < 0.75$ = existe correlación intermedia.

Si $0.75 \leq r < 1$ = existe una correlación fuerte.

Si $r = \pm 1$ = perfecta correlación.

Para el análisis de la correlación de Pearson se presentan las variables y se forman las hipótesis:

VI: Estudio técnico.

VD: Eficiencia operativa.

Hipótesis nula.

El estudio técnico no permite mejorar la eficiencia operativa del módulo potabilizador de agua de Aguapen EP.

Hipótesis alterna.

El estudio técnico permite mejorar la eficiencia operativa del módulo potabilizador de agua de Aguapen EP.

3.3.2 Correlación de variables.

Hernández Sampieri et al., (2014) indica que si P es menor del valor 0.05, se dice que el coeficiente es significativo en el nivel 0.05 (95% de confianza en que la correlación sea verdadera y 5% de probabilidad de error). Si es menor a 0.01, el coeficiente es significativo al nivel 0.01 (99% de confianza en que la correlación sea verdadera con 1% de probabilidad de error).

A continuación, la tabla 19 muestra la correlación que existe entre las variables independiente y dependiente, indicando el coeficiente de Pearson tiene el valor de 1. En este caso, $r=0,927$ y el nivel de significancia de 0.

Comprobación de hipótesis con la correlación de Pearson.

Tabla 19.

Coefficiente de correlación de Pearson.

Correlaciones			
		VI	VD
VI	Correlación de Pearson	1	0,927**
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	13	13
VD	Correlación de Pearson	0,927**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	13	13

** . La correlación es demostrativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota: Elaborado por el autor.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados, hay relación entre las variables presentadas. Como resultado dentro de este estudio, el nivel de significancia es 0,927 para cada variable, indicando que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Es decir, el estudio técnico mejorará la eficiencia operativa del módulo potabilizador de agua de Aguapen EP.

3.4 Estudio Técnico.

Objetivos y generalidades del estudio técnico. Partes que lo conforman:

Objetivo general.

Realizar un estudio técnico del módulo potabilizador de agua para el mejoramiento de la eficiencia operativa en Aguapen EP mediante el análisis de su funcionamiento y su impacto en la optimización de los procesos de abastecimiento de agua potable.

Objetivos específicos.

OE1: Diagnosticar el estado actual de los módulos potabilizadores en términos de tecnología, capacidad de tratamiento y condiciones operativas.

OE2: Proponer recomendaciones técnicas para la optimización del módulo potabilizador y su integración eficiente dentro de los procesos operativos de Aguapen EP.

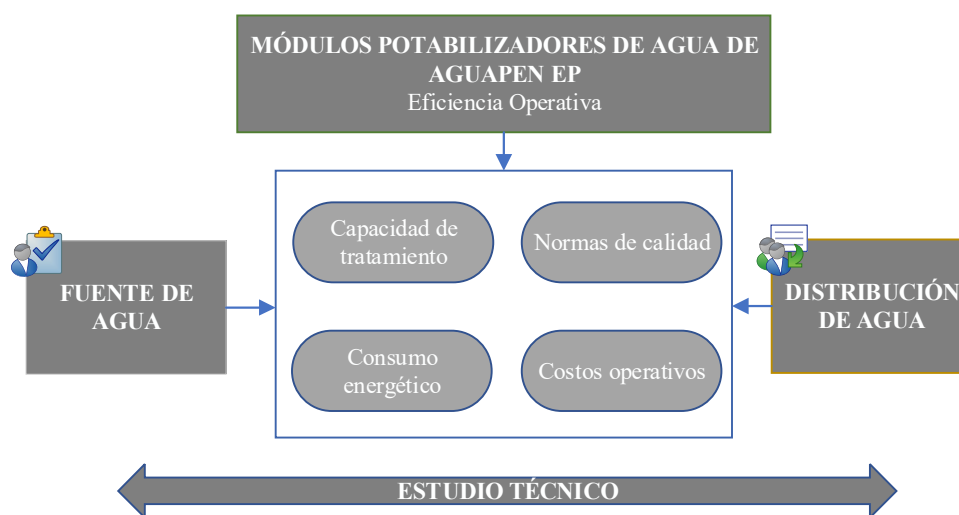
OE3: Estimar el impacto potencial de las mejoras propuestas en la eficiencia operativa para el servicio de distribución de agua potable.

La cadena de suministro y la tecnología informática.

Se mencionó la importancia de la cadena de suministros en el estudio técnico, por lo que se deben proponer herramientas necesarias para el diseño, administración y optimización de cada uno de los eslabones de dicha cadena de suministros.

Figura 16.

Cadena de suministro del módulo potabilizador de agua de Aguapen EP.



Nota: Elaborado por el autor.

La figura 16, presentó la cadena de suministros de la empresa Aguapen EP, la misma que se trabaja de forma coordinada para beneficio de todas las partes que la conforman. Este es un componente clave para garantizar el acceso continuo, seguro y eficiente al agua potable en las zonas de cobertura.

Optimización de los procesos productivos.

Aguapen EP busca realizar de manera eficiente su producción, modulando cada paso del ciclo hídrico, lo que abarca la recolección, el tratamiento y la distribución del agua.

1. Módulos de potabilización de agua (MPA 1 y MPA 2)

Estos módulos son dos grandes estructuras hidráulicas de hormigón armado, las cuales ocupan un área aproximada de 940 m² por cada módulo. Componen un grupo de piscinas superficiales, sin cubierta, formadas por altos muros construidos con hormigón de una gran resistencia, en una cimentación especial, proporcionada de drenaje de fondo. Cada MPA está constituido por dos submódulos simétricos, cada uno comprende un floculador hidráulico que

consta de pantallas verticales y de flujo vertical, un decantador laminar de flujo empinado y dos filtros de flujo descendente, lechos mixtos, auto lavables y tasa declinante.

Figura 17.

Módulos de potabilización de agua.



Fuente: Aguapen EP.

Cada módulo cuenta con alumbrado exterior propio, compuesto de cuatro reflectores de vapor de sodio de 1000 W cada uno, montados en postes de hierro galvanizado de 12 metros. Las instalaciones eléctricas circulan en bandejas metálicas colocadas bajo los andenes de cada MPA.

2. Producción

En el contexto de la optimización del proceso productivo del módulo potabilizador de Aguapen EP, se desea producir una cantidad de agua potable suficiente para resguardar de manera eficaz y continua la demanda actual y proyectada de la población.

Los módulos de procesamiento de agua existentes fueron dimensionados para una capacidad nominal de 400 l/s. Cada uno posee dos submódulos para una mayor flexibilidad de operación. La capacidad de procesamiento de conformidad con la concepción original del módulo es de $\pm 10\%$ del caudal nominal. La capacidad actual de tratamiento se muestra en la siguiente tabla 20:

Tabla 20.

Capacidad de procesamiento de agua planta Atahualpa.

Módulo	Submódulo	Capacidad nominal (L/s)	Capacidad mínima (L/s)	Capacidad máxima (L/s)
MPA-01	SMPA 1.1	200	160	220
	SMPA 1.2	200	160	220
MPA-02	SMPA 2.1	200	160	220
	SMPA 2.2	200	160	220
Total		800		880

Fuente: Aguapen EP.

3. Turnos de trabajo

Para garantizar una operación continua y eficiente del módulo potabilizador de agua de la empresa Aguapen EP, se proyecta trabajar los 7 días de la semana con una programación de 2 turnos de trabajo diarios, cada uno de 8 horas, cubriendo un total de 16 horas diarias de operación para una mayor eficiencia. Esta planificación responde a la necesidad de mantener un suministro constante de agua potable para la población, evitar interrupciones en el servicio y finalmente optimizar el rendimiento del sistema de tratamiento.

4. Automatización

En el marco de la optimización del proceso productivo del módulo potabilizador de agua, la empresa proyecta automatizar entre un 60% y 80% de las operaciones críticas del sistema. Esta automatización está basada principalmente en las fases del proceso que requieran una alta precisión, monitoreo constante y el control eficiente de las variables tales como: (Dosificación de químicos, Control de caudales, Monitoreo en tiempo real de parámetros de la calidad de agua, Control automático de válvulas y bombas.)

3.4.1 Paso 1: Análisis y determinación de la localización óptima del proyecto.

Figura 18.

Ubicación geográfica planta Aguapen EP.



Fuente: Google Earth, 2025.

Identificar el lugar de implementación del nuevo módulo potabilizador es muy importante para garantizar que el sistema funcione correctamente y que suficientes trabajadores puedan operarlo.

Método cualitativo por puntos. Ventajas y desventajas.

En este estudio, este método nos permite evaluar distintas opciones de ubicación, tecnología o diseño del módulo potabilizador de manera ordenada, asignando puntajes ponderados a criterios técnicos, económicos y operativos previamente definidos.

Tabla 21.

Método cualitativo por puntos.

Factor relevante	Peso asignado	ATAHUALPA		ZAPOTAL	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Proximidad a la fuente de agua cruda.	0,14	10	1,4	8	1,12
Accesibilidad vial y logística.	0,07	9	0,63	7	0,49
Disponibilidad de espacio físico adecuado.	0,08	9	0,72	9	0,72
Conectividad con la red de distribución existente.	0,12	10	1,2	8	0,96
Seguridad del sitio.	0,07	9	0,63	7	0,49
Topografía y condiciones del terreno.	0,08	10	0,8	8	0,64
Disponibilidad y estabilidad del suministro eléctrico.	0,1	9	0,9	8	0,8
Factibilidad legal y administración del terreno.	0,15	10	1,5	9	1,35
Impacto ambiental y social.	0,1	8	0,8	10	1
Viabilidad técnica para la construcción.	0,09	9	0,81	7	0,63
Suma.	1		9,39		8,2

Nota: Elaborado por el autor.

En la tabla anteriormente presentada se evaluaron dos posibles sitios para la implementación del módulo potabilizador de agua:

Alternativa A: planta actual en la parroquia Atahualpa.

Alternativa B: Zapotal.

Anteriormente se mencionó que el análisis se realizó gracias al método cualitativo por puntos, el mismo que asigna pesos a 10 factores clave para la localización óptima del módulo, y se califica cada factor de 1 a 10 según el desempeño evaluado.

Para este caso la alternativa A supera a la opción B, con una diferencia de 1,19 puntos e indicando una mayor viabilidad técnica y operativa del sitio actual. De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el método cualitativo por puntos, se concluye que la planta ubicada en la parroquia Atahualpa (alternativa A) representa la opción óptima para la implementación del módulo potabilizador de agua.

Distribución de planta.

La distribución de planta es el área física de los diferentes departamentos que tiene la compañía para realizar su actividad productiva. El área donde se desarrolló este estudio fue principalmente en los MPA de Aguapen EP.

Tabla 22.

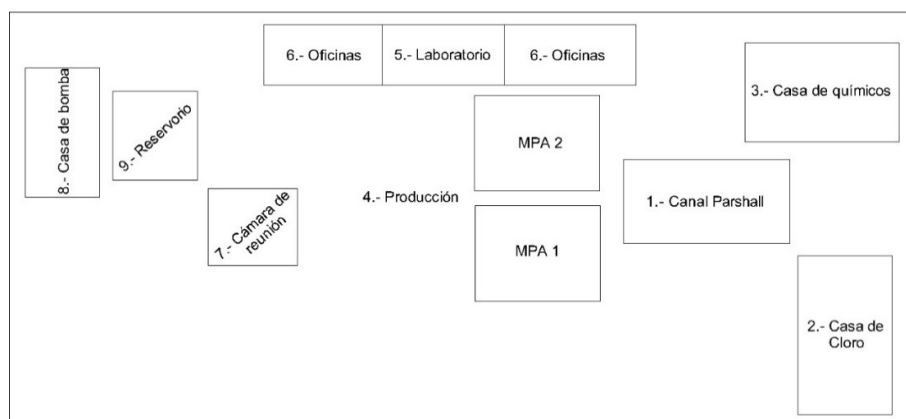
Área de distribución de planta.

Descripción	Extensión
Área de mantenimiento.	350 m ²
Área de sulfato de aluminio.	935 m ²
Área de cloro.	444 m ²
Área de cámara Parshall.	200 m ²
Área de potabilización de agua #1.	735 m ²
Área de potabilización de agua #2.	735 m ²
Área de oficinas.	392 m ²
Área de postcloración.	112 m ²
Área de reservorio.	567 m ²
Área de casa de fuerza.	36 m ²
Área de estación de bombeo.	928 m ²
Total.	5.234 m²

Fuente: *Aguapen EP.*

Figura 19.

Distribución de planta actual.



Nota: Elaborado por el autor.

La figura 19, representa la distribución de planta actual, contando con casa bomba, reservorio, oficinas, laboratorio, cámara de reunión, MPA1 Y 2, canal de Parshall, casa de químicos y la casa de cloro. Cada área cumple con una función específica que contribuye al funcionamiento general de la instalación.

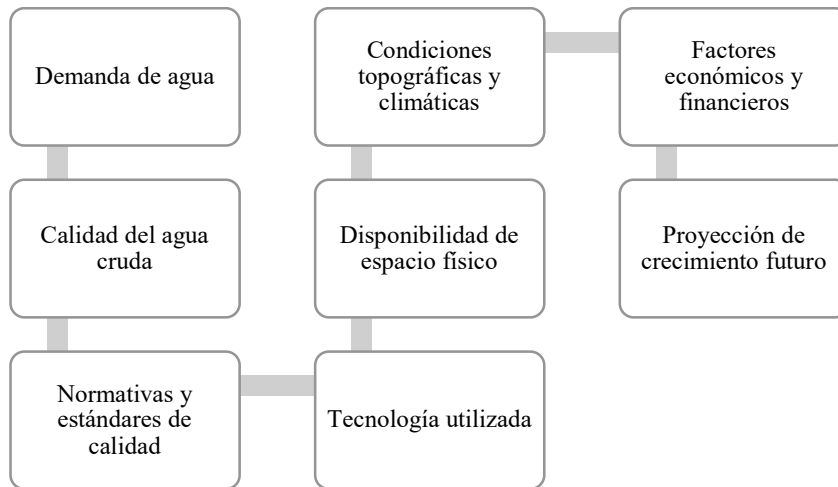
3.4.2 Paso 2: Análisis y determinación del tamaño óptimo del proyecto.

Factores que determinan o condicionan el tamaño de una planta.

El dimensionamiento de una planta de tratamiento de agua, tal como lo es el caso del módulo potabilizador de Aguapen EP, el mismo que está condicionado por diversos factores técnicos, operativos y socioeconómicos.

Figura 20.

Factores que determinan o condicionan el tamaño de la planta.



Nota: Elaborado por el autor.

Demanda de agua: este es el factor primordial debido a la cantidad de agua que deber ser tratada diariamente dependiendo del número de habitantes beneficiados, el consumo per cápita pronosticado y las proyecciones de crecimiento poblacional, puesto que, a mayor demanda, mayor será la capacidad requerida del módulo potabilizador. La producción promedio anual actual de la planta de Atahualpa es de 27424708 m³, por lo que la demanda promedio anual fue de 2285392 m³.

Calidad del agua cruda: la reunión de contaminantes físicos, químicos y biológicos en la fuente perturba de forma directa los procesos y equipos necesarios, por lo que cuando la fuente tiene una alta carga contaminante se necesitan los procesos más complejos y puede hacer que la planta sea más grande.

Normativas y estándares de calidad: cumplir con las normativas nacionales (INEN) e internacionales para el agua representa que un sistema de potabilización debe cumplir con los requisitos para garantizar que el agua proporcionada sea de buena calidad.

Tecnología utilizada: el tipo de procesos y la tecnología que se seleccione influirá en el tamaño de la instalación. De la misma manera, usar tecnología actualizada puede aumentar la eficiencia de los procesos.

Disponibilidad de espacio físico: el área disponible para instalación de la planta condiciona las dimensiones y distribución de los componentes como en las zonas con limitaciones geográficas o urbanas, por lo que se requieren diseños más compactos.

Condiciones topográficas y climáticas: la altitud, la pendiente del terreno y las características climáticas locales influyen en el diseño estructural y en los sistemas de captación, distribución y la evacuación del agua tratada, lo que puede afectar indirectamente el tamaño total de la planta.

Factores económicos y financieros: el presupuesto aprovechable tanto para la inversión inicial como para la operación y mantenimiento influye directamente en el tamaño de la planta, por lo que se busca optimizar los recursos sin comprometer la eficiencia ni la calidad del servicio.

Proyección de crecimiento futuro: se debe considerar la posibilidad de expansión de la planta en función del crecimiento demográfico y de la demanda futura, implicando dimensionar componentes con capacidad de ampliación modular.

Se utilizó la distribución de agua potable del año 2024 para realizar un pronóstico de demanda del año presente y para el siguiente. Como muestra la tabla 23, mediante el método de suavizamiento exponencial por medio de la herramienta Solver se utilizó un alfa de 0,13, para mayor precisión y reducir el error porcentual.

Tabla 23

Proyección de demanda 2025.

Meses	Demanda (A)	Pronóstico(F)	Error	error absoluto	error cuadrático	error porcentual	α
Enero	2.367.891	2380000	-32109	32109	10309878	0,5114	0,1363
Febrero	2.407.461	2420480	-202.89	202895,46	411665717	0,5408	
Marzo	2.357.461	2365248	76109,40	76109,40	57926408	0,3303	
Abril	2.291.902	2300360	-61682,31	61682,31	38047085	0,3690	
Mayo	2.294.859	2299207	-40706,97	40706,97	16570574	0,1895	
Junio	2.223.091	2245883	-100583,84	100583,84	10117109	1,0252	
Julio	2.287.263	2283425	-7029,76	7029,76	49417568,39	0,1678	
Agosto	2.340.265	2350213	48025,73	48025,73	23064715	0,4251	
Septiembre	2.172.047	2220450	-134221,31	134221,31	18015361265	2,2285	
Octubre	2.308.422	2340215	41361,78	41361,78	1710797223	1,3773	
Noviembre	2.189.141	2285410	-90001,62	90001,62	8100292572	4,3976	
Diciembre	2.354.641	2352786	101789,22	101789,22	10361046548	0,0788	
		2385465	-33495,34	78043,03	8676038533	0,9701	
			ME	MAD	MSE	MAPE	

Nota: Elaborado por autor en base a datos de Aguapen EP.

En la figura 21, se visualiza la proyección con respecto a la demanda del presente año, tomando en consideración una producción continua y sin interrupciones en los procesos de la potabilización del agua.

Figura 21.

Proyección de demanda actual.



Nota: Elaborado por autor.

Para utilizar la proyección de la demanda para el año 2026, se toma de referencia el pronóstico calculado anteriormente en donde el alfa calculada según Solver fue de 0,29, como se muestra en la tabla 24. Tomando en cuenta el valor proyectado calculado en la tabla 23 para el mes de enero del 2026.

Tabla 24.

Proyección de demanda a futuro.

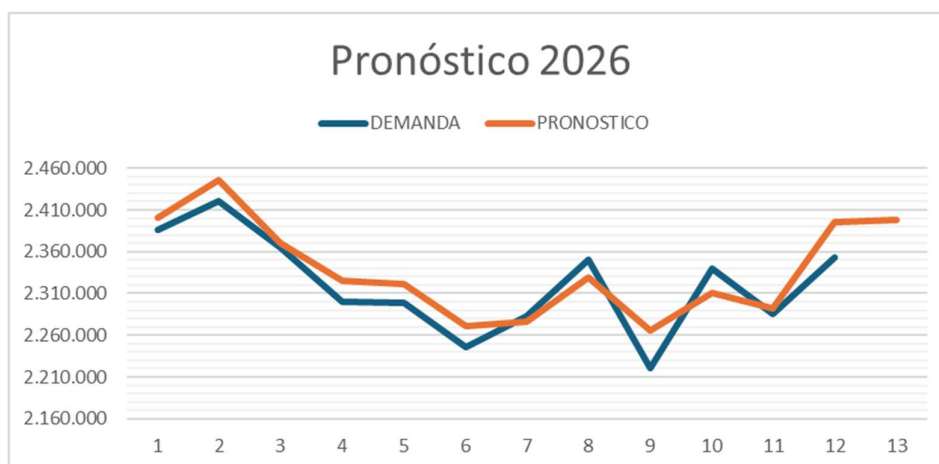
Meses	Demanda (A)	Pronóstico(F)	Error	error absoluto	error cuadrático	error porcentual	α
Enero	2.385.465	2400863	-15398	15398	237098404	0,65	0.29
Febrero	2.420.480	2445214	-24734	24734	611770756	1,02	
Marzo	2.365.248	2370528	-5280	5280	27878400	0,22	
Abril	2.300.360	2325189	-24829	24829	616479241	1,08	
Mayo	2.299.207	2321805	-22597,65	22597,6596	510654221	0,98	
Junio	2.245.883	2270581	-24698	24698	609991204	1,10	
Julio	2.283.425	2276284	7141	7141	50993881	0,31	
Agosto	2.350.213	2329145	21068	21068	443860624	0,90	
Septiembre	2.220.450	2265289	-44839	44839	2010535921	2,02	
Octubre	2.340.215	2310258	29957	29957	897421849	1,28	
Noviembre	2.285.410	2291524	-6114	6114	37380996	0,27	
Diciembre	2.352.786	2395478	-42692	42692	1822606864	1,81	
		2397524	-12751,3049	22445,6383	656389363,4	0,89	
			ME	MAD	MSE	MAPE	

Nota: Elaborado por el autor.

