

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Relación entre la eficiencia del tratamiento en la PTAR de
Chiara y la propuesta de un diseño optimizado - Ayacucho, 2025**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:
Bach. Yeltsin Ricky BERROCAL REYMUNDEZ

ASESOR:
Dr. Richard Alex OSCCO PECEROS

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, en primer lugar, a Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor, sacrificio, esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria. Gracias por ser mi principal motivación, por inculcarme valores, por confiar en mí y por acompañarme en cada paso de este camino, aun en los momentos más difíciles. Este logro también les pertenece, porque es fruto de todo el esfuerzo compartido y de las enseñanzas que me brindaron día a día.

A mi familia, por su respaldo constante, comprensión y palabras de aliento, que fueron fundamentales para seguir adelante y no rendirme durante el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme brindado la formación académica, científica y humana necesaria para mi desarrollo profesional y para la realización del presente trabajo de investigación.

A mi asesor, Dr. Richard Alex Oscoco Peceros, por su orientación, apoyo, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de la tesis, así como por compartir sus conocimientos y experiencia para el fortalecimiento de esta investigación.

Asimismo, agradezco a mis docentes, quienes a lo largo de mi formación universitaria contribuyeron con sus enseñanzas, consejos y exigencia académica a consolidar mi preparación profesional.

De manera especial, agradezco a mis padres y a mi familia por su apoyo moral, económico y emocional, por su confianza permanente y por ser el impulso fundamental para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar una propuesta de optimización y gestión preventiva del sistema de tratamiento de aguas residuales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la localidad de Chiara, mediante la integración del análisis hidroclimático, el modelamiento espacial con ArcGIS y la evaluación técnico-operativa del sistema, con la finalidad de fortalecer la eficiencia y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental vigentes. La investigación se justifica por la necesidad de asegurar la protección de los cuerpos de agua receptores y la salud pública, considerando las deficiencias reportadas en diversas plantas de tratamiento a nivel nacional, así como la influencia de factores hidroclimáticos en el desempeño de estos sistemas. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con un diseño no experimental de corte transeccional. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado, tales como pH, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales en suspensión (SST), aceites y grasas, y coliformes termotolerantes, los cuales fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente. Asimismo, se realizó un análisis hidroclimático mediante el procesamiento de datos pluviométricos de estaciones meteorológicas y precipitación satelital, aplicando métodos de validación como curvas doble masa, así como modelación lluvia–escorrentía mediante el método SCS-CN y el cálculo de caudal pico mediante el método racional, se aplicó modelamiento espacial en ArcGIS, generando mapas temáticos de elevación, pendiente, dirección y acumulación de flujo, que permitieron identificar zonas de aporte hídrico y áreas de riesgo asociadas a la escorrentía superficial. Los resultados obtenidos muestran valores de DBO₅ de 27,5 mg/L, DQO de 68,3 mg/L, SST de 27 mg/L, aceites y grasas de 1,3 mg/L, coliformes termotolerantes de 2 NMP/100 mL, pH de 6,8 y temperatura de 18 °C, evidenciando un cumplimiento total de los estándares de calidad ambiental. Adicionalmente, el análisis de indicadores de desempeño, como el factor de cumplimiento y el margen de seguridad, confirma un comportamiento eficiente del sistema bajo condiciones actuales, el análisis de escenarios hidroclimáticos y caudales evidenció que eventos de precipitación intensa pueden generar incrementos en la carga hidráulica, afectando potencialmente la estabilidad operativa del sistema.

Palabras clave: aguas residuales, eficiencia, efluente, normativa ambiental, PTAR.

ABSTRACT

The present study aimed to develop a proposal for the optimization and preventive management of the wastewater treatment system at the Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the locality of Chiara, through the integration of hydroclimatic analysis, spatial modeling using ArcGIS, and technical-operational evaluation of the system, in order to strengthen efficiency and ensure compliance with current environmental quality standards. The research is justified by the need to protect receiving water bodies and public health, considering the deficiencies reported in various treatment plants at the national level, as well as the influence of hydroclimatic factors on the performance of these systems. The study was conducted under a quantitative, applied approach, with a non-experimental cross-sectional design. Physicochemical and microbiological parameters of the treated effluent were analyzed, including pH, temperature, biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), oils and greases, and thermotolerant coliforms, which were compared with the Maximum Permissible Limits established by current environmental regulations. Additionally, a hydroclimatic analysis was performed using rainfall data from meteorological stations and satellite precipitation sources, applying validation methods such as double mass curves, as well as rainfall-runoff modeling using the SCS-CN method and peak flow estimation through the rational method. Spatial modeling was also carried out using ArcGIS, generating thematic maps of elevation, slope, flow direction, and flow accumulation, which allowed the identification of runoff contribution areas and zones of potential hydrological risk. The results obtained show BOD₅ values of 27.5 mg/L, COD of 68.3 mg/L, TSS of 27 mg/L, oils and greases of 1.3 mg/L, thermotolerant coliforms of 2 MPN/100 mL, pH of 6.8, and temperature of 18 °C, demonstrating full compliance with environmental quality standards. Furthermore, performance indicators such as the compliance factor and safety margin confirm efficient system performance under current conditions. However, the analysis of hydroclimatic scenarios and flow variations revealed that intense rainfall events may increase hydraulic load, potentially affecting the operational stability of the system.

Key words: environmental regulation, efficiency, effluent, wastewater, WWTP.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA	9
1. Descripción del problema	9
1.2. Formulación del problema	12
1.2.1.Problema general	12
1.2.2.Problemas especificos	12
1.3.Objetivos	12
1.3.1.Objetivo general	12
1.3.2.Objetivo especifico	12
1.4.Hipótesis	13
1.4.1.Hipótesis general	13
1.4.2.Hipótesis específicas	13
CAPÍTULO II :MARCO TEÓRICO.....	14
2. Antecedentes de la investigación.....	14
2.2. Bases teóricas.....	19
2.2.1.El Agua.....	19
2.2.2.Agua residual.....	20
2.2.3.Planta de tratamiento de agua residual (PTAR).....	20
2.2.4.Efluente	22
2.2.5.Desinfección química	22
2.2.6.Descripción de la planta en estudio.	23
2.2.7.Caracterización del efluente de la planta.....	23
2.2.8.Límites Máximos Permisibles	23
2.2.9.Parámetros recomendados en el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	24

2.2.10.Técnicas de monitoreo y tipos de muestras de agua	25
CAPÍTULO III :MATERIAL Y MÉTODOS	27
3.1.Tipo de investigación	27
3.2.Nivel de investigación.....	27
3.3.Diseño de investigación.....	27
3.4.Población y muestra.....	28
3.5.Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.6.Técnicas de procesamiento y análisis de datos	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
GLOSARIO	95
ANEXOS	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR.....	24
Tabla 2 Condiciones de muestreo del efluente tratado	30
Tabla 3 Parámetros medidos en campo.....	31
Tabla 4 Sólidos Totales en Suspensión (SST)	31
Tabla 5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	31
Tabla 6 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	32
Tabla 7 Aceites y grasas.....	32
Tabla 8 Coliformes termotolerantes.....	32
Tabla 9 Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de PTAR.....	33
Tabla 10 Resultados analíticos del efluente tratado – PTAR Chiara	34
Tabla 11 Comparación de pH con LMP	34
Tabla 12 Comparación de temperatura con LMP	35
Tabla 13 Comparación de SST con LMP	35
Tabla 14 Comparación de DBO ₅ con LMP.....	35
Tabla 15 Comparación de DQO con LMP.....	36
Tabla 16 Comparación de aceites y grasas con LMP.....	37
Tabla 17 Resultados de coliformes termotolerantes	37
Tabla 18 Comparación microbiológica con LMP	38
Tabla 19 Resumen de cumplimiento por parámetro	38
Tabla 20 Porcentaje de cumplimiento normativo	39
Tabla 21 Impacto ambiental del efluente tratado	39
Tabla 22 Clasificación de la calidad del efluente.....	40
Tabla 23 Resultados del efluente final (P-01).....	40
Tabla 24 LMP usados para comparación	41
Tabla 25 Factor de cumplimiento (FC = Resultado/LMP)	42
Tabla 26 Margen de seguridad (MS%)	43
Tabla 27 Distancia del pH a los límites del rango.....	44
Tabla 28 Ranking de desempeño ambiental (del mejor al más cercano al LMP)	44
Tabla 29 Semáforo de riesgo (según margen de seguridad)	45
Tabla 30 Riesgo por parámetro (PTAR Chiara)	46
Tabla 31 Datos hidroclimáticos utilizados en el análisis	47

Tabla 32	Precipitación registrada en estaciones cercanas	47
Tabla 33	Precipitación media mediante Thiessen	49
Tabla 34	Precipitación mediante método de isoyetas	51
Tabla 35	Comparación precipitación satelital vs estaciones	53
Tabla 36	Estimación de escorrentía	53
Tabla 37	Escenarios de presión hidráulica	53
Tabla 38	Relación hidroclimática – eficiencia	54
Tabla 39	Matriz de vulnerabilidad	54
Tabla 40	Control y consistencia de datos pluviométricos (SENAMHI)	54
Tabla 41	Análisis de precipitación extrema	56
Tabla 42	Escorrentía estimada (SCS-CN)	56
Tabla 43	Objetivo de optimización	57
Tabla 44	Mejoras de pretratamiento	58
Tabla 45	Optimización hidráulica en lagunas	58
Tabla 46	Plan de manejo de lodos	59
Tabla 47	Desinfección de seguridad	59
Tabla 48	Rutinas diarias	60
Tabla 49	Rutinas semanales	60
Tabla 50	Rutinas mensuales	61
Tabla 51	Características espaciales del área de estudio	63
Tabla 52	Análisis altitudinal	65
Tabla 53	Clasificación de pendientes	67
Tabla 54	Interpretación de flujo	69
Tabla 55	Clasificación acumulación de flujo	71
Tabla 56	Identificación de zonas críticas	72
Tabla 57	Características geomorfológicas (DEM)	72
Tabla 58	Pendientes del terreno	73
Tabla 59	Acumulación de flujo	73
Tabla 60	Dirección de flujo	74
Tabla 61	Índices geomorfológicos	74
Tabla 62	Monitoreo mínimo recomendado	75
Tabla 63	Indicadores KPI de desempeño	75
Tabla 64	Caudal estimado	76
Tabla 65	Validación del modelo	77
Tabla 66	Análisis de incertidumbre	77
Tabla 67	AHP (ponderación realista)	78
Tabla 68	Mapa de riesgo	78