En la figura 22, se observa la proyección de la demanda para el 2026, así mismo tomando en consideración una producción sin interrupciones por mantenimientos correctivos o fallas internas en los procesos.

Figura 22.

Proyección de demanda futura.



Nota: Elaborado por autor.

En resumen, el tamaño de una planta potabilizadora no es arbitrario, sino el resultado de un análisis técnico integral que busca equilibrar la capacidad operativa, la calidad del agua tratada en el módulo potabilizador de agua y la sostenibilidad económica del proyecto.

3.4.3 Paso 3: Análisis de la disponibilidad y el costo de los suministros e insumos.

Para el análisis de disponibilidad de insumos se sabe que entre los dos MPA operativos producen 85 000 m³ diario aproximadamente, por ende, se realiza la tabla 25 especificando los insumos que se utilizan en la producción.

Tabla 25.

Disponibilidad de insumos.

Insumo	Dosis	Volumen tratado	Cantidad diaria
Coagulante PAC	14 ppm	85 000 m ³	1 190 kg
Cloruro de potasio	0.5 ppm	85 000 m ³	42.5 kg
Cloro gaseoso	12 ppm	85 000 m ³	1 020 kg
TOTAL			2 252.5 kg

Nota: Elaborado por el autor en base a datos de Aguapen EP.

Para la producción diaria de agua potable, es fundamental garantizar la disponibilidad de estos insumos, ya que intervienen directamente con el tratamiento que asegura la calidad del agua. Entre ellos se encuentra el policloruro de aluminio que usan como coagulante para eliminar las impurezas y contaminantes del agua cruda que ingresa al proceso, con un requerimiento aproximado de 1 190 kg, este producto permite aglomerar las partículas sólidas suspendidas y dependerá mucho su mayor uso cuando la demanda de caudal aumente. El cloruro de potasio (42.5 kg) actúa en el tratamiento como un compuesto químico auxiliar pero fundamental y así mismo, el cloro gaseoso que si bien es cierto se utiliza en la pre-cloración y en la post-cloración con un total de 1 020 Kg aproximadamente.

La tabla 26, representa los costos de los insumos de uso continuo en la producción diaria de agua potable, tomando en cuenta que estos productos son de reposición constante y crítica para garantizar la calidad microbiológica del agua distribuida.

Tabla 26.

Costo de los insumos.

Insumo	Cantidad (kg/día)	Precio (USD/kg)	Costo diario total
Policloruro de Aluminio (PAC)	1 190	0.45	\$ 535.50
Cloruro de Potasio	42.5	2.00	\$ 85.00
Cloro Gaseoso	1 020	0.65	\$ 663.00
Total diario			\$ 1 283.50

Nota: Elaborado por autor en base a información de Aguapen EP.

Los insumos que se examinan son los componentes químicos utilizados a diario para generar 85 000 m³ de agua apta para el consumo. El coagulante (PAC), crucial para unir las partículas suspendidas, es el de mayor consumo diario, seguido del cloro en estado gaseoso, que se usa para desinfectar el agua al inicio y final del proceso. A su vez, el cloruro de potasio, aunque en menor cantidad, tiene roles particulares en la optimización del agua. Estos tres insumos implican un gasto operativo diario cerca a los \$1 283.50, cifra importante dentro de los costos variables del tratamiento.

3.4.4 Paso 4: Ingeniería del proyecto.

Objetivos generales.

Evaluar técnicamente el módulo potabilizador de agua para que permita mejorar la eficiencia operativa del sistema de tratamiento y distribución de agua potable de Aguapen EP en la parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena, garantizando la calidad del agua conforme a la

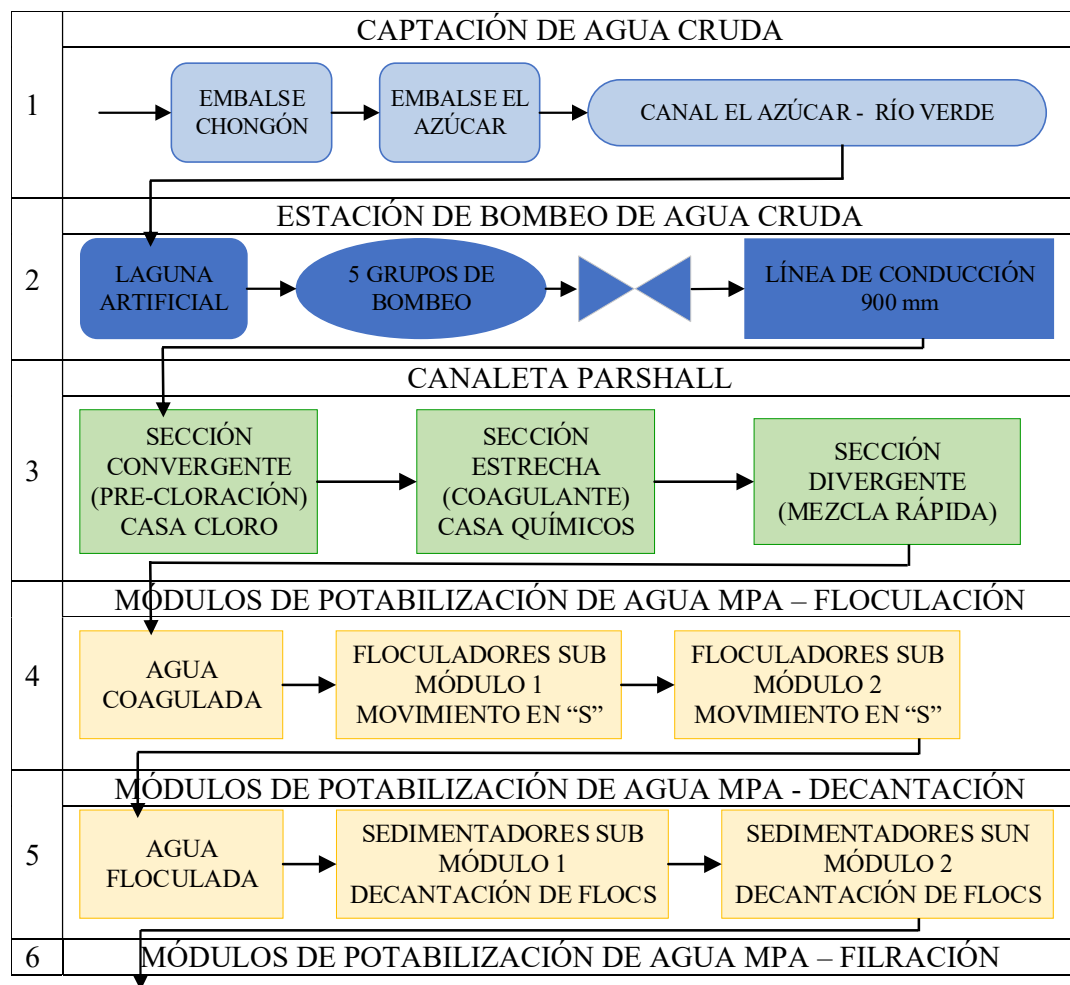
normativa vigente, la optimización de recursos operativos y la sostenibilidad del servicio a mediano y largo plazo.

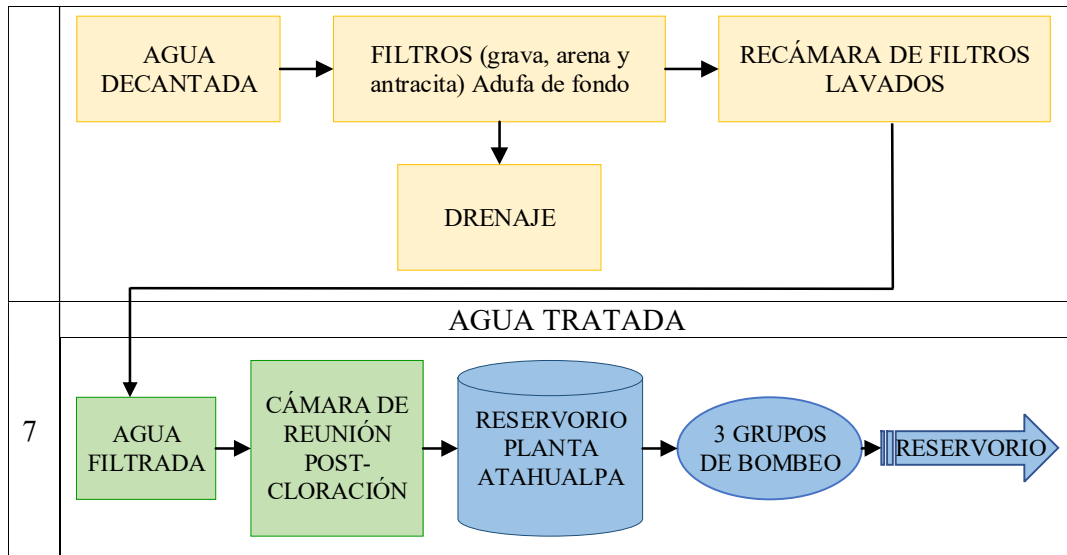
Proceso de producción.

El proceso de producción es supervisado diariamente por el personal de la planta para el asegurar que el agua cumpla con los estándares de calidad, controlando la entrada del agua cruda hasta la salida del agua potable hacia los reservorios. El diagrama de flujo del proceso de producción de Aguapen EP se presentó en la siguiente figura 23:

Figura 23.

Diagrama de flujo del proceso de producción de Aguapen EP.





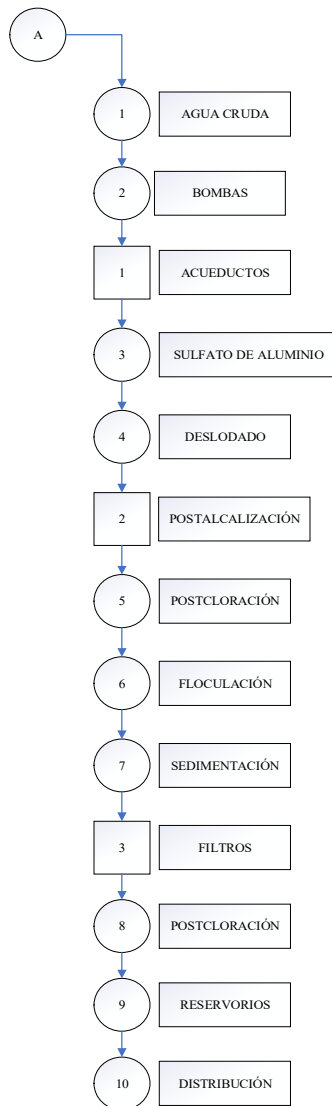
Fuente: AGUAPEN EP.

El diagrama muestra de forma detallada y secuencial el proceso integral de captación, tratamiento y distribución del agua potable gestionado por la empresa Aguapen EP en la planta de parroquia Atahualpa. Este sistema está diseñado para garantizar el suministro de agua de calidad a la población, cumpliendo con los estándares normativos nacionales. Este sistema demuestra un diseño compuesto, funcional y técnicamente estructurado, compuesto por tres líneas de tratamiento principales: pretratamiento, tratamiento y postratamiento. Este flujo es clave para sustentar las decisiones de diseño y mejora del nuevo módulo potabilizador propuesto.

La figura 24, presenta el diagrama de operaciones del proceso de potabilización de agua:

Figura 24.

Diagrama de operaciones de procesos de Aguapen EP.



Fuente: *Aguapen EP.*

En este diagrama se tienen en cuenta todas las actividades que realiza la compañía para la obtención del agua potabilizada como un producto final, da la pauta de cada una de las operaciones, inspecciones, almacenaje desde el comienzo de la producción hasta su distribución a los habitantes de la Provincia.

Descripción del trayecto al proceso de potabilización de la Panta en Atahualpa.

Cámara de entrada (canaleta Parshall).

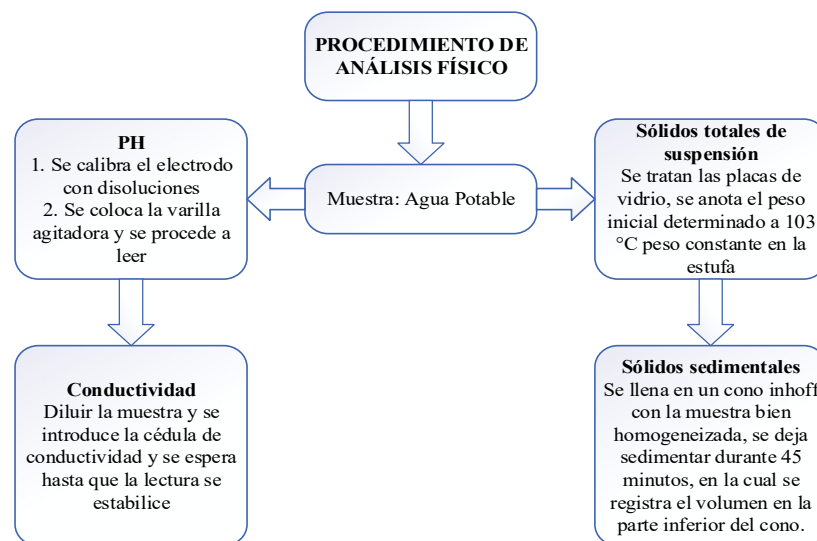
Esta cámara se trata de una estructura hidráulica de hormigón, edificada sobre un área aproximada de 115 m², que recibe el agua captada desde la estación de bombeo de agua cruda. La instalación cuenta con un canal de tipo Parshall junto con una caja de distribución y un

camino que canaliza el agua hacia los módulos potabilizadores, utilizando dos tuberías de 500mm de diámetro, equipadas con vertederos de desbordamiento.

El caudal de entrada varía entre los 44° y 970 L/s, influenciado por el grupo de bombeo en la instalación de toma. Aquí el agua cruda se combina con un químico y aditivos como gas cloro y coagulante, luego se transporta mediante conductos de PVC hechos a medida y diseñados para manejar estos materiales.

Figura 25.

Procedimiento en el análisis de agua potable.



Nota: Elaborado por el autor en base a (Herrera & Manuel, 2016).

La figura 25, muestra el procedimiento de análisis físico, el cual se subdivide en:

Conductividad: necesaria para la medida de conductividad en el agua y se utiliza el método conductimétrica estandarizada con la solución de cloruro de potasio (KCl).

Dureza total: el método título métrico con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y se lo emplea en aguas superficiales y efluentes.

pH: es un método electrométrico empleado en aguas y efluentes industriales.

Sólidos sedimentales: se refiere a un método volumétrico en efluentes industriales y domésticos.

Sólidos suspendidos totales: método gravimétrico empleado para poder determinar los sólidos totales y volátiles en aguas efluentes.

Sólidos totales: se utiliza para poder analizar los sólidos, por lo que es el control de plantas de abastecimiento de aguas y se ocupa el método gravimétrico para la realización de la prueba indicada.

Turbidez: es un método nefelométrico empleando para determinar las aguas naturales y previamente tratadas.

Coagulación.

La coagulación es un proceso que permite la neutralización de partículas y sólidos suspendidos en el agua, mediante la adición de un coagulante con carga iónica positiva. Esta reacción ocurre de forma casi inmediata, debido a la alta turbulencia del flujo, lo que asegura una mezcla eficiente entre el agua y el coagulante en un tiempo muy reducido, facilitando así su paso a la siguiente etapa que es la floculación.

Una vez realizada esta mezcla, el agua es conducida por gravedad hacia los módulos de potabilización de agua (MPA), donde ingresa directamente a los floculadores, continuando con el proceso de tratamiento.

Módulos potabilizadores de agua MPA 1 y MPA 2.

Cada módulo está dividido en dos submódulos simétricos, los cuales integran: un floculador hidráulico con pantallas verticales de flujo vertical, un decantador laminar de flujo ascendente, y dos filtros de flujo descendente con lechos mixtos autolimpiantes, diseñados para operar con tasa de filtración declinante.

Cada uno de los MPA, se encuentra equipado con los siguientes terminales electromecánicos:

- Dos válvulas de estilo mariposa regulables con un diámetro de 500 mm. en la entrada de cada floculador que forman los elementos de seccionamiento del flujo a cada submódulo.
- Cuatro válvulas de fondo en la entrada de cada filtro.
- Cuatro válvulas de mariposa con un diámetro de 500 mm. en el desagüe de cada filtro.

- Válvulas de desagüe de flocladores, filtros y decantadores (tipo lamelares).
- Un tablero eléctrico de mando y control de lavado del filtro.

Los módulos están equipados con canales que recogen el agua residual producida durante la limpieza de filtro. También, cuentan con tuberías de acero que recolectan el agua sedimentada.

Tabla 27

Análisis de turbidez por proceso

Agua cruda	Coagulada	Dec I	Dec II	Filt I	Filt II	Potable
4,17	5,64	0,6	0,4	0,1	0,7	0,5
4,01	5,75	0,6	0,4	0,1	0,7	0,5
3,94	5,89	0,7	0,5	0,2	0,6	0,4
4,08	5,96	0,7	0,5	0,2	0,6	0,4
4,13	5,83	0,5	0,58	0,14	0,31	0,32
3,89	5,57	0,52	0,73	0,13	0,35	0,3
3,92	5,05	0,43	0,93	0,17	0,32	0,28
3,72	5,68	0,5	1,12	0,13	0,4	0,32
3,79	5,05	0,43	0,58	0,14	0,3	0,32
4,17	5,59	0,48	0,63	0,13	0,29	0,29
3,92	5,88	0,45	0,67	0,13	0,3	0,27
4,32	5,81	0,48	0,5	0,15	0,33	0,31
3,99	5,33	0,47	0,52	0,16	0,35	0,31
3,61	5,28	0,49	0,39	0,17	0,29	0,39
3,59	5,48	0,82	0,63	0,17	0,31	0,28
3,95	5,586	8,17	9,08	2,22	6,15	0,246
		0,575		0,279		

Nota: Elaborado por el autor con información de Aguapen EP

En la tabla 27, se presenta la turbidez (NTU) del agua por submódulos desde que ingresa el agua cruda hasta la potabilización con datos tomados en controles diarios de calidad por hora del laboratorio. Esto ayuda al cálculo de eficiencia por los procesos de los módulos potabilizadores actuales.

Floculación.

La floculación es la etapa en la que las partículas previamente coaguladas y desestabilizadas (microflóculos) se agrupan para formar flóculos de mayor tamaño y densidad, lo que permite su posterior sedimentación. Este proceso es ampliamente utilizado para la eliminación de compuestos que generan color y turbidez en el agua.

Para que los flóculos alcancen el peso necesario que facilite su decantación, el agua debe ser sometida a una agitación lenta y controlada (mediante un gradiente de velocidad) dentro de los floculadores, durante un período de entre 30 y 60 minutos.

$$Eficiencia_{floculación} = \left(\frac{Turbidez_{entrada} - Turbidez_{salida}}{Turbidez_{entrada}} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia_{floculación} = \left(\frac{3,95 - 0,58}{3,95} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia_{floculación} = 85,32\%$$

Decantación.

Los decantadores utilizados en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Atahualpa operan bajo un sistema de flujo ascendente y están conformados por placas paralelas inclinadas, además de contar con un canal de entrada y tuberías para la recolección del agua sedimentada.