Tabla 69 Escenarios	79
Tabla 70 Balance hídrico simplificado del área de estudio.....	79
Tabla 71 Modelo lluvia–escorrentía (SCS-CN).....	80
Tabla 72 Cálculo del tiempo de concentración	80
Tabla 73 Caudal pico (Método racional)	80
Tabla 74 Validación estadística del modelo.....	81
Tabla 75 Análisis de sensibilidad.....	81
Tabla 76 Análisis de incertidumbre	81
Tabla 77 Normalización de variables (0–1).....	82
Tabla 78 Análisis multicriterio (AHP).....	82
Tabla 79 Clasificación de riesgo integrada	83
Tabla 80 Priorización por impacto	83
Tabla 81 Cronograma referencial.....	84
Tabla 82 Relación entre factores externos y variación potencial de eficiencia.....	85
Tabla 83 Variación estimada de eficiencia del sistema (escenarios)	85
Tabla 84 Optimización basada en análisis espacial (ArcGIS)	86
Tabla 85 Sistema de gestión preventiva integrado.....	86
Tabla 86 Integración de KPI con gestión preventiva	87
Tabla 87 Optimización operativa del sistema	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de distribución del agua	19
Figura 2 Parámetros mínimos recomendados para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.	25
Figura 3 DBO ₅ del efluente vs LMP (100 mg/L).....	36
Figura 4 DQO del efluente vs LMP (200 mg/L).....	37
Figura 5 Mapa de precipitación satelital	48
Figura 6 Mapa de polígonos de Thiessen	50
Figura 7 Mapa de isoyetas	52
Figura 8 Precipitación mensual.....	55
Figura 9 Curva doble masa	55
Figura 10 Comparación senamhi VS chirps	56
Figura 11 Mapa de ubicación.....	62
Figura 12 Modelo de elevación digital DEM	64
Figura 13 Mapa de pendientes	66
Figura 14 Dirección de flujo	68
Figura 15 Acumulación de flujo	70
Figura 16 Escenarios de caudal.....	76

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales constituye una de las principales estrategias para la protección de los recursos hídricos, la salud pública y la conservación del ambiente, especialmente en contextos donde el crecimiento poblacional y la expansión de las actividades urbanas generan mayores volúmenes de descargas domésticas sin un manejo adecuado. En el Perú, una parte importante de las aguas residuales aún es vertida a cuerpos receptores sin un tratamiento eficiente, lo que ocasiona contaminación de ríos, suelos y ecosistemas, además de representar un riesgo sanitario para la población. En este escenario, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) cumplen un rol fundamental, ya que su funcionamiento adecuado permite reducir la carga contaminante del efluente y minimizar los impactos ambientales derivados de su disposición final.

En la región Ayacucho, y de manera particular en la localidad de Chiara, la operación de la PTAR reviste especial importancia debido a que el efluente tratado es descargado a un cuerpo receptor natural, por lo que su calidad debe cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental vigente. Sin embargo, al igual que ocurre en muchas plantas de tratamiento de pequeñas localidades, pueden presentarse limitaciones relacionadas con la operación, el mantenimiento, la capacidad hidráulica, la sobrecarga orgánica y la influencia de factores externos como la precipitación y la escorrentía superficial, los cuales pueden afectar la eficiencia del sistema y comprometer el cumplimiento de los estándares ambientales.

La presente investigación titulada “Relación entre la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Chiara y la propuesta de un diseño optimizado – Ayacucho, 2025” tuvo como propósito analizar el desempeño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Chiara, evaluando la calidad del efluente final a partir de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como la influencia de condiciones hidroclimáticas y espaciales sobre su funcionamiento. La investigación parte de la necesidad de conocer si el sistema actual opera de manera eficiente y si el efluente tratado cumple con las exigencias de la normativa ambiental, a fin de sustentar técnicamente una propuesta de optimización y gestión preventiva orientada a mejorar su desempeño operativo y ambiental.

Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con diseño no experimental y de corte transeccional, orientado al diagnóstico del estado actual de la PTAR. Se analizaron parámetros de calidad del efluente tales como pH, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales en suspensión (SST), aceites y grasas, y coliformes termotolerantes, comparándolos con los Límites Máximos Permisibles establecidos en la normativa ambiental. De manera complementaria, se incorporó un análisis hidroclimático y espacial mediante información pluviométrica, estimación de escorrentía y modelamiento con herramientas SIG, con el propósito de identificar posibles factores de presión sobre el sistema de tratamiento y zonas críticas que pudieran afectar su operatividad.

La importancia de este estudio radica en su aporte técnico, ambiental y social. Desde el punto de vista técnico, permite diagnosticar el nivel de eficiencia de la PTAR de Chiara y reconocer las principales fortalezas y debilidades del sistema de tratamiento. En el ámbito ambiental, contribuye a la protección del cuerpo receptor y a la prevención de impactos negativos derivados del vertimiento de aguas residuales insuficientemente tratadas. En el aspecto social, el adecuado funcionamiento de una PTAR influye directamente en la salud pública, en la calidad de vida de la población y en la sostenibilidad de las actividades productivas que dependen del recurso hídrico. Asimismo, la investigación adquiere relevancia metodológica al integrar la evaluación de la calidad del efluente con variables hidroclimáticas y espaciales, permitiendo una visión más completa del comportamiento del sistema y de las condiciones que inciden en su desempeño.

En función de ello, la investigación se orientó a responder la siguiente interrogante general: ¿qué relación existe entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, para proponer un diseño optimizado del sistema en Ayacucho, 2025? A partir de esta pregunta, se planteó como objetivo general determinar dicha relación, complementándola con objetivos específicos vinculados al diagnóstico del sistema, la evaluación de los parámetros del efluente, el análisis de las condiciones hidroclimáticas y espaciales, y la formulación de medidas de optimización y gestión preventiva.

El desarrollo de la presente tesis se estructura en varios apartados: en primer lugar, se presenta el marco teórico, donde se abordan los antecedentes y fundamentos conceptuales relacionados con el tratamiento de aguas residuales, la eficiencia de las PTAR, la normativa ambiental y las variables hidroclimáticas vinculadas al desempeño del sistema; en segundo lugar, se expone el material y métodos, detallando el enfoque, diseño, técnicas de muestreo, procedimientos analíticos y herramientas empleadas; posteriormente, se desarrollan los resultados y discusión, en los que se interpreta la información obtenida a partir del análisis del efluente y del diagnóstico técnico de la PTAR; finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, orientadas a fortalecer la operación del sistema y a contribuir con una propuesta de mejora técnicamente sustentada para la PTAR de Chiara.

CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA

1. Descripción del problema

Desde tiempos antiguos, las aguas residuales provenientes de diversas actividades humanas continúan siendo vertidas de manera directa en las aguas, en ríos, lagos o mares sin un tratamiento previo (Rodríguez, 2017); práctica que, sobre todo en algunos sectores rurales donde existen limitaciones e incluso la inexistencia del acceso a los sistemas de alcantarillado, ha subsistido, la no existencia de plantas para el tratamiento de las aguas residuales ha producido un impacto muy negativo en el ambiente al afectar cuerpos de agua superficiales así como acuíferos subterráneos. Los ecosistemas acuáticos tienden a perder el equilibrio con la entrada de contaminantes que se acumulan y que no pueden ser asimiladas ni degradadas por el propio medio, justo cuando muestran la diversidad de sus componentes y la calidad de los recursos hídricos. Niquén ,et al.2021).

El vertido in situ genera numerosos efectos negativos sobre los cuerpos de agua y el entorno. Uno de los efectos mayores que se tienen por la contaminación del agua es el incremento de microorganismos patógenos, que elevarán el riesgo de enfermedades infecciosas para las poblaciones de los alrededores y que son fácilmente transportables a través del agua. Otro efecto principal es el aumento en la concentración de sustancias tóxicas, metales pesados o nutrientes que causan desequilibrios en las composiciones químicas de los ecosistemas, afectando a la flora y también a la fauna de los cuerpos de agua. La contaminación provocada causa sobre-explotaciones de los hábitats naturales, contribuye a la disminución de la biodiversidad y la alteración de las redes tróficas. Además, los vertidos de aguas residual sin el tratamiento adecuado son un peligro directo para la salud humana, especialmente en aquellas poblaciones que utilizan estas aguas para la alimentación, el riego o el ocio. Por este motivo, distintos organismos internacionales han dado cuenta de estos efectos, incluyendo el impacto que puede tener para la sostenibilidad ambiental y la salud de la comunidad. No tener políticas efectivas de control y de tratamiento pone de manifiesto que no hay una adecuada infraestructura ni protocolos establecidos en el manejo de los residuos líquidos. A su vez, tiene sentido promover la educación ambiental y la conciencia social para llevar a cabo un manejo responsable del agua. La prevención y el tratamiento son actividades básicas de los vertidos para evitar los efectos negativos, salvaguardar la salud humana y asegurar la conservación de los recursos hídricos. (CEPAL, 2010).

En el Perú se generan aproximadamente 2,2 millones de metros cúbicos de aguas residuales por día, de los cuales solo el 32% recibe tratamiento adecuado, mientras que el resto se vierte directamente al ambiente sin control, evidenciando una grave deficiencia

en la cobertura de saneamiento. De las 253 poblaciones atendidas por las EPS, 89 no cuentan con sistemas de tratamiento, lo que provoca contaminación de ríos, lagos y suelos, además de riesgos sanitarios. Las plantas existentes operan de manera irregular debido a la falta de mantenimiento, supervisión deficiente y baja conciencia ambiental, lo que demanda una mejora en la infraestructura, una gestión más estricta y programas de educación sobre el uso y tratamiento del agua (OEFA, 2014; SUNASS, 2016).

En Lima Metropolitana, la situación es aún más crítica: se generan 1,2 millones de m³ diarios de aguas residuales, pero solo el 20,5% es tratado, pese a la existencia de infraestructura sanitaria. Esta baja eficiencia refleja una deficiente gestión y operación de las plantas de tratamiento, agravada por el alto consumo de agua (145 litros por habitante al día), lo que incrementa la carga contaminante. Los vertimientos incontrolados afectan los cuerpos de agua y la salud pública, fomentando enfermedades de origen hídrico. Frente a ello, se requiere optimizar, mantener y ampliar la infraestructura existente, fortalecer la normativa ambiental, promover la educación y participación ciudadana, e incorporar el tratamiento de aguas en la planificación urbana sostenible (OEFA, 2014).

El tratamiento de aguas residuales es esencial para proteger la salud pública y el medio ambiente, aunque los sistemas convencionales como lodos activados, filtros percoladores y membranas presentan altos costos de instalación y operación. En contextos rurales o de bajos recursos, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomienda tecnologías apropiadas y de bajo costo, como tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, que ofrecen un tratamiento básico eficaz y de fácil manejo. Estas alternativas permiten reducir la carga contaminante antes del vertido, adaptándose mejor a las realidades económicas y técnicas de las comunidades (OPS, 2018).