La captación del agua clarificada que asciende a través del decantador se realiza mediante un conjunto de tuberías de recolección, las cuales descargan en una canaleta-vertedero superior central que conduce el agua hacia el canal de salida que alimenta los filtros. Por su parte, los flóculos que descienden por las placas se acumulan en tolvas de lodos, desde donde son evacuados a través de tuberías hacia el sistema de drenaje de los módulos de potabilización de agua (MPA).

$$Eficiencia_{decantación} = \left(\frac{Turbidez_{entrada} - Turbidez_{salida}}{Turbidez_{entrada}} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia_{decantación} = \left(\frac{5,59 - 0,58}{5,59} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia_{decantación} = 89,62\%$$

Filtración.

La filtración es el trayecto por el cual se quitan restos no deseados del agua, permitiendo circular a través de un lecho filtrante que abarca capas de grava, arena y antracita. Los filtros, del tipo rápido a gravedad, operan con una tasa de filtración que va disminuyendo. Esto ayuda

a reducir de manera gradual la velocidad del agua y de esta forma, se mantiene un equilibrio en el rendimiento y se asegura que la calidad del agua filtrada sea constante y eficiente.

$$Eficiencia_{filtración} = \left(\frac{Turbidez_{entrada} - Turbidez_{salida}}{Turbidez_{entrada}} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia_{filtración} = \left(\frac{0,59 - 0,28}{0,59} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia_{filtración} = 52,54\%$$

Eficiencia de todo el proceso

$$Eficiencia = \left(\frac{Turbidez_{agua\ cruda} - Turbidez_{agua\ tratada}}{Turbidez_{agua\ cruda}} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{3,95 - 0,25}{3,95} \right) \times 100\%$$

$$Eficiencia = 93,67\%$$

Cámara de intersección y contacto.

Se trata de una estructura rectangular de hormigón armado, que cuenta en su interior con pantallas diseñadas para generar un flujo hidráulico controlado, permitiendo así un tiempo de contacto adecuado entre el agua filtrada y el cloro aplicado. Este proceso asegura que se cumplan los niveles requeridos de cloro residual y pH, antes de que el agua sea conducida hacia el reservorio de agua tratada.

Reservorio.

Se trata de un tanque superficial de hormigón armado, construido sobre un área aproximada de 750 m², con una altura útil de cuatro metros de lámina de agua, destinado al almacenamiento del agua tratada. Esta estructura tiene una capacidad máxima de 3.000 m³ y cuenta con un sistema de ventilación ubicado en la losa superior, compuesto por codos y neplos de hierro dúctil, que permiten el intercambio con la presión atmosférica y facilitan la liberación de posibles gases acumulados en el interior del tanque.

Estación de bombeo de agua tratada.

La infraestructura se encuentra adecuada por dos bloques diferenciados según su función operativa, por lo que el bloque principal aloja los conjuntos de electrobombas

destinadas al abastecimiento de las ciudades con una demanda mayor, ubicadas al oeste de la planta de tratamiento de agua potable, así como al reservorio central, es así que por su parte, el bloque secundario contiene las bombas que abastecen a localidades de menor tamaño situadas al sur de la PTAP y además de incluir las bombas de servicio y las bombas utilizadas para la dosificación de cloro durante el proceso de potabilización.

Tabla 28

Especificaciones técnicas de las bombas

Estación de bombeo de agua cruda		
Cantidad	Descripción	Características
4	Motor	500 hp
	Rotación	1775 rpm
	Voltaje	4160 v
	Corriente	61,8 A
	Frecuencia	60 Hz
	Protección	JP56
	Peso neto	3600 kg
	Marca	GEVISA
	Bomba tipo	56GNI
	Caudal m ³ /h	1440
	AMT	58,9
Rpm	1740	
	Altura de succión	5,45 m
Estación de bombeo de agua tratada		
Cantidad	Descripción	Características
3	Modelo	5K280 S/M3060804
	Carcasa	280 S/M
	P	W55
	Potencia	120
	RPM	1185
	Voltios	440
	AMP	140
	Fase	3
	Frecuencia	60 Hz
	Motor de inducción	
	NS	UHP 232000051
	FP	87,5
	AISL	F At 80e RES
	SERV	CONT A 40 C
	ALT	1000M Iq/In 65
		IEC 34
		COJ LA 63182/C3
	COJ LOA 6314Z/C3	
	PESO 850 KGF	
	Bomba tipo	
	Marca	ALSTOM
	Tipo	400390B
	Serie	35505
	RPM	1160
	AMT (m)	13,7
	Ø rotor	350
Bombas agitadoras		

Cantidad	Descripción	Características	
3	Motor WEG NBR	7094 3100 L 11/90 FL 10203	
	Hz	60	
	Hp	2,3 (3,0)	
	RPM	1150	
	FS SF	1,15	
	lp/ln	5,5	
	230/380 V	10,5/6,08 A	
	COJ 6206-ZZ	30,0 kg	
	Bombas de coagulantes		
	3	Motor WEG NBR	7094 3100 L 11/99 FL 10203
Hz		60	
Hp		2,2(3,0)	
RPM		1150	
FS SF		1,15	
lp/ln		5,5	
230/380 V		10,5/6,08 A	
COJ 6206-ZZ		30,0 kg	
Bomba CP 1608701 B31580 No Maq			
Tipo		2 NE 30 A	
Año	1999		
Tag	BDS-02		

Fuente: Aguapen EP.

Análisis de consumo energético de los equipos

Realizar este análisis de consumo energético es importante para identificar oportunidades de mejora, además constituye una herramienta estratégica de diagnóstico y nos indicará la viabilidad de la implementación de un módulo en términos energéticos. Por lo tanto, en la siguiente tabla se identifica el consumo total de kW de la planta para abastecer a los dos módulos existentes.

Tabla 29

Identificación de equipos de alto consumo

Equipo	Cantidad	Potencia total de consumo (kW)	Consumo total diario (kWh)	Porcentaje de consumo
Bombas para agua cruda	4	1492	35808	74.6%
Bombas para agua tratada	3	492.3	11815.2	24.6%
Bombas agitadoras	3	5.16	123.84	0.26%
Bombas de coagulante	3	6.72	161.28	0.34%
Tableros eléctricos	10	30	720	0.13%
Total		1998.68	47968.32	100%

Nota: Elaborado por autor

Con estos datos calculados en la tabla 29, se procede a determinar el consumo energético diario y específico que generan los equipos para abastecer a los dos módulos potabilizadores para el tratamiento del agua, considerando que los mismos operan las 24 horas.

$$kWh/día = Consumo\ total \times 24\ horas$$

$$kWh/día = 1998.68\ kW \times 24h$$

$$Consumo\ energético\ diario = 47968.32\ kWh/día$$

$$kWh/m^3 = \frac{Consumo\ energético\ diario}{Volumen\ diario\ tratado}$$

$$kWh/m^3 = \frac{47968.32\ kWh/día}{85000\ m^3}$$

$$Consumo\ específico\ diario = 0.5643\ kWh/m^3$$

Se obtienen los kilovatios – hora por día que generan los equipos y a su vez los kilovatios – hora por metro cúbico utilizados para la producción diaria de 85 000 m³ de agua tratada.

En este análisis se determinó que las bombas ubicadas en la estación de bombeo para el agua cruda proveniente del Canal El Azúcar consume la mayor cantidad de energía entre toda la planta, aproximadamente un 74.6% del total. En cambio, las bombas para el agua tratada representan el 24.6% del consumo diario y para los demás equipos apenas representan el 1% del consumo, siendo así los equipos de alto rendimiento en la estación de bombeo ubicado en San Rafael destacados como prioridad para oportunidades de mejora en eficiencia energética.

Casa químicos.

Dentro de esta edificación se alojan tres tanques mezcladores de productos químicos, cada uno con una capacidad de 38,50 m². Cada tanque cuenta con una tolva equipada con un

agitador vertical, accionado por un motor eléctrico de 3 HP, 220 V y 1.150 RPM, con hélices tipo naval de tres aspas, de 245 mm de diámetro nominal, montadas sobre un eje de acero inoxidable AISI 304 de 42 mm.

El sistema de dosificación de químicos está conformado por tres bombas dosificadoras marca NETZ NEMO, de fabricación brasileña, cada una con un rango de caudal entre 650 y 2.000 litros por hora. Las bombas cuentan con un rotor de acero inoxidable AISI 304 cromado, un estator de caucho sintético y una carcasa fabricada en fundición. Los motores acoplados son de tipo inducción trifásica, con una potencia de 3 HP, voltaje de 220 V y grado de protección IP55, adecuado para condiciones industriales.

Casa cloro.

En la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Atahualpa, se utiliza un sistema de desinfección basado en cloro gaseoso, el cual se suministra en cilindros presurizados, por lo tanto, la unidad encargada del proceso es una estructura techada, que cumple funciones de almacenamiento, mezcla con agua y dosificación del gas cloro; y su capacidad máxima de almacenamiento es de 80 cilindros, cada uno con un peso de una tonelada corta (907 kg). Es importante mencionar que la edificación está equipada con dos salas de dosificación, una destinada a la precloración y otra a la post-cloración, es así que, en cada sala, tres cloradores Wallace & Tiernan, modelo V10 K, están operativos, cada uno capaz de dispersar 500 libras en un periodo de veinticuatro horas.

Laboratorio de control de calidad.

Corresponde al espacio destinado al monitoreo y control de calidad del agua durante cada fase del proceso de potabilización, asegurando el cumplimiento de los parámetros establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108, sexta revisión (abril 2020), referente al agua apta para consumo humano. El estudio de Herrera & Manuel, (2016) establece el análisis de calidad de agua potable mediante la utilización de métodos estandarizados según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108.

3.4.5 Paso 5: Determinación de la organización humana y jurídica.

Organización humana.

Para una adecuada operación y mantenimiento del nuevo módulo se requiere establecer una estructura organizacional que pueda ser eficiente y que esté compuesta por personal técnico y operativo con competencias específicas, de esta forma, la estructura debe contemplar el

número de colaboradores necesarios, sus perfiles profesionales, funciones y niveles de responsabilidad.

Organización del recurso humano.

El éxito operativo del MPA en Atahualpa depende de una adecuada estructura organizacional del recurso humano, por lo que, para garantizar el cumplimiento de las funciones técnicas, administrativas y de control del sistema de potabilización, se necesita de personal calificado y asignado a tareas específicas, según su nivel de responsabilidad y experiencia, por lo tanto, el equipo humano necesario contempla las siguientes funciones:

Tabla 30.

Organización del recurso humano.

Cargo	Cantidad	Función principal
Supervisor de planta.	1	Coordina y supervisa todas las actividades del módulo potabilizador.
Operadores de planta.	3	Controlan procesos de coagulación, floculación, filtración y desinfección.
Técnico en mantenimiento.	1	Ejecuta tareas preventivas y correctivas en equipos y maquinaria.
Técnico en control de calidad.	1	Realiza análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua tratada.
Personal de limpieza y apoyo.	1	Mantiene condiciones higiénicas adecuadas en la infraestructura de planta.
Responsable de seguridad.	1	Supervisa el cumplimiento de normas de bioseguridad y riesgos laborales.

Nota: Elaborado por el autor.

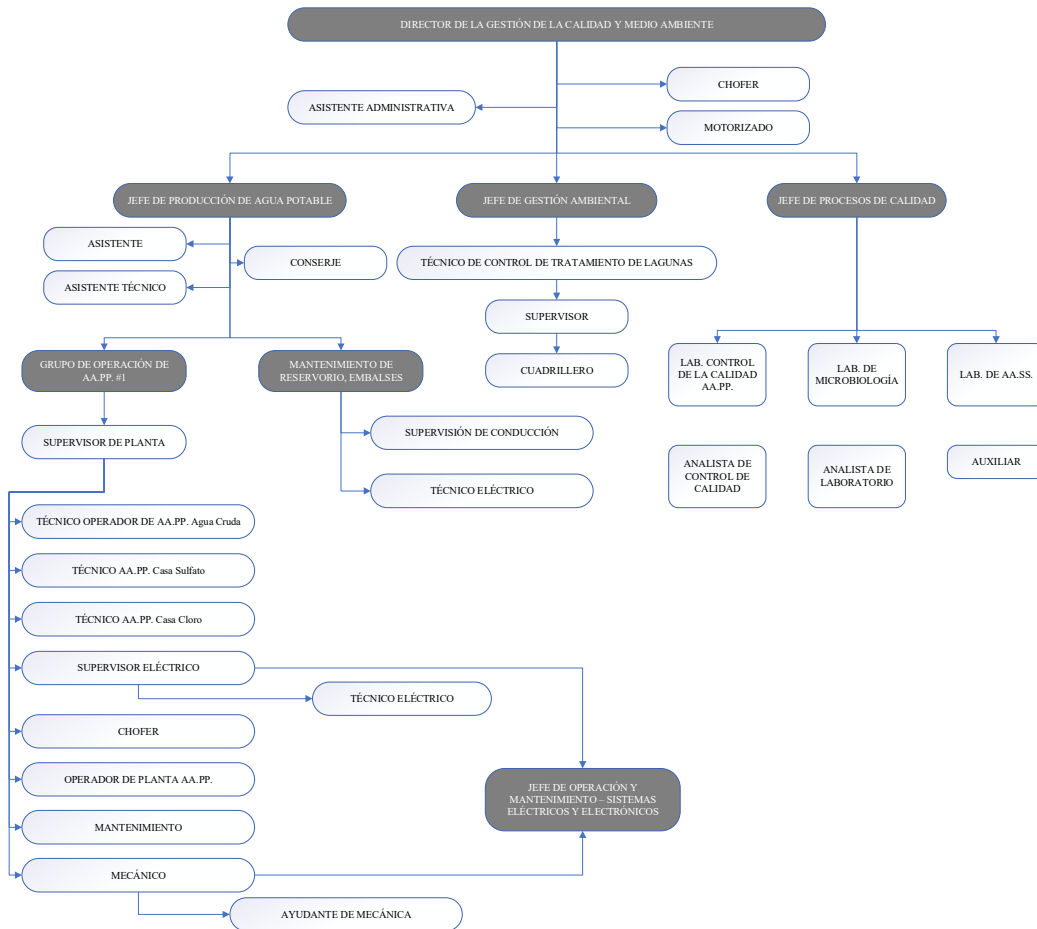
Este personal trabajará en turnos planificados para asegurar una operación continua, con al menos un operador en cada turno para que la planta esté supervisada las 24 horas del día.

Estructura organizacional.

De acuerdo con los datos obtenidos en la planta potabilizadora Aguapen EP, su estructura organizacional se encuentra bajo la dirección de gestión de la calidad y medio ambiente como se muestra en la figura 26.

Figura 26

Estructura organizacional de la planta Aguapen EP.



Fuente: Aguapen EP planta Atahualpa.

Este organigrama refleja la cadena de mando y facilita la coordinación entre áreas. La inclusión del módulo potabilizador dentro de la estructura de Aguapen EP optimiza la toma de decisiones, los canales de comunicación y el monitoreo permanente del servicio de agua potable.

Organización jurídica.

La organización jurídica del estudio técnico se fundamenta en:

La personalidad jurídica de Aguapen EP como entidad autónoma, con capacidad para ejecutar obras, contratar personal, adquirir bienes y administrar los recursos públicos

El cumplimiento de la norma técnica ecuatoriana, que establece los estándares para la calidad del agua destinada al consumo humano, es fundamental para garantizar un servicio seguro y confiable.

Cumplir con las disposiciones establecidas por entidades de control como ARCSA, SENAGUA y el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica es fundamental para asegurar que el servicio de agua cumpla con los estándares y regulaciones vigentes.

Trabajar en colaboración con el gobierno local de Santa Elena, junto con otras organizaciones enfocadas en la gestión de los recursos hídricos, es realmente importante, ya que ayuda a asegurar la utilización de agua en las zonas de manera eficiente.

3.5 Propuesta.

3.5.1 Título.

Propuesta de implementación de nuevo módulo potabilizador para incrementar la capacidad y eficiencia de producción en la planta de tratamiento Atahualpa, Santa Elena, Ecuador.

3.5.2 Objetivo de la propuesta.

Evaluar la implementación de un nuevo módulo potabilizador en un análisis comparativo de mejora en la eficiencia operativa del sistema actual de tratamiento de agua en AGUAPEN EP, incorporando tecnologías modernas y actualización de equipos, para así garantizar un servicio de mejor calidad y cumplir con la demanda hídrica.

3.5.3 Diagnóstico para sistema propuesto.

Capacidad de producción.

El producto de Aguapen EP es el agua potabilizada, procesada en la planta de potabilización a través del proceso de precloración, coagulación, floculación, sedimentación (decantación), filtración y post-cloración. La producción mensual del año 2024 es la siguiente:

Tabla 31.

Producción de agua potable en el año 2024.

Año 2024	m³/mes
Enero	2'367.891
Febrero	2'187.725
Marzo	2'407.461
Abril	2'291.902
Mayo	2'294.859
Junio	2'223.091
Julio	2'287.263
Agosto	2'340.265
Septiembre	2'172.047

Octubre	2'308.422
Noviembre	2'189.141
Diciembre	2'354.641
Total	27'424.708 m³/año

Fuente: Aguapen EP.

Eficiencia operativa actual.

La eficiencia operativa de la planta potabilizadora se puede estimar como porcentaje de uso real de la capacidad de almacenamiento o tratamiento respecto a su capacidad máxima esperada, considerando el tiempo que tarda en llenarse o vaciarse el sistema.

El reservorio tiene una capacidad de 3000 m³ en el cual entran 970 l/s entre los dos módulos.

Capacidad de entrada.

Límite de caudal de canaleta Parshall: 2000 L/s.

Estación de bombeo.

Tabla 32.

Descripción de estación de bombeo agua cruda.

Descripción	Marca	Tipo	Estado	Observación
Grupo de bombeo #1				
Motor #1 500 HP - 4160V - 61.9 A - 1785 RPM - Rendimiento: 95.0 % F.S: 1.15 Bomba #1 Potencia: 355 KW - Caudal: 1440 m ³ /hr - Alt. Man.: 58.9 m.c.a. Alt. Man.: 58.9 m.c.a.	GENERAL ELECTRIC	INDUCCIÓN TRIFÁSICO modelo 5K509DAE6029 serie CJFT068U028	OPERATIVO	Tiene 3 años sin mantenimiento
	NATIONAL PUMP	modelo K20 serie: 786052	OPERATIVO	Se le hizo mantenimiento el año pasado, cambio de cauchos y rectificación de impeles
Grupo de bombeo #2				
Motor #2 500 HP - 4160V - 61.9 A - 1785 RPM - Rendimiento: 95.0 % F.S: 1.15 Bomba #2 Potencia: 355 KW - Caudal: 1440 m ³ /hr - Alt. Man.: 58.9 m.c.a.	GENERAL ELECTRIC	INDUCCIÓN TRIFÁSICO modelo 5K509DAE6029 serie CJFT068U028	OPERATIVO	Se le realizó recuperación de aislamiento y barnizado hace un año.
	NATIONAL PUMP	modelo K20 serie: 786053	OPERATIVA	Se le hizo mantenimiento el año pasado, cambio de cauchos y rectificación de impeles

Grupo de bombeo #3				
Motor #3 500 HP - 4160V - 61.8 A - 1775 RPM - Rendimiento: 92.8 % F.S: 1.15 Bomba #3	GEVISA (G.E.)	INDUCCIÓN TRIFÁSICO modelo 5KV82296654601 serie WPH282002769	OPERATIVO	Tiene 3 años sin mantenimiento
Potencia: 355 KW - Caudal: 1440 m3/hr - 400 l/s	ALSTOM	modelo GEV56GN1- 161 serie: 32015/3	OPERATIVO	Se le hizo mantenimiento el año pasado, cambio de cauchos y rectificación de impeles
Alt. Man.: 58.9 m.c.a.				
Grupo de bombeo #4				
MOTOR # 4 500 HP - 4160V - 61.8 A - 1775 RPM - Rendimiento: 92.8 % F.S: 1.15 BOMBA # 4	GEVISA (G.E.)	INDUCCIÓN TRIFÁSICO modelo 5KV82296654601 serie WPH282002770	OPERATIVO	Tiene 2 años sin mantenimiento
500 l/seg.	ESCO	Serie: 1391	OPERATIVO	Mantenimiento hace 5 meses

Nota: Elaborado por el autor

Bombas antiguas: 3, caudal = 400 L/s = 1200 L/s.