Sin embargo, la eficacia de estos sistemas depende en gran medida de un mantenimiento regular y un monitoreo constante, tareas que con frecuencia son descuidadas por las autoridades responsables o los operadores locales. La falta de mantenimiento y la operación inadecuada pueden transformar estas tecnologías en fuentes potenciales de contaminación, incrementando el riesgo ambiental y sanitario.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chiara, conformada por tres lagunas facultativas y ubicada en la capital del distrito del mismo nombre, región Ayacucho, presenta deficiencias significativas en el tratamiento de efluentes que son vertidos directamente al río naciente Huatatas, principal receptor natural de la zona. Estas deficiencias comprometen la calidad del agua tratada y generan riesgos para la salud pública y el equilibrio ecológico. Entre las causas principales destacan la falta de

mantenimiento periódico, la limitada capacitación del personal operativo, la ausencia de controles ambientales y la posible sobrecarga hidráulica y orgánica del sistema, especialmente en épocas de lluvias intensas, lo que reduce la eficiencia del tratamiento y ocasiona descargas sin depuración adecuada. Como resultado, se liberan contaminantes como materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y microorganismos patógenos que deterioran la calidad del agua del río Alameda, afectan su uso para riego agrícola y consumo animal, disminuyen la productividad agrícola local e impactan negativamente en la biodiversidad acuática y los servicios ecosistémicos asociados.

Ante esta problemática, resulta imprescindible evaluar los parámetros físico-químicos y microbiológicos del efluente final de la PTAR Totorá, comparándolos con los valores máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, con el fin de determinar el grado de cumplimiento ambiental y diagnosticar las principales fallencias del proceso de depuración., por lo cual surge la siguiente pregunta de investigación ¿En qué medida la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara influye en el cumplimiento de los estándares ambientales del efluente, con el propósito de orientar un rediseño técnico que mejore su desempeño ambiental?

La investigación se justifica en lo social porque el adecuado tratamiento de las aguas residuales mejora la salud pública, reduce la propagación de enfermedades hídricas y promueve la equidad en el acceso a servicios de saneamiento, fortaleciendo la calidad de vida y la cohesión social. En lo teórico, se fundamenta en principios de ingeniería ambiental, química y microbiología, aportando información científica sobre la eficiencia de los procesos de depuración y la relación entre parámetros físico-químicos, microbiológicos y calidad del efluente. En lo práctico, permitirá identificar deficiencias y aplicar acciones correctivas que optimicen la operación de la PTAR de Chiara, mediante la capacitación del personal y el control continuo de parámetros, fortaleciendo la eficiencia del sistema. En lo metodológico, adopta un enfoque cuantitativo basado en el análisis de datos físico-químicos y microbiológicos comparados con la normativa ambiental (D.S. N.º 004-2017-MINAM), garantizando rigurosidad y validez científica. Finalmente, en lo ambiental, contribuye a proteger los ecosistemas acuáticos, conservar la biodiversidad y prevenir la contaminación del río Alameda y de los suelos agrícolas, promoviendo la sostenibilidad hídrica y ambiental de la región de Ayacucho.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Qué relación existe entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, para proponer un diseño optimizado del sistema en Ayacucho, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es el estado actual de operación y eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara?
- ✓ ¿Cuáles son los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado y cómo se comparan con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente?
- ✓ ¿Qué relación existe entre las condiciones hidroclimáticas y espaciales (precipitación, escorrentía, caudal y zonas críticas) y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara?
- ✓ ¿Qué medidas de optimización y gestión preventiva pueden proponerse para mejorar el desempeño operativo y ambiental de la PTAR de Chiara, considerando los resultados técnicos, hidro climáticos y espaciales obtenidos?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la relación entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, para proponer un diseño optimizado del sistema en Ayacucho, 2025.

1.3.2. Objetivo específico

- ✓ Diagnosticar el estado actual de operación y eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara.
- ✓ Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado, comparándolos con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.
- ✓ Analizar la relación entre las condiciones hidro climáticas y espaciales (precipitación, escorrentía, caudal y zonas críticas) y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante herramientas de análisis hidrológico y modelamiento espacial con ArcGIS.

- ✓ Proponer medidas de optimización y gestión preventiva para mejorar el desempeño operativo y ambiental de la PTAR de Chiara, en función de los resultados técnicos, hidro climáticos y espaciales obtenidos.

1.4.Hipótesis

1.4.1.Hipótesis general

Existe una relación significativa entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, lo que permite proponer un diseño optimizado del sistema en Ayacucho, 2025.

1.4.2.Hipótesis específicas

- ✓ El sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Chiara presenta un nivel eficiente de operación y funcionamiento durante el periodo de evaluación.
- ✓ Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado de la PTAR de Chiara cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.
- ✓ Existe una relación significativa entre las condiciones hidroclimáticas y espaciales (precipitación, escorrentía, caudal y zonas críticas) y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Chiara.
- ✓ La propuesta de medidas de optimización y gestión preventiva basada en el análisis técnico, hidroclimático y espacial permitirá mejorar el desempeño operativo y ambiental de la PTAR de Chiara

CAPÍTULO II :MARCO TEÓRICO

2. Antecedentes de la investigación

“Evaluación de la eficiencia del proceso de tratamiento en la planta de aguas residuales Taboada y su impacto ambiental en el cuerpo receptor durante el periodo de febrero a abril del 2024”