Bombas nuevas: 2, caudal = 500 L/s = 1000 L/s.

Nivel de caudal máximo que puede emitir la estación de bombeo = 2200 L/s.

Una de las bombas nuevas se encuentra en mantenimiento para su futura operación, por lo tanto, el caudal máximo que puede emitir la estación de bombeo es de 1700 L/s.

$$\% \text{ de caudal máximo aprovechable} = \frac{1700}{2000} * 100 = 85\%$$

La canaleta Parshall puede operar a un 85% de su capacidad total.

Actualmente la canaleta recibe un caudal de 970 L/s debido a que solo operan 2 módulos.

$$\% \text{ de caudal máximo utilizado} = \frac{970}{2000} * 100 = 48,5\%$$

La canaleta Parshall se encuentra operando a un 48,5% de su capacidad total.

Es importante mencionar que los 970 L/s que ingresan a la canaleta Parshall es debida a la alta demanda (485 L/s cada módulo), es decir, están forzando la capacidad límite que puede ingresar en los módulos que es de 880 L/s, 440 L/s por cada módulo.

Con la implementación del módulo 3, ingresaría un caudal de 1200 L/s entre los 3 módulos, de forma se procede a calcular el porcentaje aprovechable que puede aprovecharse con la implementación de un nuevo módulo potabilizador de agua.

$$\% \text{ de caudal aprovechable (3 módulos)} = \frac{1200}{2000} * 100 = 60\%$$

Con la implementación del módulo 3 y 4, ingresaría un caudal de 1600 L/s entre los 4 módulos. De esta manera se procede a calcular el porcentaje que puede aprovecharse con la implementación de los nuevos módulos potabilizadores de agua.

$$\% \text{ de caudal aprovechable (4 módulos)} = \frac{1600}{2000} * 100 = 80\%$$

En condiciones normales el caudal máximo aprovechable propuesto es del 80%. Sin embargo, también se procede a calcular el porcentaje de caudal máximo aprovechable en condiciones de alta demanda, en donde se estima un caudal de 1940 L/s:

$$\% \text{ de caudal aprovechable propuesto}_{\text{alta demanda}} = \frac{1940}{2000} * 100 = 97\%$$

En condiciones de alta demanda la canaleta Parshall estaría operando al 97% de su capacidad total. Cabe mencionar que la estación de bombeo puede emitir un caudal máximo 2200 L/s en el momento en que se instale la segunda bomba que se encuentra en mantenimiento para su posterior operación, por lo que no se tomará en cuenta como parte del presupuesto debido a que se encuentra en perfectas condiciones.

Estación de bombeo de agua tratada

En la estación de bombeo de los módulos existen 5 espacios para la colocación de bombas, sin embargo, solo existen 3 bombas operando, los cuales emiten un caudal de 970 L/s entre los 2 módulos al reservorio de la Planta para poder abastecer al reservorio central.

Caudal de entrada: 970 litros/segundo (L/s) = 0,970 m³/s.

Cantidad de módulos operativos: 2 módulos.

Cálculo de tiempo en llenar el reservorio:

$$\text{Tiempo para llenar} = \frac{\text{Volumen del reservorio}}{\text{Caudal de entrada}} = \frac{3000 \text{ m}^3}{0,970 \text{ m}^3/\text{s}} = 3092,7$$

$\approx 3093 \text{ segundos}$

$$\frac{3093 \text{ segundos}}{60} = 51,55 \text{ minutos}$$

Si el reservorio se llena completamente en solo 51 minutos, da a entender que los módulos están trabajando a una alta velocidad de procesamiento. Por ende, para evaluar la eficiencia operativa como indicador de desempeño, se compara el caudal real tratado con el caudal de diseño o capacidad instalada total.

Análisis de consumo energético propuesto

Con la actualización del grupo de bombeo para agua cruda y tratada se obtienen los siguientes datos:

<p><i>Agua tratada:</i></p> <p>3 bombas de 220 HP</p> $3 \times 220 \text{ hp} = 660 \text{ hp} \times \frac{0.746 \text{ kW}}{1 \text{ hp}} = 492.36 \text{ kW}$ <p>2 bombas de 250 HP</p> $2 \times 250 \text{ hp} = 500 \text{ hp} \times \frac{0.746 \text{ kW}}{1 \text{ hp}} = 373 \text{ kW}$	<p><i>Agua cruda:</i></p> <p>5 bombas de 500 HP</p> $5 \times 500 \text{ hp} = 2500 \text{ hp} \times \frac{0.746 \text{ kW}}{1 \text{ hp}} = 1865 \text{ kW}$ <p><i>Total:</i></p> $492.36 + 373 + 1865 + 5.14 + 6.71 = 2742.21 \text{ kW}$
--	--

$$\text{Consumo energético diario} = 2742.21 \text{ kW} + 720 \text{ kWh/día} \times 24 \text{ h} = 66533.04 \text{ kWh/día}$$

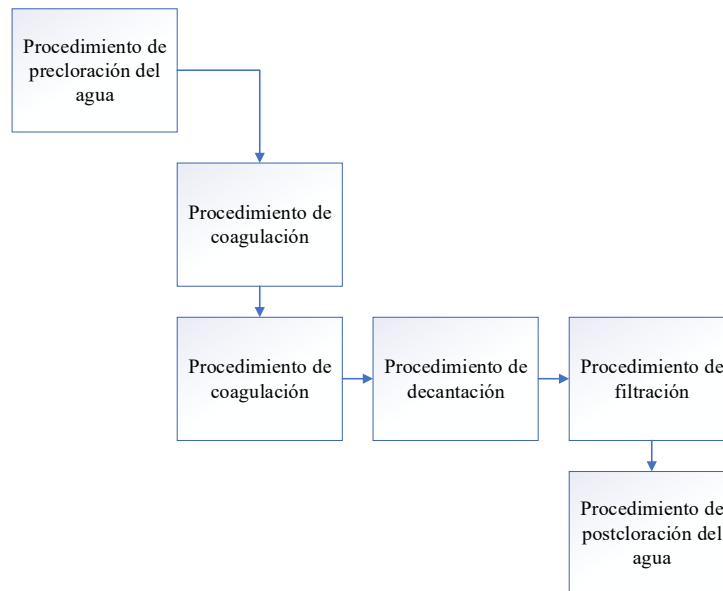
$$\text{Consumo específico} = \frac{66533.04 \text{ kWh/día}}{138240 \text{ m}^3} = 0.4814 \text{ kWh/m}^3$$

3.5.4 Descripción técnica del módulo propuesto.

El módulo se ubicará en la estación de captación existente en Atahualpa, aprovechando parte de la infraestructura (tanque de captación y tuberías primarias). Diseñar e implementar un módulo potabilizador de agua debe cumplir con las normativas nacionales.

Figura 27.

Diagrama de flujo de los procesos que intervienen en el MPA.



Nota: Elaborado por el autor.

3.5.5 Criterios de diseño.

Normativa y estándares de calidad.

Cumplimiento de la Norma INEN 1108 (plantas de tratamiento de agua potable) sobre parámetros mínimos de diseño (caudales específicos, superficies de sedimentación, tiempos de retención, pérdidas de carga máximas).

Requisitos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua potable: turbidez < 1 NTU, coliformes fecales = 0 NMP/100 ml, cloro residual $\geq 0,5$ mg/L.

Regulaciones locales (Aguapen EP / SENAGUA) en cuanto a concentración máxima de cloruros, sólidos suspendidos y parámetros microbiológicos.

Caudal de diseño y variaciones estacionales.

Caudal promedio diario: $0,970 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\approx 970 \text{ L/s}$).

Caudal máximo de diseño propuesto: $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\approx 1600 \text{ L/s}$).

Se utiliza el caudal máximo para dimensionar tanques y bombas, aplicando un factor de seguridad del 10 % al cálculo hidráulico, de modo que el módulo soporte breves sobrecargas sin exceder sus capacidades.








3.5.6 Ubicación y disposición de las áreas.

Método SLP.

El Systematic Layout Planning (SLP) es una técnica estructurada que permite diseñar una disposición eficiente de las áreas de trabajo, considerando el flujo de operaciones, relaciones entre actividades y restricciones físicas (Torres et al., 2020). Este método implica obtener un diagrama de relación de actividades del área de producción construido con dos códigos. El primero, consiste en un código de cercanía representado por letras y por líneas, donde cada letra representa la importancia de que dos áreas estén ubicadas cerca o lejos una de la otra.

Tabla 33.

Código de cercanía.

Letra	Orden de proximidad	Valor en líneas
A	Absolutamente necesaria	
E	Especialmente importante	
I	Importante	
O	Ordinaria o normal	
U	Unimportante (sin importancia)	
X	Indeseable	
XX	Muy indeseable	

Nota: Elaborado por el autor.

Así mismo, la tabla 34 presenta el segundo código que es el de razones, representado por números, cada número representa el por qué se decide que un área esté cerca o lejos de otra.

Tabla 34.

Código de razones.

Número	Razón
1	Por control
2	Por higiene
3	Por procesos
4	Por conveniencia
5	Por seguridad

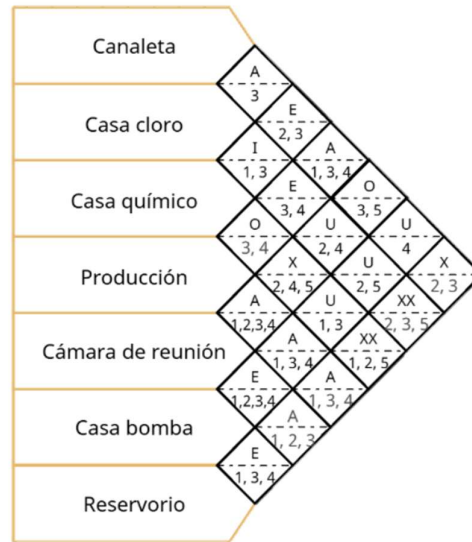
Nota: Elaborado por el autor.

La figura 28, presenta el diagrama de correlación de las áreas utilizadas en el contexto del método SLP (Systematic Lyout Planning). Este método facilitó el diseño de la distribución de las instalaciones de manera eficiente. Este diagrama de correlación de áreas es un método visual que ayuda a entender la relación y el flujo entre las diferentes áreas de una instalación,

lo que facilita la planificación y optimización de la distribución de los espacios específicamente del proceso de producción.

Figura 28.

Diagrama de relación de actividades del área de producción.

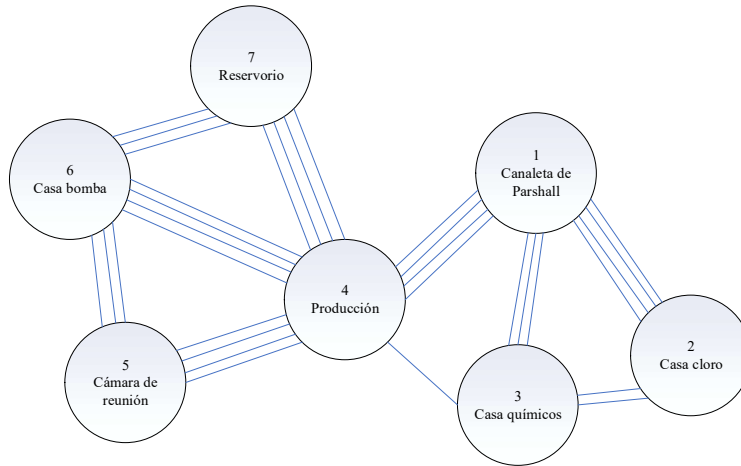


Nota: Elaborado por el autor adaptado de (Torres et al., 2020).

La figura 29, muestra el diagrama de código de líneas. Las líneas entre los nodos representan la importancia de cercanía con las áreas del método SLP. El proceso de producción, en este caso representaría a los módulos potabilizadores de agua, está conectada en casi todas las áreas, lo que indica su papel central en el proceso. La casa de bomba, cámara de reunión, casa de químicos, casa de cloro y canaleta de Parshall están conectadas directamente con producción. Las conexiones múltiples entre las áreas sugieren un sistema interdependiente donde cada componente juega un papel fundamental en el proceso general.

Figura 29.

Diagrama de hilos.

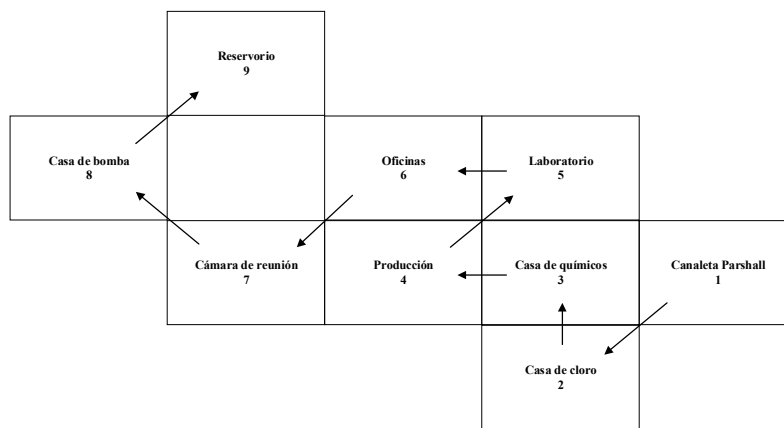


Nota: Elaborado por el autor adaptado de (Torres et al., 2020).

La Figura 30 muestra el proceso de potabilización de agua en Aguapen EP mediante el uso de un diagrama de bloques el cual donde revela una distribución sencilla con zonas diferenciadas centradas en tareas clave para el tratamiento por lo que cada bloque está vinculado, mostrando un flujo continuo y controlado a través de las distintas etapas.

Figura 30.

Diagrama adimensional de bloques.



Nota: Elaborado por el autor adaptado de (Torres et al., 2020).

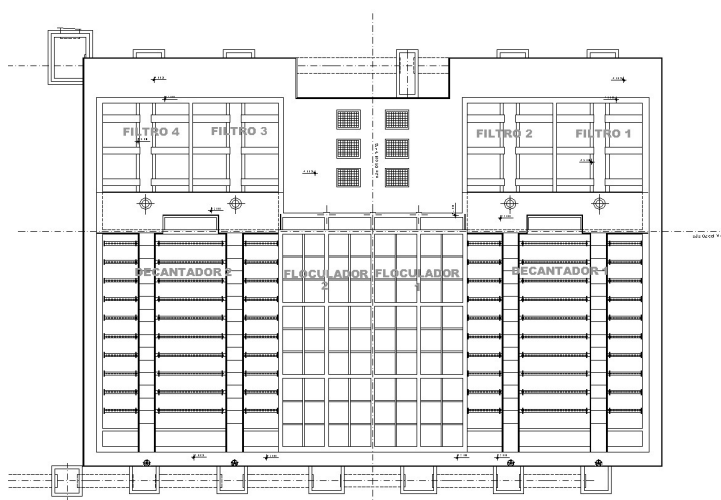
3.5.7 Especificación técnica del sistema.

El presente apartado tiene como objetivo describir detalladamente las especificaciones técnicas del módulo potabilizador de agua (MPA) propuesto para Aguapen EP, en la parroquia Atahualpa del cantón Santa Elena. El diseño modular del sistema permite una integración

gradual y escalable con la infraestructura existente, reduciendo los tiempos de instalación y facilitando su futura ampliación. A continuación, se detallarán las especificaciones técnicas de los componentes del MPA:

Figura 31.

Lyout de MPA.



Nota: Aguapen EP.

Descripción de los equipos:

Sistema de filtración propuesto: se encargan de la eliminación de partículas, sedimentos y posiblemente elementos químicos. A continuación, se presentan componentes del sistema para el proceso de filtración, considerando que se mantendría el sistema de filtración por gravedad.

Por cada uno de los 32 filtros (con la implementación del MPA 3 y MPA4), se contempla lo siguiente:

- 3 válvulas mariposa motorizadas (entrada, salida y retrolavado).
- 1 sensor de presión diferencial (ΔP).
- 1 sensor de turbidez en la salida del filtro.
- 1 sensor de nivel de agua sobre el lecho filtrante (opcional).

Cada uno de estos componentes se encuentra claramente definido en el plano técnico. El agua sigue un recorrido lineal, pasando primero por los decantadores, luego por los

floculadores y finalmente por los filtros, asegurando así una secuencia lógica y ordenada en el proceso de potabilización.

Instrumentación y control.

Turbidímetro en línea: rango 0–100 NTU, señal 4–20 mA, precisión $\pm 0,05$ NTU.

Caudalímetro electromagnético: rango 0,1–1 L/s, sin partes móviles.

Sensor de nivel: ultrasónico 0–2 m, precisión ± 5 mm.

pH metro (opcional): rango 0–14 pH, 4–20 mA.

PLC: mínimo 8 entradas analógicas y 8 salidas digitales; comunicación Modbus.

HMI: pantalla táctil 7", IP 65, gráficos de tendencias y alarmas configurables.

Requerimientos eléctricos.

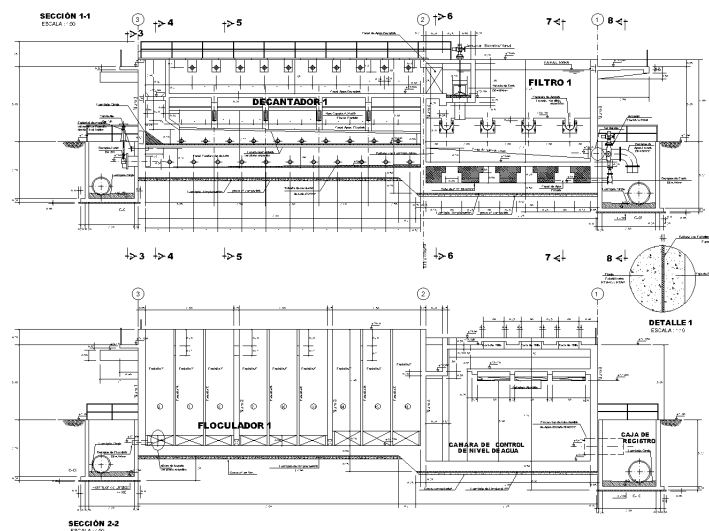
Tablero de control: DOL para bomba, protecciones termomagnéticas y diferenciales.

Alimentación: 220 VAC ± 10 %, 50 Hz; respaldo solar con inversor híbrido de 2 kVA.

Conducciones: canaletas plásticas separando potencia y señales; cable calibre 2,5 mm² para bombas.

Figura 32.

MPA3 – Secciones 1-1 y 1-2.



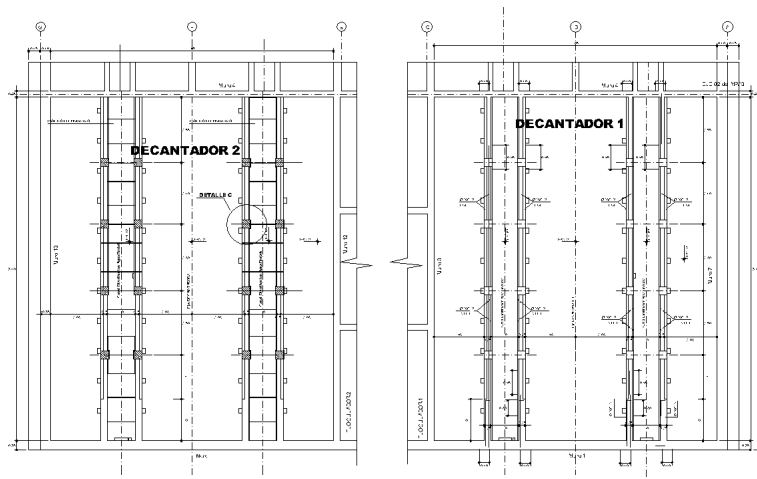
Nota: Aguapen EP.

La Figura 32, nos permite observar el interior de uno de los módulos actuales, la cual también será con el mismo diseño para el tercero, con vistas longitudinales y transversales. Describe los elementos estructurales clave para el funcionamiento del sistema. Este plano determina los tamaños, conexiones del flujo de agua y el orden de las etapas de tratamiento del agua.