Jimenez (2024), con el fin de evaluar la eficiencia de la PTAR Taboada, la planta más grande de Sudamérica, en la Planta de Tratamiento Norte del distrito de Chucuito, provincia de Puno, se procedió a la toma de muestras de los parámetros fisicoquímicos DBO, DQO, pH y STS, siguiendo los protocolos de monitoreo establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), y fueron posteriormente analizadas en el laboratorio de aguas del INIA. Los resultados evidenciaron que la eficiencia del tratamiento, calculada mediante la metodología de Parra (2006), presentó valores limitados: pH 7,99%, DBO 2,60%, DQO 1,85% y STS -7,48%. En la primera repetición experimental, el pH alcanzó 1,75%, mientras que los demás parámetros mostraron valores negativos. Se concluye que la capacidad de remoción del tratamiento físico-químico es insuficiente, sin superar en ningún caso el 8%. La diferencia de concentración entre afluente y efluente no fue estadísticamente significativa, y los valores de DBO, DQO y STS se mantuvieron por encima de los Límites Máximos Permisibles establecidos. Únicamente el pH cumplió con la normativa, registrando un promedio de 7,26, correspondiente a condiciones neutras, ligeramente alcalinas, reflejando un tratamiento parcial sin impacto significativo en la carga contaminante global.

"Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del Distrito de Chucuito, Provincia de Puno – 2021 "

Arias (2021), con el propósito de evaluar la eficacia del proceso físico-químico en la Planta de Tratamiento Norte del distrito de Chucuito, provincia de Puno, se procedió a la recolección de muestras de los parámetros fisicoquímicos DBO, DQO, pH y STS, conforme a los protocolos de monitoreo estipulados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), siendo posteriormente analizadas en el laboratorio de aguas del INIA. Los resultados evidenciaron que la eficiencia del tratamiento, calculada mediante la ecuación de Parra (2006), arrojó valores restringidos: pH 7,99%, DBO 2,60%, DQO 1,85% y STS -7,48%. En la primera réplica experimental, el pH alcanzó 1,75%, mientras que los restantes parámetros exhibieron valores negativos. Se concluye que la capacidad de remoción del tratamiento físico-químico es deficitaria, sin superar en ningún escenario el umbral del 8%. La disparidad de concentración entre afluente y efluente no resultó estadísticamente significativa, manteniéndose DBO, DQO y STS por encima de los

Límites Máximos Permisibles. Únicamente el pH se ajusta a la normativa, registrando un promedio de 7,26, reflejando condiciones neutras, levemente alcalinas, y evidenciando un proceso de tratamiento parcial sin incidencia relevante sobre la carga contaminante global.

“Evaluación de la calidad y la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de Mazo – Huaura”

Obregon (2022), con el objetivo de evaluar la eficacia en la eliminación de la carga contaminante del sistema integral de tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Mazo, Huaura (Este 214499.00 m, Sur 8779819.00 m), se implementó un monitoreo detallado en cinco puntos estratégicamente seleccionados durante los meses de noviembre y diciembre de 2021. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, incluyendo DBO5, DQO, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, temperatura, pH y coliformes fecales. Los datos obtenidos permitieron calcular la eficiencia global del sistema y efectuar comparaciones con los Límites Máximos Permisibles establecidos por el D.S. 003 – 2010 – MINAM. Los resultados indicaron porcentajes promedio de remoción de coliformes fecales del 72%, DBO5 37%, DQO 35% y SST 24%, mientras que la remoción de aceites y grasas fue prácticamente nula; el pH y la temperatura permanecieron casi invariantes. Se observó que el sistema no cumple de manera integral con los límites normativos, reflejando una eficiencia heterogénea y en su mayoría insuficiente. La deficiencia en la remoción se atribuye a fallas operativas, ausencia de mantenimiento adecuado y limitaciones en el diseño de los tanques sépticos y filtros percoladores, evidenciando la necesidad de optimización de los procesos y refuerzo de la gestión técnica para garantizar la protección ambiental y la salud pública..

“Evaluación de impactos de aguas residuales en la calidad del agua del canal Galindona, Nueva Cajamarca - San Martín 2022”

Fernandez (2022), con el objetivo de constatar los impactos en la calidad del agua del canal Galindona, se llevó a cabo un estudio basado en la evaluación de los impactos ambientales generados por la introducción de aguas residuales en el cuerpo receptor. Se realizaron análisis de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en muestras recolectadas en cuatro estaciones estratégicas: aguas arriba, punto de afluencia y aguas abajo del canal. Los resultados obtenidos fueron contrastados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) estipulados por la normativa vigente. Asimismo, se aplicaron cuestionarios a la población residente en las inmediaciones del canal para examinar la percepción ciudadana respecto a la calidad del agua. Los hallazgos evidenciaron que las aguas residuales inducen un impacto ambiental

severo y persistente, con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que exceden los ECA y LMP, evidenciando un estado de contaminación elevado. Esta condición constituye un riesgo potencial significativo para la salud pública de los habitantes adyacentes, debido a la exposición crónica a aguas de calidad deficiente. El estudio resalta la necesidad imperiosa de implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales, programas de monitoreo ambiental continuo y estrategias de sensibilización y educación comunitaria sobre los efectos nocivos de la contaminación hídrica. ***“Evaluación Y Propuesta De Mejoramiento De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Del Distrito De Ilave - Provincia De El Collao”***