En la sección 1-1, se observa claramente el trayecto del flujo del agua cruda desde su ingreso hasta su paso por el decantador y posteriormente hacia el filtro, donde se eliminan las partículas restantes. Se ilustran los elementos estructurales como tabiques, compuertas, vertederos y conductos, así como los mecanismos de control de flujo y recolección de lodos. Por otro lado, la sección 2-2 presenta el corte a través del floculador, componente clave donde se promueve la aglomeración de partículas mediante agitación controlada. La cámara de control del nivel de agua, la caja de registro y las conexiones dirigidas al sistema de filtración también forman parte del conjunto.

Figura 33.

Decantadores -MPA3.



Nota: Aguapen EP.

La Figura 33 se observa el plano del diagrama de ingeniería de los decantadores, la cual son elementos cruciales en el tratamiento de agua. Estos decantadores son uniones en par que asegura que el proceso no sea interrumpido y que se eliminen los sólidos para un tratamiento eficiente.

Plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 35.

Plan de mantenimiento preventivo del módulo a implementar.

Tarea	Frecuencia	Responsable
Limpieza de rejillas	Mensual	Operador de planta
Calibración de sensores	Trimestral	Laboratorio interno
Retrolavado de filtros	Cada 7–10 días	Operador
Inspección de agitadores y bombas	Semestral	Mantenimiento
Reemplazo de arena, antracita y piedra de canto rodado	Anual	Mantenimiento

Nota: Elaborado por el autor.

La tabla 35 representa un plan de mantenimiento preventivo exhaustivo para el sistema de potabilización del agua propuesto, precisando las labores cruciales, la frecuencia con que deben realizarse y los encargados de llevarlas a cabo. Se contempla acciones como el aseo mensual de las mallas, el ajuste cada tres días de los medidores, el lavado inverso de los colocadores de siete a diez días, la revisión cada semestre de los agitadores y bombas y la sustitución cada año de los materiales de filtración (arena, grava y antracita).

Plan de capacitación para nuevo sistema de filtración

El propósito de este plan será brindar a los operarios los conocimientos necesarios para llevar a cabo dicho proceso que incluirá 32 filtros acelerados por gravedad con tecnología moderna. A continuación, se detalla el cronograma de capacitación en la tabla:

Tabla 36

Cronograma de Capacitación

Día	Horario	Tema	Objetivo del Aprendizaje	Duración	Responsable	Lugar
Lunes	08:30-10:30	Funcionamiento del sistema automatizado de filtración	Comprender la estructura y lógica operativa del sistema con 32 filtros acelerados automatizados.	2 horas	Técnico de planta	Sala de reuniones
Martes	09:00-10:00	Componentes automatizados: válvulas, sensores, tableros	Identificar los principales elementos de control del sistema y su	1 hora	Técnico de planta	Casa bomba

			función dentro del proceso.			
Miércoles	09:00-12:00	Monitoreo y supervisión del sistema	Aprender a interpretar alarmas, presiones, caudales y tendencias en el panel de control.	3 horas	Supervisor de turno	Casa bomba / módulos potabilizadores
Jueves	14:00-15:00	Mantenimiento preventivo básico	Ejecutar tareas de limpieza y verificación de filtros, conexiones y sensores sin apoyo externo.	1 horas	Técnico de mantenimiento	Módulos potabilizadores
Viernes	09:30-11:30	Seguridad operativa en ambientes automatizados	Aplicar normas básicas de seguridad para trabajar con componentes eléctricos e hidráulicos.	2 horas	Responsable de SST	Sala de reuniones
	14:00-16:00	Identificación de fallas y comunicación técnica	Reconocer fallos comunes y saber cómo reportarlos con precisión y oportunidad.	2 horas	Técnico de soporte	Casa bomba

Nota: Elaborado por autor

Eficiencia operativa al implementar los módulos potabilizadores.

Cálculo de tiempo en llenar el reservorio optando por la implementación de dos módulos:

El caudal de entrada, teniendo en cuenta la utilización de 3 bombas entre los 2 módulos es de 860 L/s, es decir cada bomba emite un caudal de 286 L/s. Parte de la propuesta es la implementación de 2 bombas nuevas para la estación de bombeo de los MPA. En este caso, las nuevas bombas emitirían un caudal de 350 L/s cada una, lo que genera un total de 1560 L/s debido a la implementación de los 2 nuevos MPA.

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo para llenar} &= \frac{\text{Volumen del reservorio}}{\text{Caudal de entrada}} = \frac{3000 \text{ m}^3}{1,56 \text{ m}^3/\text{s}} = 1923,07 \\
 &\approx 1923 \text{ segundos}
 \end{aligned}$$

$$\frac{1923 \text{ segundos}}{60} = 32,05 \text{ minutos}$$

El reservorio tardaría en llenarse en 32 minutos, reduciendo casi a la mitad el tiempo de llenado. A continuación, se calcula el porcentaje reducido del tiempo de llenado:

$$\text{Tiempo inicial} = 51 \text{ minutos} = 100\%$$

$$\Delta \text{ tiempo de llenado} = 51 \text{ minutos} - 32 \text{ minutos} = 19 \text{ minutos}$$

$$\text{Porcentaje} = 19 \text{ minutos} = \text{\%?}$$

$$\% \text{ disminuido en el tiempo de llenado} = \frac{19 * 100}{51} = 37,25\%$$

Con la implementación de los nuevos MPA 3 y 4, se reduciría en un 37,25% el tiempo de llenado del reservorio que con los 2 MPA actuales. Cabe destacar que también está proyectada la construcción de un nuevo reservorio ya que el actual no podrá almacenar la producción de los 4 módulos debido a su capacidad, por lo que se tomará en cuenta en la parte del presupuesto.

Análisis comparativo

En la tabla 37 se muestra el aumento de mejora con la implementación de dos módulos potabilizadores no solo en el ámbito operativo, sino que también el consumo energético de la planta.

Tabla 37

Análisis comparativo

Indicador	Actual	Propuesto	Mejora
Caudal tratado ($m^3/\text{día}$)	85 000	138 240	62.63%
Caudal aprovechable en Canaleta (L/s)	970	1600	31.5%
Consumo energético total ($kWh/\text{día}$)	47968.32	66533.04	72%
Consumo específico (kWh/m^3)	0.5343	0.4814	-14.69%
Tiempo de llenado del reservorio	51.55	32.05	-37.25%

Nota: Elaborado por el autor

3.5.8 Cronograma de implementación.

La tabla 38 presenta las etapas, actividades y duración estimada de la implementación de los MPA. Este cronograma está pensado para un proyecto realista a desarrollarse en los próximos 6 meses:

Tabla 38.*Cronograma de implementación de MPA 3 y 4.*

Etapa	Actividad	Duración	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
1. Planificación	Diagnóstico de necesidades y estudio técnico	2 semanas	■					
	Evaluación de sitio y estudio topográfico	2 semanas	■					
2. Diseño del sistema	Diseño del módulo potabilizador (ingeniería básica y de detalle)	3 semanas		■				
	Análisis de costos y presupuesto	1 semana		■				
3. Tramitación y permisos	Solicitud de permisos ambientales y de construcción	2 semanas		■				
4. Adquisición de equipos	Compra de equipos y materiales	3 semanas			■			
	Contratación de proveedores	1 semana			■			
5. Construcción e instalación	Obras civiles y preparación del terreno	3 semanas				■		
	Instalación de equipos del MPA	3 semanas				■		
6. Pruebas y puesta en marcha	Pruebas hidráulicas, eléctricas y sanitarias	2 semanas					■	
	Correcciones y calibraciones	1 semana					■	
	Capacitación del personal	1 semana					■	
7. Operación inicial	Inicio de operaciones del módulo potabilizador	1 semana						■
	Monitoreo de parámetros y evaluación inicial	2 semanas						■

Nota: Elaborado por el autor.

3.5.9 Presupuesto.

La tabla 39, presentó los ingresos mensuales del año 2024 de Aguapen EP, necesarios para determinar el periodo de retorno de la inversión necesaria para la propuesta del proyecto. En este caso, se utilizará un promedio total anual de \$10'000.000 para el cálculo de las herramientas financieras.

Tabla 39.*Ingresos de Aguapen EP Año 2024.*

Mes	Ingresos
Enero	\$1'265.108,14
Febrero	\$1'417.618,57
Marzo	\$1'437.441,30
Abril	\$1'549.386,48
Mayo	\$1'526.396,64

Junio	\$1'474.419,87
Julio	\$1'489.735,37
Agosto	\$1'373.776,98
Septiembre	\$1'469.531,60
Octubre	\$1'461.979,33
Noviembre	\$1'425.306,39
Diciembre	\$1'328.168,39

Nota: Elaborado por el autor en base a información de Aguapen EP.

La tabla 40 presenta un desglose de los elementos importantes para llevar a cabo la propuesta. Se ha considerado un 10% de imprevistos y un 15% de reajuste, lo que suma un total de \$4.424.375. Es importante mencionar que son 2 módulos, por lo tanto, sería el doble de la inversión presentada en la tabla 48, pero sin contar el valor de otro reservorio, teniendo una inversión total de:

Tabla 40.

Presupuesto del proyecto por módulo potabilizador.

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Total
1	Bombas centrífugas de alta eficiencia	2	\$38.000,00	\$76.000,00
2	Sistema de filtración propuesto	1	\$198.500,00	\$198.500,00
3	Sistema de floculación y decantación	1	\$550.000,00	\$550.000,00
4	Obras civiles (estructura y cimentación)	1	\$1.100.000,00	\$1.100.000,00
5	Tuberías, válvulas y accesorios	1	\$400.000,00	\$400.000,00
6	Sistema eléctrico e iluminación	1	\$250.000,00	\$250.000,00
7	Mano de obra especializada	1	\$850.000,00	\$850.000,00
8	Supervisión técnica y fiscalización	1	\$100.000,00	\$100.000,00
9	Reservorio complementario	1	\$15.000,00	\$15.000,00
	Subtotal			\$3.539.500,00
	10% de imprevistos			\$353.950,00
	15% de reajuste			\$530.925,00
	Total			\$4.424.375,00

Nota: Elaborado por el autor.

Para la implementación de un solo módulo potabilizador, se calculó una inversión de \$4'424.375,00, contando con los procesos existentes en los módulos actuales, la automatización en el sistema de filtración con equipos tecnológicos y un reservorio complementario para poder abastecer a los tres módulos.

Por consiguiente, se calcula como parte de propuesta y recomendación la implementación del cuarto módulo potabilizador, con un valor de inversión neto entre dos MPA de \$8'833.750,00, duplicando el valor de instalación de un módulo calculado anteriormente y restando el costo del reservorio complementario.

La tabla 39 presenta los ingresos mensuales de Aguapen EP, por lo que se tomarán como referencia para el cálculo de las herramientas financieras con una tasa de rendimiento del 10%. De esta manera, se llevaron a cabo los cálculos financieros del VAN, TIR y el PR para la validación del proyecto en comparación al presupuesto inicial.

$$VAN (\$) = \text{Valor Actual Neto.}$$

$$TIR (\%) = \text{Tasa Interna de Retorno.}$$

$$PR(t) = \text{Periodo de recuperación.}$$

Tabla 41.

Cálculo del flujo de fondo.

	0	1	2	3	4	5
Flujo Fondo	\$-8.833.750,00	\$10.000.000,00	\$10.000.000,00	\$10.000.000,00	\$10.000.000,00	\$10.000.000,00
Saldo Actual de 10%	\$-8.833.750,00	\$9.090.909,09	\$8.264.462,81	\$7.513.148,01	\$6.830.134,55	\$6.209.213,23
Saldo Actualizado Acumulado	\$-8.833.750,00	\$257.159,09	\$8.521.621,90	\$16.034.769,91	\$22.864.904,46	\$29.074.117,69

Nota: Elaborado por el autor.

Donde:

$$Tasa (\%) = \text{Valor por definición.}$$

$$Tasa (\%) = 10 \%$$

$$VNA (\$) = VNA (\text{Interés; flujo de caja}) + \text{desembolso inicial.}$$

$$VNA (\$) = \$37.907.867,69.$$

$$VAN (\$) = \text{Beneficio Neto Actualizado (VNA)} + \text{Inversión inicial.}$$

$$VAN (\$) = \$29.074.117,69.$$

TIR (%) = Se resta el inicial del valor actual operación menos ventas o retorno de inversión y se multiplica por 100.

$$TIR (\%) = 110\%.$$

$Pr(t) = \text{Inversión inicial} / \text{flujo de efectivo por periodo.}$

$$Pr(t) = \text{Año anterior de recuperación} + \frac{\text{Inversión}}{\text{Ingreso año de recuperación}}$$

$$Pr(t) = 0 + \frac{8.833.750,00}{9.090.909,09} = 0,97 \text{ años}$$

$$0,97 \text{ años} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 11,64 \text{ meses}$$

$$0,64 \text{ meses} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} = 19,2 \text{ días}$$

11 meses y 19 días

El valor neto actual (VNA) de \$37.907.867,69 muestra que la inversión inicial del proyecto se recupera totalmente, aun teniendo en cuenta una tasa de descuento del 10%. Esto evidencia que propuesta genera valor, y al usar una tasa de descuento del 15%, se notó un beneficio más alto de lo previsto, lo cual se sugiere que la tasa interna de retorno (TIR) excede la tasa fijada. Por último, el plazo de retorno de la inversión se estimó en 0.97 años, lo que respecta unos 11 meses y 19 días hábiles.

3.6 Discusión.

Los resultados obtenidos a lo largo del estudio técnico y la propuesta revelan que el sistema actual de potabilización de Aguapen EP, si bien cumple con funciones básicas de tratamiento, pero presenta las limitaciones en términos de capacidad y eficiencia operativa. El estudio técnico permitió evidenciar que el caudal tratado entre los dos módulos no es suficiente para responder de manera sostenible a la demanda creciente proyectada. De esta manera, la propuesta de implementar los módulos 3 y 4, surge como una alternativa técnica viable para el incremento de la capacidad instalada y reducir el tiempo de llenado del reservorio, garantizando una operación más eficiente del sistema.

Desde un punto de vista operativo, la inclusión de dos nuevos módulos permitirá optimizar el flujo de tratamiento, mejorar el manejo de la demanda diaria y reducir la presión sobre los módulos existentes, por lo que este cambio también representa un avance en términos de sostenibilidad y resiliencia del sistema, debido a que mejora la disponibilidad de agua potable en el caso de mantenimiento o fallas imprevistas. Así mismo, la idea de sumar un reservorio adicional impulsará de extra apoyo.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática de la literatura (RSL), fue empleada mediante el enfoque del método bibliométrico, el mismo que ha permitido identificar, clasificar y analizar de manera sistemática los principales estudios científicos y herramientas relacionadas con la implementación y estudio técnico de un módulo potabilizador de agua, siendo importante determinar las investigaciones que ayuden a mejorar su eficiencia operativa.

En el marco metodológico se estableció el enfoque más adecuado para sustentar técnica y científicamente al estudio, por lo que, mediante un diseño no experimental de tipo descriptivo con enfoque mixto con predominancia cuantitativa, se lograron identificar y analizar las variables clave que inciden en la eficiencia operativa de los MPA de la planta Atahualpa, sin la necesidad de manipular directamente el entorno de estudio.

Los resultados presentaron de manera clara y cuantificable que la propuesta de implementación de los módulos 3 y 4, generan un impacto positivo en la mejora de la eficiencia operativa del tratamiento de agua, es así que determinó que con la implementación del tercer módulo operando en condiciones normales se aprovecharía el 60% de la capacidad de la canaleta, mientras que con la implementación de un cuarto módulo se aprovecharía un 80% de su capacidad, aunque en condiciones de alta demanda puede aprovecharse hasta un 97% de la capacidad el caudal de la canaleta con la implementación de 2 módulos. Por otro lado, gracias a los cálculos realizados, se evidenció que la capacidad de tratamiento de agua aumentaría proporcionalmente, permitiendo una reducción en los tiempos de llenado del reservorio en un 37,25%, así como una mayor estabilidad en el suministro de la demanda creciente.

RECOMENDACIONES

Debe mantenerse un proceso continuo de actualización y revisión bibliográfica en base a las tecnologías de potabilización de agua, con la finalidad de incorporar prácticas innovadoras y soluciones aplicadas a un contexto similar, mediante la adopción de los diferentes métodos de revisión bibliográficas y la utilización de más bases de datos para el análisis de una mayor cantidad de estudios.

Resulta conveniente aplicar el mismo enfoque metodológico, en este caso cuantitativo, descriptivo y no experimental para las futuras investigaciones y evaluaciones de proyectos dentro de Aguapen EP, debido a que la rigurosidad y objetividad de esta metodología permite obtener datos confiables que apoyen diagnósticos precisos y propuestas viables, en especial el estudio técnico del módulo potabilizador de agua y su eficiencia operativa.

Se sugiere gestionar y ejecutar la implementación de los módulos potabilizadores de agua (MPA3 y MPA4), así mismo como la planificación del nuevo reservorio, como una medida estratégica de expansión y de fortalecimiento del proceso de potabilización de agua, siendo una inversión que no solo mejora la eficiencia operativa actual, sino que previene las posibles crisis de abastecimiento antes la demanda creciente y la variabilidad climática.

BIBLIOGRAFÍA

- Abouee Mehrizi, E., Ebrahimi, A. A., Saadati, H., Zahedi, A., Ghorbanian, M., Soltanizadeh, Z., & Salemi, K. (2023). Investigating the effectiveness of anaerobic digestion in the treatment of sugarcane industry wastewater: A systematic review and meta-analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100414. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100414>
- Aboufotouh, A., Heikal, G., El Ghareb, Y., & Abdo, A. (2023). Optimizing solar distillation to meet water demand for small and rural communities. *Desalination and Water Treatment*, 292, 10–21. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29496>
- Aithal, A., & Aithal, P. S. (2020). Development and Validation of Survey Questionnaire & Experimental Data – A Systematical Review-based Statistical Approach. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.3724105>
- Aldreess, A., Javed, M. F., Khan, M., & Siddiq, B. (2024). Optimized prediction modeling of micropollutant removal efficiency in forward osmosis membrane systems using explainable machine learning algorithms. *Journal of Water Process Engineering*, 66, 105937. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105937>
- Alrbai, M., Al-Dahidi, S., Al-Ghussain, L., Shboul, B., Hayajneh, H., & Alahmer, A. (2024). Assessment of the polygeneration approach in wastewater treatment plants for enhanced energy efficiency and green hydrogen/ammonia production. *Process Safety and Environmental Protection*, 192, 803–821. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.10.077>
- Asaithambi, P., Desta, W. M., Yesuf, M. B., Hussien, M., Asmelash, Z., Beyene, D., Periyasamy, S., & Alemayehu, E. (2024). Photo-alternating current-electrocoagulation technique: Studies on operating parameters for treatment of industrial wastewater. *Scientific African*, 24, e02193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02193>
- Ashour, M. A., Aly, T. E., Abu-Zaid, T. S., & Abdou, A. A. (2023). A comparative technical study for estimating seeped water from irrigation canals in the Middle Egypt (Case study: El-Sont branch canal network). *Ain Shams Engineering Journal*, 14(3), 101875. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101875>
- Ato, M., López-García, J. J., & Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29(3). <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Augusto, P. A., Castelo-Grande, T., Vargas, D., Pascual, A., Hernández, L., Estevez, A. M., & Barbosa, D. (2020). Upscale Design, Process Development, and Economic Analysis of Industrial Plants for Nanomagnetic Particle Production for Environmental and Biomedical Use. *Materials*, 13(11), 2477. <https://doi.org/10.3390/ma13112477>
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos* (S. A. de C. V. McGraw-Hill/Interamericana Editores, Ed.; Sexta Edic).
- Barceló, D., Žonja, B., & Ginebreda, A. (2020). Toxicity tests in wastewater and drinking water treatment processes: A complementary assessment tool to be on your radar. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104262. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104262>

- Cacciuttolo, C., & Cano, D. (2023). Spatial and Temporal Study of Supernatant Process Water Pond in Tailings Storage Facilities: Use of Remote Sensing Techniques for Preventing Mine Tailings Dam Failures. *Sustainability*, 15(6), 4984. <https://doi.org/10.3390/su15064984>
- Casasempere-Satorres, A., & Vercher-Ferrández, M. L. (2020). ANÁLISIS DOCUMENTAL BIBLIOGRÁFICO. OBTENIENDO EL MÁXIMO RENDIMIENTO A LA REVISIÓN DE LA LITERATURA EN INVESTIGACIONES CUALITATIVAS (pp. 247–257). <https://doi.org/10.36367/ntqr.4.2020.247-257>
- Cedeño Castillo, C. V., & Esteves-Fajardo, Z. I. (2023). El acceso al agua en Ecuador: Impacto y posibles soluciones. *CIENCIAMATRIA*, 9(1), 496–507. <https://doi.org/10.35381/cm.v9i1.1077>
- Chen, B., Jin, C., Yang, J., Qu, G., Liu, Y., Wu, F., Liu, S., & Liu, X. (2024). Synergistic organic manure treatment with Al/Fe/Ca-based fluoride-fixing agents promote soil formation and utilization of phosphate flotation tailings. *Process Safety and Environmental Protection*, 192, 495–509. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.10.088>
- Chen, Q., Hall, D. M., Adey, B. T., & Haas, C. T. (2021). Identifying enablers for coordination across construction supply chain processes: a systematic literature review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(4), 1083–1113. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0299>
- Cho, K. Y., Kusumo, C. M. L., Tan, K. K. H., & Rasoolimanesh, S. M. (2023). A systematic review of indicators for sustainability of urban heritage sites. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 17(1), 203–220. <https://doi.org/10.1108/ARCH-12-2021-0344>
- Chong, B. W., Othman, R., Putra Jaya, R., Mohd Hasan, M. R., Sandu, A. V., Nabiałek, M., Jeż, B., Pietrusiewicz, P., Kwiatkowski, D., Postawa, P., & Abdullah, M. M. A. B. (2021). Design of Experiment on Concrete Mechanical Properties Prediction: A Critical Review. *Materials*, 14(8), 1866. <https://doi.org/10.3390/ma14081866>
- Clayton, G. E., Thorn, R. M. S., & Reynolds, D. M. (2019). Development of a novel off-grid drinking water production system integrating electrochemically activated solutions and ultrafiltration membranes. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100480. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.08.018>
- Cutanda-López, M. T. (2021). MÉTODO MIXTO DE INVESTIGACIÓN: PERTINENCIA Y DIFICULTADES EN EL ESTUDIO PROGRAMAS DE REENGANCHE. *Caribeña de Ciencias Sociales*, 31–48. <https://doi.org/10.51896/caribe/MGUI5478>
- Dölle, K., Goodman, N., & Lawrence, W. (2020). Application of Ultraviolet Treatment for Paper Production - An Engineering Study. *Journal of Engineering Research and Reports*, 35–41. <https://doi.org/10.9734/jerr/2020/v11i1417068>
- Dos Santos, W. Q., Mcdermott, O., & Trubetskaya, A. (2025). Lean Six Sigma 4.0 Application in the Food & Beverage Industry: A Case Study. *IEEE Engineering Management Review*. <https://doi.org/10.1109/EMR.2025.3538268>

- Eduardo Pachacama-Llumiquinga, J. I. (2020). *Utilización de productos para Potabilización de Agua*. 5, 1378–1389. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i8.1669>
- Elgharbawy, A. S., & Ali, R. M. (2022). Techno-economic assessment of the biodiesel production using natural minerals rocks as a heterogeneous catalyst via conventional and ultrasonic techniques. *Renewable Energy*, 191, 161–175. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.020>
- Eridadi, H. M., Yoshihiko, I., Alemayehu, E., & Kiwanuka, M. (2021). Evaluation of willingness to pay toward improving water supply services in Sebeta town, Ethiopia. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 11(2), 282–294. <https://doi.org/10.2166/washdev.2021.204>
- Fan, S.-L., Yeh, I.-C., & Chi, W.-S. (2021). Improvement in Estimating Durations for Building Projects Using Artificial Neural Network and Sensitivity Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002036](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002036)
- Figueredo Figueredo, A. L., León Aguilar, R. F., & Martínez Roselló, M. M. (2019). Procedimiento para el procesamiento de información científica en la DPI de la carrera Ingeniería Forestal. *Biblios Journal of Librarianship and Information Science*, 75, 46–61. <https://doi.org/10.5195/biblios.2019.473>
- Flores Romero, M. B., Guerrero Dávalos, C., & González Santoyo, F. (2019). Localización de empresas usando lógica difusa: Estrategia para su posicionamiento. *Contaduría y Administración*, 65(2), 168. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.1924>
- Galvin, R. (2024). Re-thinking energy justice to achieve a fair distribution of shared electricity from rooftop photovoltaics in a typical multi-apartment building in Germany: an interdisciplinary approach. *Energy Research & Social Science*, 112, 103531. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103531>
- Gamarra Mariano, F. M., & Zúñiga Mendoza, G. J. L. (2024). Ejecución presupuestal y disponibilidad de suministros médicos en establecimientos del nivel III de Lima Metropolitana. *ACTA MEDICA PERUANA*, 41(1). <https://doi.org/10.35663/amp.2024.411.2858>
- Gao, R., Gao, S.-H., Li, J., Su, Y., Huang, F., Liang, B., Fan, L., Guo, J., & Wang, A. (2024). Emerging Technologies for the Control of Biological Contaminants in Water Treatment: A Critical Review. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.08.022>
- Gao, R., Zhang, L., Wang, L., Zhang, C., Jun, K.-W., Kim, S. K., Park, H.-G., Zhao, T., Wan, H., & Guan, G. (2023). Efficient utilization of CO₂ in power-to-liquids/power-to-gas hybrid processes: An economic-environmental assessment. *Journal of CO₂ Utilization*, 68, 102376. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102376>
- Gao, Z., Deng, B., Xu, L., Tang, J., Zhao, Q., Hu, T., Chen, Y., Deng, L., Bai, Y., & Du, K. (2024). Enhanced removal of organic dyes by piezoelectric-Fenton-like treatment with Fe-MOF@MoS₂ catalysts. *Journal of Alloys and Compounds*, 1007, 176474. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.176474>

- Gómez Rodríguez, T., Cortazar Martínez, A., & Zambrano Reyes, A. (2020). Análisis técnico y financiero del potencial energético del viento para generar energía eléctrica: el caso de Apan, Hidalgo. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 15(2), 263–276. <https://doi.org/10.21919/remef.v15i2.378>
- Gorzeltz, J., Farber, C., Gangnon, R., & Cadmus-Bertram, L. (2020). Accuracy of Wearable Trackers for Measuring Moderate- to Vigorous-Intensity Physical Activity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal for the Measurement of Physical Behaviour*, 3(4), 346–357. <https://doi.org/10.1123/jmpb.2019-0072>
- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163–173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Haro-Terán, L. F. (2024). El acceso al agua potable en Ecuador: trascendiendo fronteras hacia la universalidad del derecho humano [Access to safe drinking water in Ecuador: transcending borders towards the universality of a human right]. *Verdad y Derecho. Revista Arbitrada de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 3(1), 16–36. <https://doi.org/10.62574/nhxa6e22>
- Hernández Sampieri, R., Feránadez Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. *Metodología de La Investigación*, 91. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&info=resumen&idioma=SPA>
- Herrera, P., & Manuel, J. (2016). *Análisis de calidad de agua potable utilizando métodos estandarizados según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108:2011*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7794>
- Jacqueline Cisneros-Caicedo, A. I., 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>
- Jiang, H., Hua, M., Zhang, J., Cheng, P., Ye, Z., Huang, M., & Jin, Q. (2020). Sustainability efficiency assessment of wastewater treatment plants in China: A data envelopment analysis based on cluster benchmarking. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118729. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118729>
- K.G., A., R., S., & Changmai, M. (2024). Optimizing wastewater treatment plant operational efficiency through integrating machine learning predictive models and advanced control strategies. *Process Safety and Environmental Protection*, 188, 995–1008. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.05.148>
- Khalef, R., & El-adaway, I. H. (2023). Identifying Design-Build Decision-Making Factors and Providing Future Research Guidelines: Social Network and Association Rule Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002431](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002431)
- Kidar, A., Kouzou, A., Kaddouri Ameer, M., Hafaiifa, A., & Saadi, S. (2021). The Implementation Feasibility of PV Power Plant based on Mono-Crystalline and Poly-

- Crystalline Technologies for Remote Regions in the Algerian Steppe. *EEA - Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 69(3), 30–38.
<https://doi.org/10.46904/eea.21.69.3.1108004>
- Kim, J., Hua, C., Lin, S., Kang, S., Kang, J.-H., & Park, M.-H. (2024). Deep learning-based coagulant dosage prediction for extreme events leveraging large-scale data. *Journal of Water Process Engineering*, 66, 105934. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105934>
- Kim, K.-H., Cho, S.-M., & Song, K.-B. (2024). Monthly Electric Power Sales Forecasting Algorithm Using LSTM-XGBoost Ensemble Model. *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 73(5), 766–772.
<https://doi.org/10.5370/KIEE.2024.73.5.766>
- Klamt, R. A., Costa, A. B. da, Gaedke, M. Â., & Lobo, E. A. (2021). Drinking water quality indices: a systematic review. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 16(2), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2630>
- Kliment, M., Kronová, J., Pekarčíková, M., Trebuňa, P., & Baluch, M. (2025). The Implementation of Simulation in Designing Production Expansion. *Processes*, 13(2).
<https://doi.org/10.3390/pr13020299>
- Kshanh, I., & Tanaka, M. (2024). Comparative analysis of MCDM for energy efficiency projects evaluation towards sustainable industrial energy management: Case study of a petrochemical complex. *Expert Systems with Applications*, 255, 124692.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124692>
- Lawryshyn, Y., Zhang, B., & Davison, M. (2020). Optimizing Two-Stage Modular Wastewater Plant Expansions Using Numerical Methods and Simulation in A Real Options Context. *Journal of Environmental Informatics Letters*, 4(2), 64–72.
<https://doi.org/10.3808/jeil.202000043>
- Lazarevikj, M., Babunski, D., Iliev, V., & Markov, Z. (2025). Need for hydro storage due to the challenges arising from expansion of PV electricity generation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1442(1), 012004.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1442/1/012004>
- Lizarazo, C. R., Moreno Reyes, G. J., Godoy Ruiz, C. A., & Guerrero Amayaa, H. (2022). Estudio conceptual a los hornos de llama directa instalados en una planta de gas ubicada en Sabana de Torres. *Revista ION*, 35(1), 95–102.
<https://doi.org/10.18273/revion.v35n1-2022006>
- López, R., Avello, R., Palmero, D., Sánchez, S., & Quintana, M. (2019). *Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas*. 2, 441–450.
- López Serrano, S. C., Chung Alonso, P., & Ramírez Rivera, M. del P. (2021). Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como método multicriterio para la localización óptima de estaciones intermodales. *Economía Sociedad y Territorio*, 21(66), 315–358.
<https://doi.org/10.22136/est20211583>
- Lorena, M. C., Smith, L. R., Sarah, T. A., Virgilio, Á. C., Beatriz, B. G., & Alejandro, L. S. (2021). Servicios de agua potable, saneamiento básico y problemas de salud asociados al

- consumo hídrico en el cantón Quevedo, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 10301–10310. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.1071
- Lorena Maritza, R.-Z., & Mercedes Noemi, V.-V. (2021). *Calidad del servicio y su relación con la satisfacción al cliente en la empresa pública de agua potable del cantón Jipijapa*. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2586>
- Ludeña-Pérez, A. F., Serdán-Valencia, K. N., & Romero-Hidalgo, O. M. (2022). Estudio de Oferta y Demanda para una Asociación de Producción Textil y Costura. *Economía y Negocios*, 13(1), 119–132. <https://doi.org/10.29019/eyn.v13i1.917>
- Luo, M., Fan, H., & Liu, G. (2021). A target-oriented DEA model for regional construction productive efficiency improvement in China. *Advanced Engineering Informatics*, 47, 101208. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101208>
- Macías García, L. D., & Pita Cantos, L. J. (2024). Optimización energética en planta de tratamiento de agua potable de Manabí. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2598>
- Maitama, J. Z., Idris, N., Abdi, A., Shuib, L., & Fauzi, R. (2020). A Systematic Review on Implicit and Explicit Aspect Extraction in Sentiment Analysis. *IEEE Access*, 8, 194166–194191. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3031217>
- Malakootian, M., Faraji, M., Malakootian, M., & Nozari, M. (2021). Ciprofloxacin removal from aqueous media by adsorption process: a systematic review and meta-analysis. *Desalination and Water Treatment*, 229, 252–282. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27334>
- Manrique-Suarez, L.-A., Ochoa-Sotomayor, N.-A., Salazar-Robles, H.-G., & Masías, E. J. F. (2023). Technical Study of the Installation of a Watercress Nectar Processor to Reduce Anemia in Adults. *Management Systems in Production Engineering*, 31(1), 59–70. <https://doi.org/10.2478/mspe-2023-0008>
- Manterola, C., Hernández-Leal, M. J., Otzen, T., Espinosa, M. E., & Grande, L. (2023). Estudios de Corte Transversal. Un Diseño de Investigación a Considerar en Ciencias Morfológicas. *International Journal of Morphology*, 41(1), 146–155. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022023000100146>
- Marroni, G., Piemonte, A., Tamburini, F., Caroti, G., Pannocchia, G., & Landucci, G. (2022). An Interdisciplinary Approach towards the Integrated Safety-Security Assessment of Process Facilities Operating in the Maghreb Context. *Chemical Engineering Transactions*, 91, 517–522. <https://doi.org/10.3303/CET2291087>
- Mejeed, R. A., Oudah, S. S., & Abed, R. Y. (2019). Design of solar photovoltaic pressurized drip irrigation pumping system at al-salman district in samawa governorate. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 10(3), 1628. <https://doi.org/10.11591/ijped.v10.i3.pp1628-1637>
- Méndez, L. A. (2023). Calidad y estado sanitario del agua distribuida para consumo humano en Guastatoya, El Progreso. *Revista Científica Internacional*, 6(1), 21–30. <https://doi.org/10.46734/revcientifica.v6i1.60>

- Méndez-Mejías, L. D., Moya, R., Esquivel-Fuentes, M., & Salazar-Zeledón, E. (2019). Technical study on the production of blocks with composites of cement-wooden wastes from pallets of *Pinus sp.* *Revista de La Construcción*, 18(1), 5–15. <https://doi.org/10.7764/rdlc.18.1.5>
- Mendoza Vargas, H. (2024). Comprender la investigación de campo. Una guía práctica para diseñadores de información. *Investigaciones Geográficas*, 114. <https://doi.org/10.14350/rig.60930>
- Meneses-Falcón, C. (2022). El proyecto de investigación. *Miscelánea Comillas. Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 80(157), 429–454. <https://doi.org/10.14422/mis.v80.i157.y2022.010>
- Meng, X., Hou, R., Zhao, H., Xu, B., & Yang, L. (2020). Preparation of magnetic coagulant aid from wastes for enhanced pollutant precipitation. *Guocheng Gongcheng Xuebao/The Chinese Journal of Process Engineering*, 20(10), 1166–1173. <https://doi.org/10.12034/j.issn.1009-606X.219353>
- Mojumder, Md. F. H., Islam, T., Rafi, Md. M. R., Asef, I. H., Hasan, M., & Chowdhury, N.-U.-R. (2025). Enhanced hybrid energy generation solutions for sustainable rural electrifications in Bangladesh: A system optimization and performance evaluation approach using HOMER Pro and MATLAB/Simulink. *Journal of Energy Storage*, 115, 115971. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.115971>
- Moreira, V. R., Lebron, Y. A. R., Santos, L. V. de S., & Amaral, M. C. S. (2021). Dead-end ultrafiltration as a cost-effective strategy for improving arsenic removal from high turbidity waters in conventional drinking water facilities. *Chemical Engineering Journal*, 417, 128132. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128132>
- Mosquera, F. (2020). Localización óptima de plantas virtuales de generación en sistemas eléctricos de potencia basados en flujos óptimos de potencia. *I+D Tecnológico*, 16(2). <https://doi.org/10.33412/idt.v16.2.2827>
- Muratov, D., Muratova, E., Kravchenko, E., Sukhoveeva, A., & Andreeva, O. (2020). Innovative study on pneumatic separation of grain heap and economic feasibility of design versions. *E3S Web of Conferences*, 210, 05010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021005010>
- Muyulema Allaica, J. C., & Tapias Molina, D. B. (2024). Propuesta de marco para la evaluación de la sostenibilidad organizacional de las PyMEs agroalimentarias. *Arandu UTIC*, 11(2), 161–187. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.256>
- Neto, R. de O., Sotomonte, C. A. R., & Coronado, C. J. R. (2021). Off-design model of an ORC system for waste heat recovery of an internal combustion engine. *Applied Thermal Engineering*, 195, 117188. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117188>
- Nichelatti, E. (2020). Seguridad humana en Soacha desde la percepción local. Análisis del impacto de los proyectos de la FAO y el PNUD. *Análisis Jurídico - Político*, 2(4), 155–179. <https://doi.org/10.22490/26655489.4109>

- Nigjeh, M. J., & Amani, N. (2022). Evaluation of influential value engineering factors on the function of interchanges: case studies in Iran. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00100-9>
- Nyoni, K. J., Maronga, A., Tuohy, P. G., & Shane, A. (2021). Hydro-connected floating pv renewable energy system and onshore wind potential in zambia. *Energies*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/en14175330>
- ONISHCHENKO, O., GOLIKOV, V., MELNYK, O., ONYSHCHENKO, S., & OBERTIUR, K. (2022). TECHNICAL AND OPERATIONAL MEASURES TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND IMPROVE THE ENVIRONMENTAL AND ENERGY EFFICIENCY OF SHIPS. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 116, 223–235. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.116.14>
- Ordoñez-Pacheco, Á. F. (2025). Metodología académica con aplicación a las investigaciones sociales: enfoques, tipos, métodos y diseños. *Sociedad & Tecnología*, 8(2), 335–357. <https://doi.org/10.51247/st.v8i2.484>
- Pacheco, V. M. F., Valdés, R. E., Gil, E. B., Manso, A. N., & Álvarez, E. Á. (2020). Techno-Economic Analysis of Residential Water Meters: A Practical Example. *Water Resources Management*, 34(8), 2471–2484. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02564-x>
- Payus, C. M., Refdin, M. A., Zahari, N. Z., Rimba, A. B., Geetha, M., Saroj, C., Gasparatos, A., Fukushi, K., & Alvin Oliver, P. (2021). Durian husk wastes as low-cost adsorbent for physical pollutants removal: groundwater supply. *Materials Today: Proceedings*, 42, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.006>
- Peña Piñán, T. C. (2023). Propuesta de gestión del suministro para mejorar la disponibilidad de medicamentos e insumos en la micro red de salud Morales, 2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 7643–7662. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7514
- Perelman, G., Shmaya, T., Navon, A., Vrachimis, S., Panteli, M., Eliades, D. G., & Ostfeld, A. (2025). Coordinated operational optimization of water and power systems under emergency conditions. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 42, 101643. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2025.101643>
- Pioquinto-García, S., Rosas, J. M., Loredó-Cancino, M., Giraudet, S., Soto-Regalado, E., Rivas-García, P., & Dávila-Guzmán, N. E. (2021). Environmental assessment of metal-organic framework DUT-4 synthesis and its application for siloxane removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106601>
- Qiu, Y., Li, M., Liu, X., Ren, Q., Lin, T., & Liu, J. (2025). Technical studies about the prestressed insulation cylinder of HL-3 tokamak's center-post. *Nuclear Engineering and Technology*, 57(1), 103132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.net.2024.08.001>
- Ramos - Parra, Y. J., Díaz - Gómez, J., Suarez - Escobar, A., Sánchez - Quitian, Z. A., Suescún - Carrero, S. H., Zipa - Casas, N. Y., & Medina - Alfonso, M. (2025). Risk assessment of the drinking water supply and distribution system in rural areas in Boyacá