Ticona (2020), con el fin de evaluar sistema de tratamiento de agua residual mediante una serie de lagunas. Se constató que dicho sistema no satisface los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estipulados por los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). En consecuencia, se propone un rediseño integral como alternativa para mitigar la carga contaminante generada por el sistema actual. La investigación se desarrolló siguiendo estrictamente los protocolos de muestreo, con análisis efectuados en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano. Se determinaron los parámetros del sistema convencional de tratamiento, evidenciando una eficiencia de remoción insuficiente: DBO5 185,00 mg/l, DQO 276,72 mg/l y sólidos suspendidos totales 466,00 mg/l. Al contrastar los valores del efluente con los LMP establecidos por el D.S. N° 003–2010–MINAM, se concluye que los niveles de contaminación exceden los límites normativos, reflejando la presencia de contaminantes potenciales elevados y un desempeño inadecuado del sistema. Este diagnóstico subraya la necesidad de optimizar los procesos, implementar tecnologías complementarias de tratamiento y reforzar el control operativo para garantizar la protección ambiental y la salud pública.

“Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri – 2023”

Mamani (2023) tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri-2023, analizando simultáneamente los efectos generados por los vertimientos sobre la calidad del río Ayaviri. La investigación adoptó un diseño no experimental de tipo descriptivo transeccional, con recolección de muestras en tres estaciones estratégicamente seleccionadas: aguas arriba, en el punto de descarga y aguas abajo. Se efectuó un análisis exhaustivo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, observándose que pH, DBO5, temperatura y coliformes se encontraban dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP), mientras

que aceites, grasas, sólidos suspendidos totales y DQO excedían los estándares normativos. Los resultados indicaron un efecto negativo significativo del vertimiento sobre la calidad del agua, comprometiendo su uso agrícola y ganadero. El estudio evidenció la necesidad de optimizar los procesos de tratamiento, mediante la implementación de estrategias de control operacional y programas de monitoreo sistemático. Asimismo, se subraya la importancia de promover la educación ambiental y la gestión sostenible de los recursos hídricos, con el fin de garantizar la conservación del ecosistema acuático y la protección integral de la salud pública frente a la contaminación hídrica.

“Evaluación de gestión de calidad en el tratamiento microbiológico en una PTAR para aprovecharlo en cultivos de tallo alto”

Cachay & Odar (2023) con el fin de analizar la gestión de calidad en el tratamiento microbiológico de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con el objetivo de viabilizar la reutilización segura de las aguas tratadas en cultivos de tallo alto. La investigación se fundamentó en una revisión sistemática, empleando la metodología PRISMA, que permitió la recopilación y análisis de 32 estudios provenientes de bases de datos científicas y repositorios especializados. Los resultados evidenciaron que la implementación de tratamientos adecuados utilizando microorganismos efectivos (EM) y la supervisión continua por operarios capacitados asegura la eliminación de contaminantes microbiológicos y químicos, minimizando riesgos para la flora, fauna y trabajadores expuestos. Además, la optimización de parámetros operativos como tiempo de retención, oxigenación y control de pH resulta crucial para garantizar la estabilidad microbiológica y la eficiencia del proceso de depuración. La gestión de calidad integral también facilita la reutilización segura de las aguas tratadas, proporcionando beneficios directos a la productividad agrícola y promoviendo prácticas sostenibles en la gestión hídrica. Se concluyó que la correcta implementación de protocolos de control de calidad y monitoreo constante es esencial para asegurar la seguridad sanitaria, la eficiencia operativa de la PTAR y la sostenibilidad ambiental en el uso de aguas residuales tratadas en la agricultura intensiva.

“Análisis de los parámetros físico-químicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Capachica - Puno 2024”

Gallegos (2024), con el fin de evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de la PTAR de Capachica. La recolección de muestras se realizó en tres estaciones estratégicas: afluente, efluente y desembocadura, permitiendo un diagnóstico integral del desempeño

de la planta. Los resultados evidenciaron que pH y temperatura del efluente se mantienen dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP), cumpliendo con las condiciones mínimas de calidad del agua; sin embargo, los sólidos suspendidos totales, DQO, DBO, aceites y grasas exceden significativamente los límites normativos. Esta situación se atribuye a deficiencias en la operación y mantenimiento de la planta, lo que provoca una eficiencia subóptima en la eliminación de compuestos contaminantes. La ausencia de monitoreo sistemático y la implementación insuficiente de protocolos de control afectan negativamente la calidad de los cuerpos de agua receptores. La contaminación generada repercute en los suelos adyacentes y en los cultivos irrigados con estas aguas, incrementando riesgos ambientales y económicos. Se concluye que es imperativo optimizar el tratamiento de efluentes mediante mantenimiento preventivo, ajustes operativos, capacitación especializada de los operadores y la implementación de sistemas de control continuo, con el objetivo de garantizar la remoción efectiva de contaminantes, cumplir con los LMP y proteger tanto la salud pública como los ecosistemas locales.