- Colombia using water safety plans. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11, 101169. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101169>
- Ramos-Galarza, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- Rebeca, R. M., Karina, F. D. R., Marleni, T. S. Y., Antonio, M. A. A., Amina, E. M., & Cetina-Quiñones, A. J. (2023). Social and techno-economic feasibility study for the implementation of an educational services center in the dominican republic: Perspectives from a comprehensive methodology. *Journal of Technology Management and Innovation*, 18(2), 42–55. <https://doi.org/10.4067/s0718-27242023000200042>
- Roco-Videla, Á., Flores, S. V., Olguin-Barraza, M., Maureira-Carsalade, N., Roco-Videla, Á., Flores, S. V., Olguin-Barraza, M., & Maureira-Carsalade, N. (2024). Alpha de cronbach y su intervalo de confianza. *Nutrición Hospitalaria*, 41(1), 270–271. <https://doi.org/10.20960/NH.04961>
- Romero-Perez, J. C., Vergara, L., & González-Delgado, Á. D. (2021). Development of a Methodology for the Synthesis of Biorefineries Based on Incremental Economic and Exergetic Return on Investment. *ACS Omega*, 6(9), 6112–6123. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04782>
- Rosengart, A., Granzotto, M., Wierer, R., Pazzaglia, G., Salvi, A., & Dotelli, G. (2023). The Green Value Engineering Methodology: A Sustainability-Driven Project Management Tool for Capital Projects in Process Industry. *Sustainability (Switzerland)*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/su152014827>
- Rosinger, A. Y. (2022). Using Water Intake Dietary Recall Data to Provide a Window into US Water Insecurity. *The Journal of Nutrition*, 152(5), 1263–1273. <https://doi.org/10.1093/jn/nxac017>
- Sánchez Martínez, D. V. (2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. *TEPEXI Boletín Científico de La Escuela Superior Tepeji Del Río*, 9(17), 38–39. <https://doi.org/10.29057/estr.v9i17.7928>
- Santos, C., Coelho, A., & Marques, A. (2024). A systematic literature review on greenwashing and its relationship to stakeholders: state of art and future research agenda. *Management Review Quarterly*, 74(3), 1397–1421. <https://doi.org/10.1007/s11301-023-00337-5>
- Schroeder, D., Maliva, R. G., & Missimer, T. M. (2021). Production aquifer water salinity change impacts on brackish-water reverse osmosis desalination facility process design and operation: the City of Clewiston, Florida. *Desalination and Water Treatment*, 233, 1–10. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27603>
- Seo, H. J., & Yoon, Y.-G. (2025). Analyzing Research Trends in Smart Construction Safety: A Topic Modeling Approach. *Buildings*, 15(4), 520. <https://doi.org/10.3390/buildings15040520>
- Sharma, D., Karre, A. V, & Valsaraj, K. T. (2021). Evaluations of the capacity of an existing brine system and estimation of salt loading profile for increased soft water demand to

- avoid soil contamination. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 99(10), 2211–2218. <https://doi.org/10.1002/cjce.23937>
- Shrestha, N. (2021). Factor Analysis as a Tool for Survey Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 9(1), 4–11. <https://doi.org/10.12691/AJAMS-9-1-2>
- Siebert, J., Groß, J., & Schroth, C. (2021). A Systematic Review of Packages for Time Series Analysis. *The 7th International Conference on Time Series and Forecasting*, 22. <https://doi.org/10.3390/engproc2021005022>
- Stratton, S. J. (2021). Population Research: Convenience Sampling Strategies. *Prehospital and Disaster Medicine*, 36(4), 373–374. <https://doi.org/10.1017/S1049023X21000649>
- Taha, A. T., & Helal, M. M. (2020). ENGINEERING STUDIES ON ABSORBENT SURFACES TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF SOLAR COLLECTORS. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 37(4), 393–406. <https://doi.org/10.21608/mjae.2020.121552>
- Torres, K. J., Florez Peña, L. S., Sánchez, C. W., & Castañeda Peñaranda, M. (2020). Metodología SLP para la distribución en planta de empresas productoras de Guadua Laminada Encolada (G.L.G). *Ingeniería*, 25(2), 103–116. <https://doi.org/10.14483/23448393.15378>
- Turi, J. A., Imtiaz, A., & Sorooshain, S. (2021). Learning factories and living labs projects for sustainable educational development. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 18(2), 150–152. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-01-2021-0016>
- Wang, H., Li, D., Wang, Z., Jia, Z., & Wang, Z. (2024). Quantitative investigation and intelligent forecasting of thermal conductivity in lime-modified red clay. *PLOS ONE*, 19(10), e0311882. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311882>
- Wang, H., Wanakule, N., Asefa, T., & Erkyihun, S. (2022). A Risk-Based Framework to Evaluate Infrastructure Investment Options for a Water Supply System. *Journal of Environmental Engineering*, 148(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0002069](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0002069)
- Wasim, M., Vaz Serra, P., & Ngo, T. D. (2022). Design for manufacturing and assembly for sustainable, quick and cost-effective prefabricated construction – a review. *International Journal of Construction Management*, 22(15), 3014–3022. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1837720>
- Wiegelmann, S., Beyers, I., Bensmann, A., & Hanke-Rauschenbach, R. (2024). An improved system design method for cell-based energy storage systems: A combination of a constraint satisfaction problem with an extended Ragone plot. *Journal of Energy Storage*, 96, 112687. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112687>
- Willockx, B., Lavaert, C., & Cappelle, J. (2022). Geospatial assessment of elevated agrivoltaics on arable land in Europe to highlight the implications on design, land use and economic level. *Energy Reports*, 8, 8736–8751. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.076>

- Wolska, M., & Urbańska-Kozłowska, H. (2023). Assessing the Possibilities of Backwash Water Reuse Filters in the Water Treatment System—Case Analysis. *Water*, *15*(13), 2452. <https://doi.org/10.3390/w15132452>
- Xu, J., Liu, C., Liu, X., Sun, X., & Li, Y. (2025). Simulation and Optimization Study on an Energy Efficiency Improvement Strategy of an Air Source Heat Pump Under Australian Standards. *Energies*, *18*(6), 1392. <https://doi.org/10.3390/en18061392>
- Yazdani, B., Alinejad, S., Ghasemi, E., & Taghikhani, V. (2023). Experimental study of fluid flow in horizontal and deviated wells during the artificial gas lift process. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, *57*(1), 81–95. <https://doi.org/10.22059/jchpe.2023.347272.1401>
- Yupanqui Pacheco, K., Espinoza Rojas, W. I., Alhúa Lozano, B. J., & Cornejo Tueros, J. V. (2024). Reingeniería y optimización de los procesos de la planta de tratamientos de aguas residuales “Doris Mendoza.” *Prohominum*, *6*(1), 134–150. <https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0233>
- Zenkovich, M. V., Drevs, Y. G., Inozemtseva, V. S., & Shevchenko, N. A. (2021). Industrial plants investment projects efficiency estimation based on simulation and artificial intelligence methods. *Procedia Computer Science*, *190*, 852–862. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.06.107>
- Zhu, J., Stuetz, R. M., Hamilton, L., Power, K., & Tamburic, B. (2023). Odour management in drinking water systems fed by mixed water supplies. *Journal of Water Process Engineering*, *56*, 104329. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104329>
- Zlachevsky, N. (2022). REPENSANDO LA INGENIERÍA EN PROYECTOS SOCIALES: CONTRIBUCIONES DESDE LA ANTROPOLOGÍA A PARTIR DE LA EXPERIENCIA EN INGENIERÍA SIN FRONTERAS ARGENTINA. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, *22*(2), 27–36. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v22.n2.2022.15019>

ANEXOS

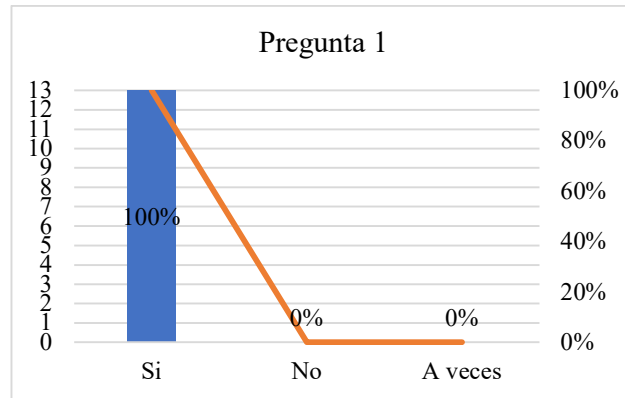
Anexo 1.

Instrumento de recolección de datos.

INSTRUMENTO: CUESTIONARIO TÉCNICO-OPERATIVO PARA MEJORAMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO				
Estimado trabajador opina sobre una Evaluación Técnica-Operativa del módulo potabilizador. Marque solo una puntuación de la escala que cree que cumple por cada ítem				
Cédula número:	Sexo:	masculino ()	femenino ()	Edad: () años
Dimensiones/indicadores/items	Escala			
	1. Sí	2. No	3. A veces	
Dimensión 1: Diseño técnico del proceso				
Indicador 1. Existencia de planos técnicos actualizados				
1.	¿El módulo potabilizador cuenta con planos técnicos actualizados?			
Indicador 2. Cumplimientos de normas técnicas				
2.	¿El diseño del módulo cumple con las normativas técnicas como el INEN o similares?			
Dimensión 2: Funcionalidad de la entidad				
Indicador 3. Caudal medio tratado por hora				
3.	¿Se considera que el módulo alcanza el caudal de tratamiento requerido?			
Indicador 4. Estabilidad del proceso durante el funcionamiento diario				
4.	¿Existe estabilidad del proceso?			
Dimensión 3: Tecnología aplicada				
Indicador 5. Nivel de automatización del sistema				
5.	¿El módulo está dentro de un conjunto automatizado para su funcionamiento?			
Indicador 6. Integración de tecnología innovadora				
6.	¿El módulo utiliza tecnologías modernas en el tratamiento de agua?			
Dimensión 4: Condiciones físicas del módulo				
Indicador 7. Estado estructural de las instalaciones del módulo				
7.	¿Considera que las instalaciones del módulo se encuentran en buen estado?			
Indicador 8. Accesibilidad de componentes para el mantenimiento				
8.	¿Los componentes del módulo son fácilmente accesibles para su mantenimiento?			
Dimensión 5: Uso de recursos				
Indicador 9. Disponibilidad de personal en la empresa				
9.	¿El número de trabajadores asignados es suficiente para operar?			
Indicador 10. Disponibilidad oportuna de insumos técnicos y técnicos.				
10.	¿Está disponible los insumos necesarios para la potabilización?			
Dimensión 6: Productividad del agua potable				
Indicador 11. Volumen diario de agua potabilizada				
11.	¿El módulo produce la cantidad de agua potable necesaria?			
Indicador 12. Porcentaje de cumplimiento con las demandas de distribución				
12.	¿Se logra abastecer toda el área de espera con agua potable desde este módulo?			
Dimensión 7: Continuidad operativa				
Indicador 13. Número de horas continuas de operación				
13.	¿El módulo funciona de forma continua durante la jornada laboral sin interrupciones?			
Indicador 14. Frecuencia de paradas no programadas				
14.	¿Ocurre interrupciones inesperadas durante la operación del módulo?			
Dimensión 8: Gestión de mantenimiento				
Indicador 15. Frecuencia de mantenimiento preventivo				
15.	¿Se realiza el mantenimiento en los tiempos planificados?			
Indicador 16. Cumplimiento del cronograma del mantenimiento técnico				
16.	¿El cronograma de mantenimiento técnico se cumple a tiempo?			

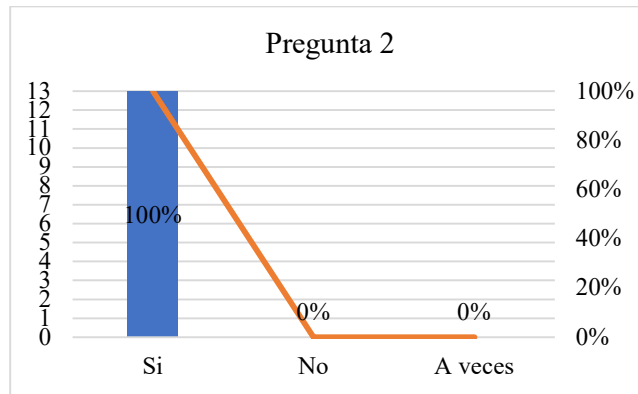
Anexo 2

Representación Gráfica de la Pregunta 1



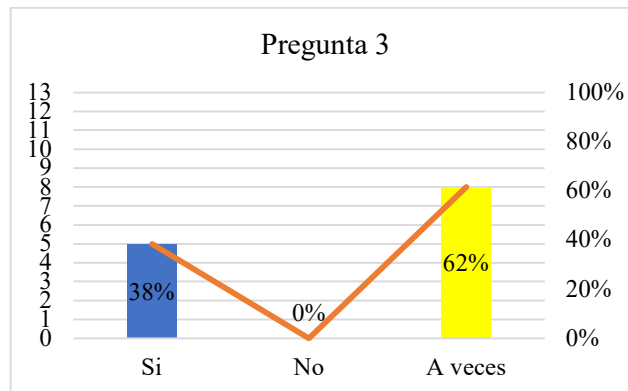
Anexo 3

Representación Gráfica de la Pregunta 2



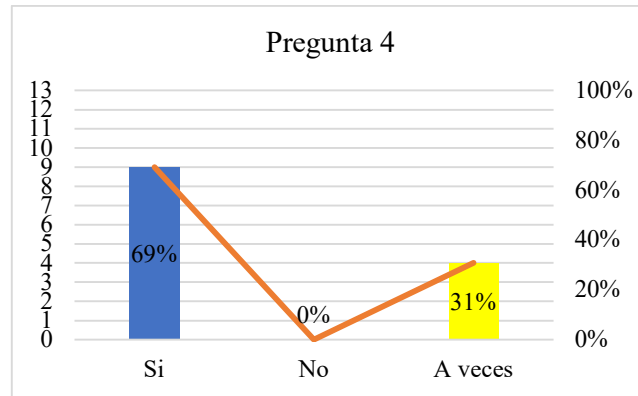
Anexo 4

Representación Gráfica de la Pregunta 3



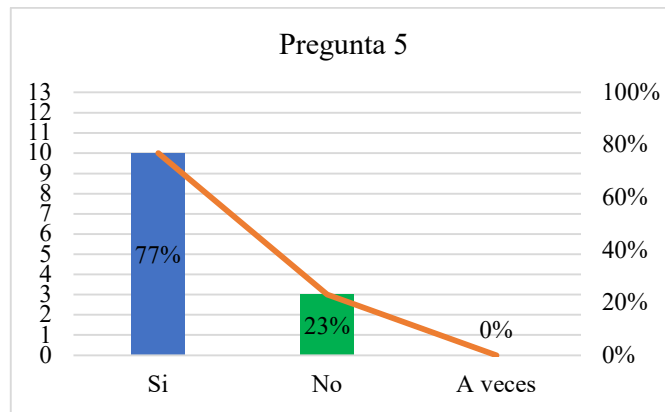
Anexo 5

Representación Gráfica de la Pregunta 4



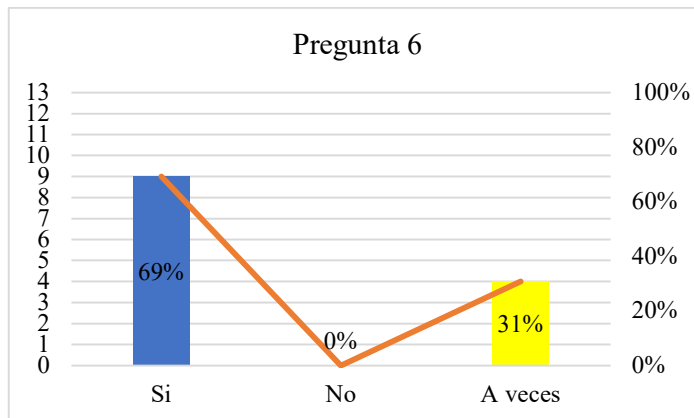
Anexo 6

Representación Gráfica de la Pregunta 5



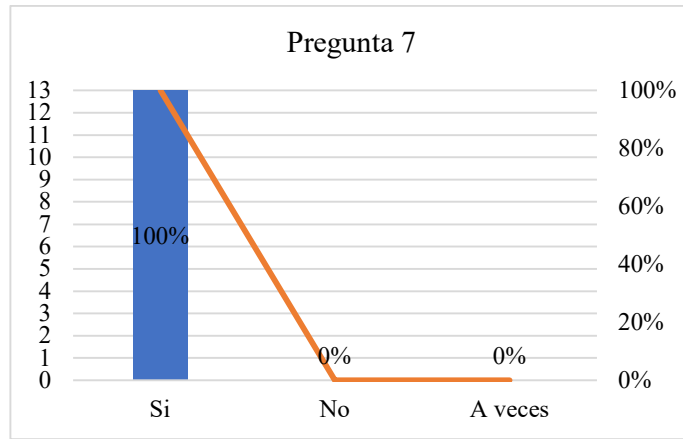
Anexo 7

Representación Gráfica de la Pregunta 6



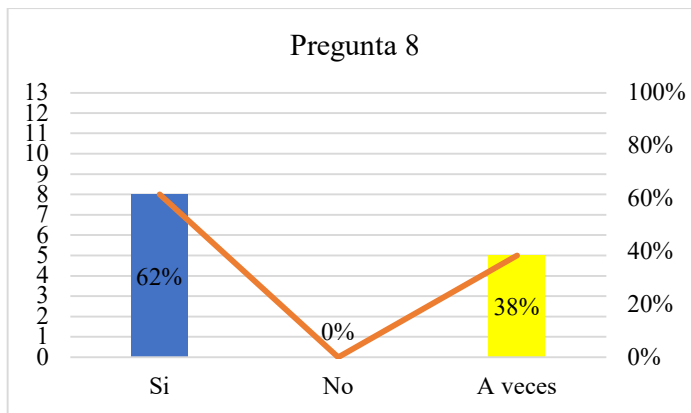
Anexo 8

Representación Gráfica de la Pregunta 7



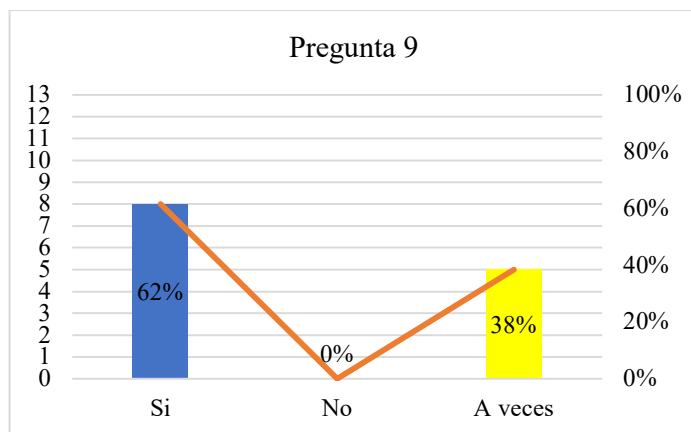
Anexo 9

Representación Gráfica de la Pregunta 8



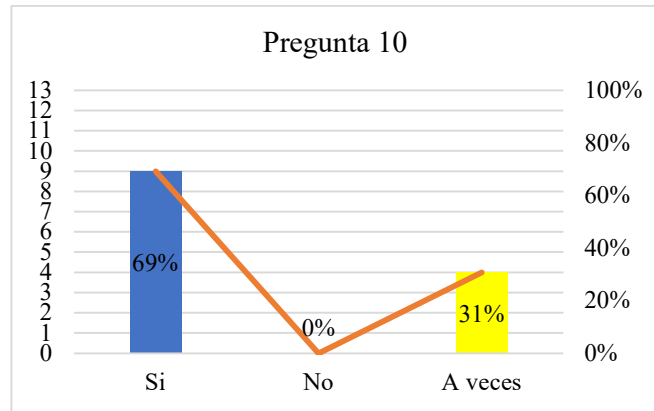
Anexo 10

Representación Gráfica de la Pregunta 9



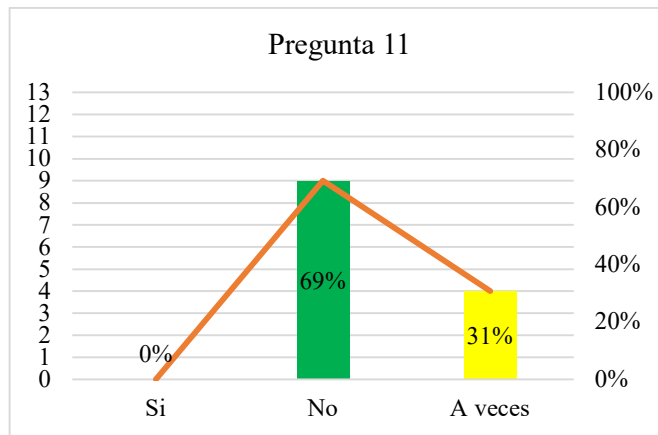
Anexo 11

Representación Gráfica de la Pregunta 10



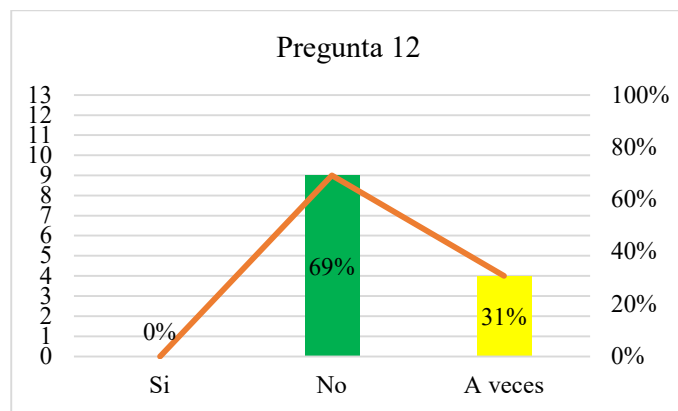
Anexo 12

Representación Gráfica de la Pregunta 11



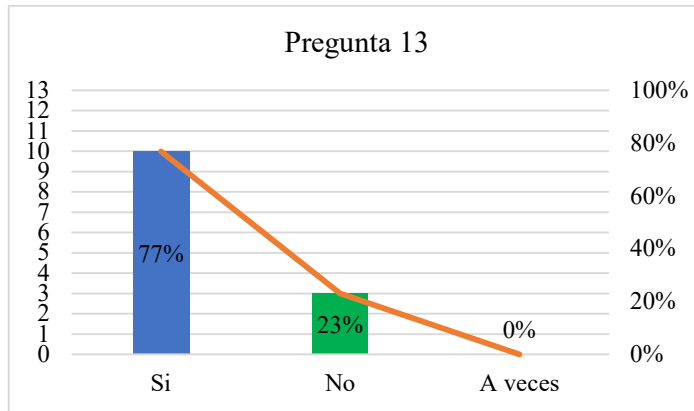
Anexo 13

Representación Gráfica de la Pregunta 12



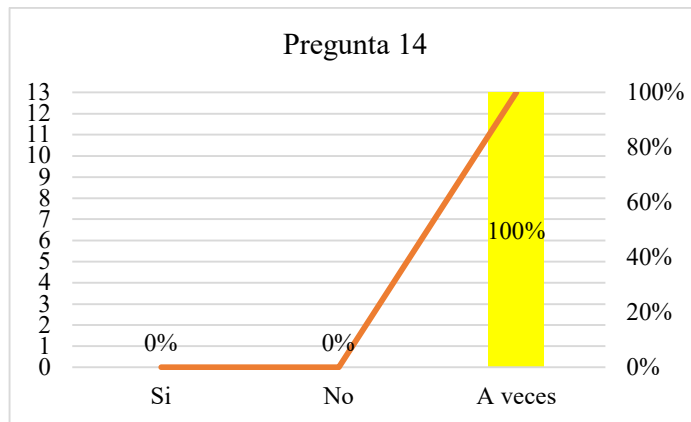
Anexo 14

Representación Gráfica de la Pregunta 13



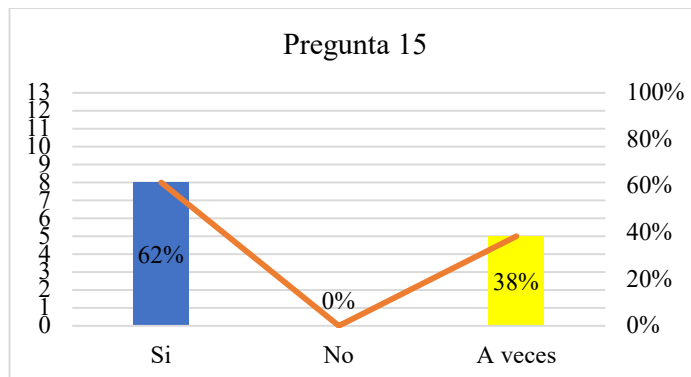
Anexo 15

Representación Gráfica de la Pregunta 14



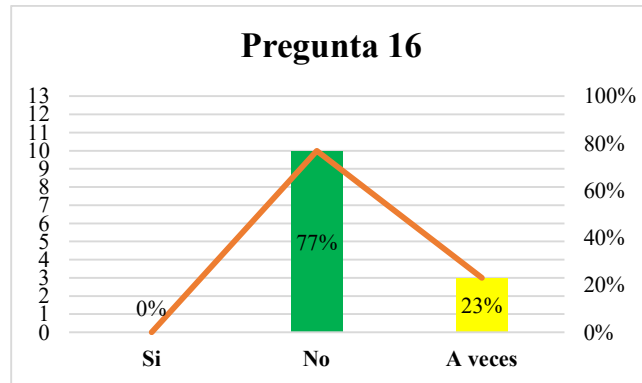
Anexo 16

Representación Gráfica de la Pregunta 15



Anexo 17

Representación Gráfica de la Pregunta 16



Anexo 18.

Calificación de expertos

Validación de instrumento por Experto N° 1

Nombre de instrumento: Cuestionario técnico-operativo para la evaluación del módulo potabilizador de agua en Aguapen - EP"

Objetivo: Recolectar información técnica y operativa sobre el funcionamiento actual del módulo potabilizador de agua, con el fin de identificar necesidades, limitaciones y oportunidades de mejora para la planificación de un nuevo módulo que responda a la creciente demanda de distribución de agua.

Dirigido a: Trabajadores de la empresa Aguapen – EP

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Alejandro Crisóstomo Véliz Aguayo

Grado académico del experto evaluador: Doctor en Ciencias Técnicas.

Áreas de experiencia profesional: Técnica (x) Educativa (x)

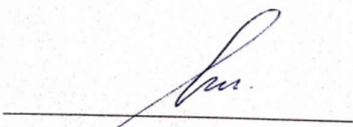
Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)

Tiempo de experiencia profesional en el área: 30+ años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
X		

La Libertad, abril del 2025


Ing. Alejandro Crisóstomo Veliz Aguayo, PhD

CI: 0908182280

Experto 1

Validación de instrumento por Experto N° 3

Nombre de instrumento: Cuestionario técnico-operativo para la evaluación del módulo potabilizador de agua en Aguapen - EP"

Objetivo: Recolectar información técnica y operativa sobre el funcionamiento actual del módulo potabilizador de agua, con el fin de identificar necesidades, limitaciones y oportunidades de mejora para la planificación de un nuevo módulo que responda a la creciente demanda de distribución de agua.

Dirigido a: Trabajadores de la empresa Aguapen – EP

Apellidos y nombres del evaluador: Dr. Gerardo Antonio Herrera Brunett

Grado académico del experto evaluador: PhD en Ciencias Ambientales

Áreas de experiencia profesional: Técnica (x) Educativa (x)

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)

Tiempo de experiencia profesional en el área: 35 años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
x		

La Libertad, abril del 2025



Ing. Gerardo Antonio Herrera Brunett

CI: 0909254260

Experto 2.

Validación de instrumento por Experto N° 5

Nombre de instrumento: Cuestionario técnico-operativo para la evaluación del módulo potabilizador de agua en Aguapen - EP"

Objetivo: Recolectar información técnica y operativa sobre el funcionamiento actual del módulo potabilizador de agua, con el fin de identificar necesidades, limitaciones y oportunidades de mejora para la planificación de un nuevo módulo que responda a la creciente demanda de distribución de agua.

Dirigido a: Trabajadores de la empresa Aguapen – EP

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo

Grado académico del experto evaluador: Magister en Diseño Industrial y Procesos

Áreas de experiencia profesional: Técnica (x) Educativa ()

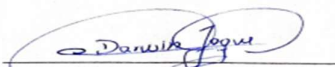
Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)

Tiempo de experiencia profesional en el área: 15 años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
X		

La Libertad, abril del 2025



Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo

CI: 1803738580

Experto 3.

Validación de instrumento por Experto N° 4

Nombre de instrumento: Cuestionario técnico-operativo para la evaluación del módulo potabilizador de agua en Aguapen - EP"

Objetivo: Recolectar información técnica y operativa sobre el funcionamiento actual del módulo potabilizador de agua, con el fin de identificar necesidades, limitaciones y oportunidades de mejora para la planificación de un nuevo módulo que responda a la creciente demanda de distribución de agua.

Dirigido a: Trabajadores de la empresa Aguapen – EP

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. González Villacres Franklin Rafael

Grado académico del experto evaluador: Máster en Ciencias e Ingeniería

Áreas de experiencia profesional: Técnica (x) Educativa (x)

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)

Tiempo de experiencia profesional en el área: 15 años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
x		

La Libertad, abril del 2025



Ing. Mec. González Villacres Franklin Rafael, MSc.

CI: 01013817060

Experto 4

Anexo 19.

Ficha de validación por juicio de expertos.

ANEXO 3. FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO

Tema: Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en "Aguapen - EP", Parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena

Indicadores	Criterios	Inadecuado				Medianamente adecuado				Adecuado				Muy adecuado				Totalmente adecuado				Observaciones	
		0 - 20				21 - 40				41 - 60				61 - 80				81 - 100					
Aspectos de Validación		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96		
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				100		
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																					100	
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																					100	
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																					100	
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																					95	
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																					95	
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																					100	
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																					9	100
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																					95	
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																					95	

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del instrumento que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.

PROMEDIO: 98 puntos (Totalmente adecuado)

La Libertad, 8 de mayo de 2025

Experto: Ing. Alejandro Cristosomo Veliz, PHD
 Profesión: *Ing. Alejandro Veliz PHD*
 CI: 0908182280
 Celular: 0996866782
 ORCID: 0000-0003-4089-7396

[Firma]
Firma del Experto 1

Experto 1.

Tema: Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en "Aguapén - EP", Parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena

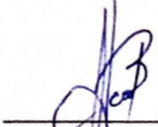
Indicadores	Criterios	Inadecuado				Medianamente adecuado				Adecuado				Muy adecuado				Totalmente adecuado				Observaciones
		0 - 20				21 - 40				41 - 60				61 - 80				81 - 100				
Aspectos de Validación		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				100	
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																				95	
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																				100	
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																			90		
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																			90		
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																				100	
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																			95		
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				100	
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																			90		
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				100	

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del instrumento que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.

PROMEDIO: 96 puntos (Totalmente adecuado)

La Libertad, 8 de mayo de 2025

Experto: Dr. Gerardo Antonio Herrera
 Profesión: Ingeniero Industrial
 CI: 0909254260
 Celular: 0983178375


 Firma del Experto 3

ORCID: 0000-0001-5948-6998

Experto 2.

Tema: Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en "Aguapen - EP", Parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena

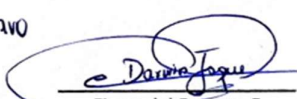
Indicadores	Criterios	Inadecuado				Medianamente adecuado				Adecuado				Muy adecuado				Totalmente adecuado				Observaciones
		0 - 20				21 - 40				41 - 60				61 - 80				81 - 100				
Aspectos de Validación		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				94	
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																				94	
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																				95	
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																				96	
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																				95	
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																				96	
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																				96	
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				94	
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				97	
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				96	

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del instrumento que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.

PROMEDIO: 95,3 puntos (Totalmente adecuado)

La Libertad, 8 de mayo de 2025

Experto: Ing. Jaque Aica Darwin Gustavo
 Profesión: Ingeniero Industrial
 CI: 1803738580
 Celular: 0995551966


 Firma del Experto 5


ORCID: 0009-0002-7959-4210

Experto 3.

Tema: Estudio técnico del módulo potabilizador de agua para la eficiencia operativa en "Aguapen - EP", Parroquia Atahualpa, cantón Santa Elena

Indicadores	Criterios	Inadecuado		Medianamente adecuado				Adecuado				Muy adecuado				Totalmente adecuado				Observaciones	
		0 - 20		21 - 40				41 - 60				61 - 80				81 - 100					
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86		91
Aspectos de Validación		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				96
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																				98
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																				95
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																				100
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																				97
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																				95
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																				92
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				100
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				95
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				98

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del instrumento que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.

La Libertad, 8 de mayo de 2025	<p>PROMEDIO: 96.6 puntos (Totalmente adecuado)</p> <p>Experto: Ing. Mec. González Villacres Franklin Rafael, MSc Profesión: Ingeniero Mecánico CI: 0103817060 Celular: 0969757737 ORCID: 0009-0006-2357-5829</p>	 <p>Franklin Rafael Gonzalez Villacres</p>
	Firma del Experto 4	

Experto 4.

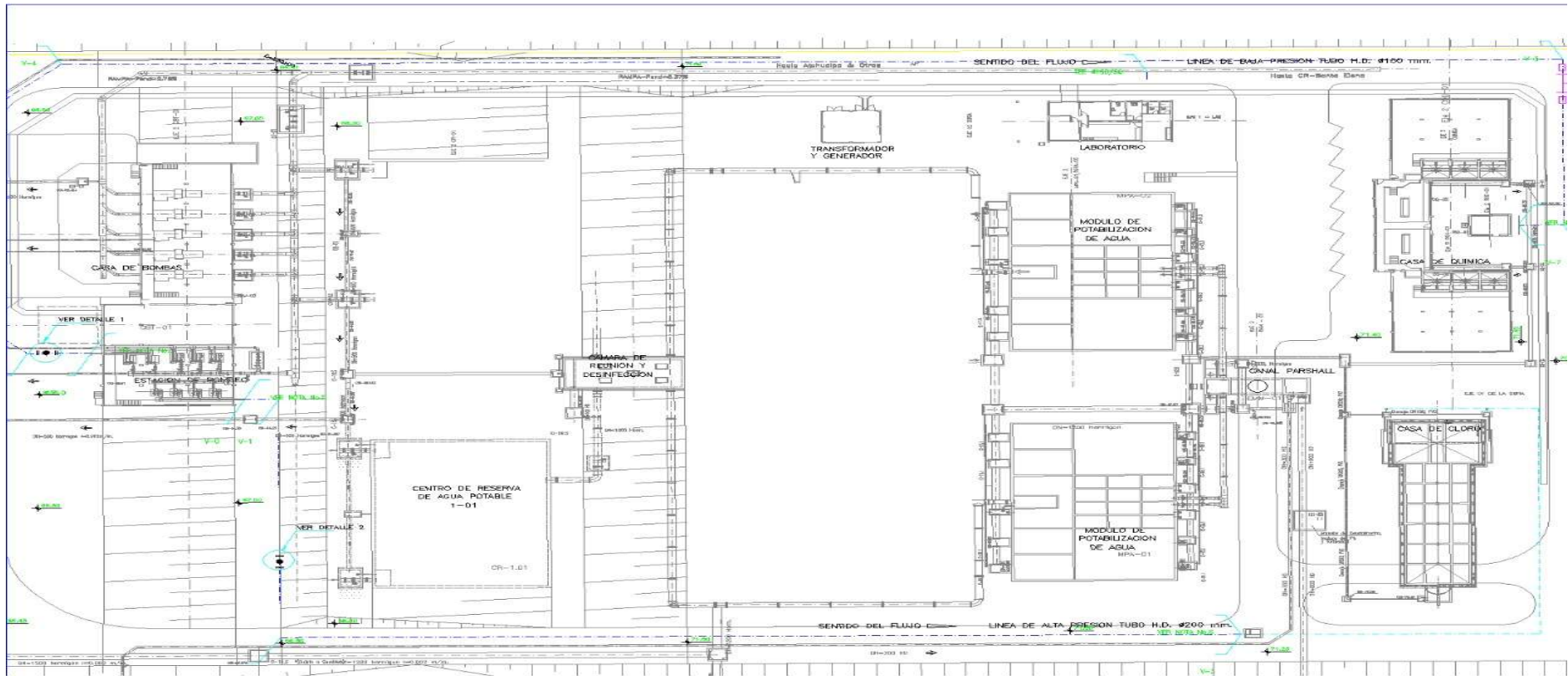
Anexo 20.

Check List de verificación de cumplimiento.

		Check List de Verificación del Cumplimiento de la Norma NTE INEN 1108:2020 en el Proceso de Potabilización del Agua		
Nombre del trabajador:				
ÁREA: Departamento de Calidad				
Fecha:				
Nº	Ítem de Verificación	Cumple (✓/X)	Observaciones	Evidencia
1. Físicos				
1	¿El agua presenta olor y sabor aceptables al momento de la inspección?	✓	Sin alteraciones perceptibles.	Informe sensorial de cata técnica - abril 2025
2	¿La turbiedad del agua está por debajo de 5 UNT?	✓	Turbiedad dentro de lo permitido.	Registro de medición turbidímetro T01-2025
2. Gestión de calidad				
3	¿El pH del agua se encuentra entre 6,5 y 8,0?	✓	pH estable dentro del rango.	Lectura de pH metro digital - Turno mañana
4	¿La concentración de cloro residual libre se mantiene entre 0,2 y 1,5 mg/L?	✓	Si cumple	Bitácora de cloración - dosis ajustada el 15/05/2025
5	¿El color aparente es menor a 15 unidades de platino-cobalto (u.p.c)?	✓	Color aceptable según medición.	Registro visual de colorímetros aprobados
3. Infraestructura y Distribución				
6	¿El contenido de nitratos es menor a 50 mg/L?	✓	Concentración dentro del límite.	Informe de laboratorio interno - muestra 04-25
4. Microbiológicos				
7	¿Se verifica la ausencia total de coliformes fecales por cada 100 mL de muestra?	✓	No se detectaron coliformes.	Resultados microbiológicos de abril 2025
8	¿Se garantiza la ausencia de Cryptosporidium en muestras representativas?	✓	Si cumple	Informe de laboratorio externo - mayo 2025
9	¿Se garantiza la ausencia de Giardia en muestras representativas?	✓	Muestras sin presencia de Giardia.	Resultados negativos de muestras - laboratorio
10	¿El agua está libre de plomo en concentraciones superiores a 0,01 mg/L?	✓	Valor medido dentro del rango.	Análisis de plomo por espectrofotometría - abril 2025
5. Organolépticos				
11	¿La concentración de arsénico está por debajo de 0,01 mg/L?	✓	Valor aceptable.	Informe de análisis de metales pesados - abril 2025
12	¿El sistema de abastecimiento realiza monitoreos microbiológicos periódicos?	✓	Monitoreo mensual documentado.	Plan de muestreo y resultados mensuales - Q2 2025
6. Químicos				
13	¿Se realiza el control de subproductos de desinfección como trihalometanos?	✓	Si cumple	Informe de ausencias de subproductos Q1
14	¿Existe un registro técnico de los resultados de análisis físico-químicos y microbiológicos?	✓	Registro actualizado disponible.	Archivo Excel de resultados y gráficos de tendencias
15	¿Los puntos de muestreo están claramente identificados y accesibles?	✓	Se identifican correctamente los puntos de muestreo.	Mapa de puntos de muestreo actualizado
16	¿Se cuenta con un plan documentado de vigilancia de calidad del agua?	✓	Si cumple	Documento formal de vigilancia
17	¿El sistema de distribución evita condiciones que puedan generar contaminación cruzada?	✓	Sistema hermético con válvulas en buen estado.	Informe de mantenimiento de válvulas - mayo 2025
18	¿Se efectúan pruebas de metales pesados como mercurio, cadmio y cromo según la frecuencia requerida?	✓	Se efectúan con frecuencia	Resultados semestrales - siguiente toma junio 2025
19	¿Los parámetros de olor y sabor se controlan sensorialmente o mediante métodos definidos?	✓	Evaluación sensorial realizada semanalmente.	Ficha técnica de evaluación sensorial - mayo 2025
20	¿Se cumple con los valores máximos permitidos para compuestos orgánicos como benceno, tolueno y xileno?	✓	Compuestos orgánicos dentro de los límites normativos.	Informe de laboratorio sobre compuestos orgánicos

Anexo 21.

Lyout de planta de Atahualpa.



Anexo 24.

Recolección de datos en la planta.



Nota: Recolección de datos para entrevista



Nota: Recolección de datos para encuesta



Nota: Recolección de datos técnicos



Nota: Recolección de datos para Check List



Nota: Verificación de caudal



Nota: Observación directa de bombeo