“Impacto de vertimiento de aguas residuales de la industria papelera en un tramo del río Rímac”

Bracho & Rivera (2020), tuvo como objetivo evaluar el impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales procedentes de una industria papelera sobre la calidad del río Rímac, mediante la cuantificación de parámetros críticos y la aplicación de modelos matemáticos de dilución y balance de masas. Las concentraciones de DBO y DQO alcanzaron valores de 3 000 mg/L y 11 000 mg/L, respectivamente, reflejando una carga contaminante elevada. Adicionalmente, se detectaron incrementos significativos en sólidos suspendidos totales y metales pesados, lo que evidencia la elevada capacidad de alteración fisicoquímica de los efluentes industriales. Los resultados permiten inferir que los vertimientos inducen un deterioro significativo en la calidad del agua, afectando directamente los ecosistemas acuáticos y las actividades humanas que dependen del recurso hídrico, incluyendo usos agrícolas, recreativos y potabilización. Se concluye que es imprescindible implementar un control operativo riguroso de los efluentes, optimizar los sistemas de tratamiento existentes y mantener una supervisión continua de los procesos industriales. Asimismo, se recomienda promover programas de educación ambiental y concienciación ciudadana sobre la gestión responsable de residuos, con el fin de mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad acuática y garantizar la protección de la salud pública y los recursos hídricos a largo plazo.

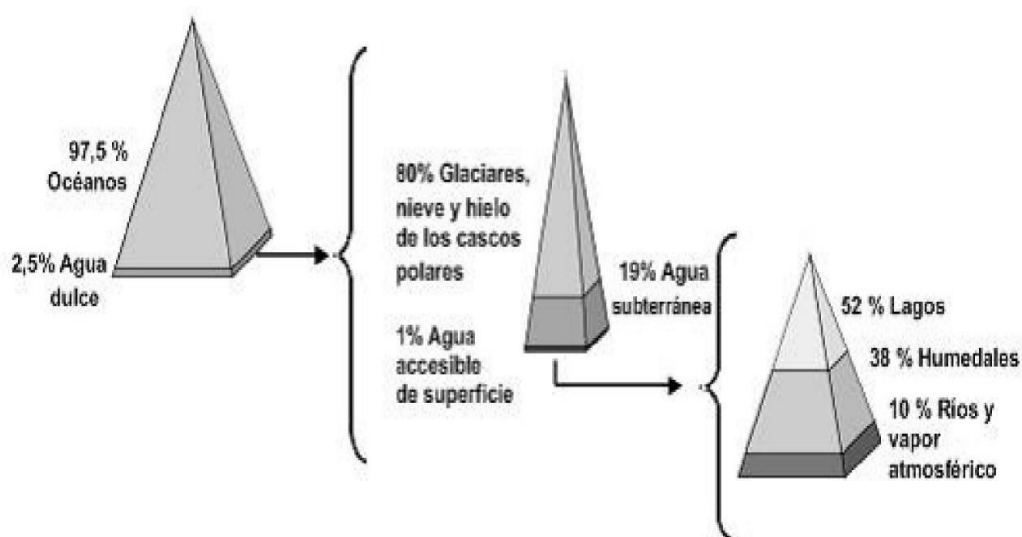
2.2. Bases teóricas

2.2.1.El Agua

Más del 70 % de la superficie del planeta está cubierta por agua; se encuentra presente en los océanos, lagos, ríos, en la atmósfera, en los estratos edáficos y en otros reservorios naturales; constituye el origen y sustento de la vida, contribuye a la regulación termodinámica del clima global y, con su energía cinética y potencial desmesurada, transforma de manera constante la morfología terrestre. Posee características fisicoquímicas únicas que la hacen indispensable para la existencia biológica. Se trata de un compuesto polifacético: un disolvente excepcional, un reactivo idóneo en múltiples procesos bioquímicos y metabólicos, con elevada capacidad calorífica y la propiedad singular de expandirse al solidificarse. Su dinámica hidrológica y circulación pueden esculpir el relieve y modular patrones climáticos.

Los océanos constituyen aproximadamente el 97,5 % del volumen total de agua del planeta, mientras que apenas un 2,5 % corresponde a agua dulce. De esta fracción, los glaciares, la nieve y las masas de hielo de los casquetes polares representan cerca del 80 %; las aguas subterráneas abarcan aproximadamente el 19 %, y el agua de superficie accesible de manera inmediata constituye apenas el 1 %. Esta limitada disponibilidad de agua superficial fácilmente utilizable se concentra principalmente en lagos, ríos y embalses de carácter temporal o permanente (Fernández, 2012).

Figura 1 Esquema de distribución del agua



Fuente: Fernandez (2012)

2.2.2. Agua residual

Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales que se aprovechan para el riego de áreas verdes; generalmente provienen de residencias, instituciones públicas o privadas, establecimientos comerciales e industriales, o la mezcla de todas ellas. Estas aguas contienen cierta cantidad de nutrientes, sin embargo, al no ser tratadas presentan un peligro para el medio ambiente y la salud del hombre, las aguas residuales presentan algunos elementos que limitan su uso en riego.

Con el fin de analizar el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un reactor anaerobio y su impacto en la reutilización del efluente para cultivos agrícolas, considerando el monitoreo realizado in situ en las fechas programadas con autorización de la Municipalidad de Ica. El estudio aporta al desarrollo tecnológico del distrito, promoviendo un tratamiento más eficiente de las aguas residuales domésticas. Además, contribuye a la reducción de contaminantes en las aguas, permitiendo su reutilización en beneficio del medio ambiente y la productividad agrícola. (Córdova et al., 2021)

Un Sistema de tratamiento de aguas residuales es una serie de procedimientos de tipo físico - químico y biológico para eliminar los contaminantes existentes en el agua. La investigación tiene como propósito analizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el sector Punta Carnero, parroquias Ancón y Anconcito, mediante un estudio experimental descriptivo orientado a determinar el impacto de los parámetros de contaminación derivados del manejo inadecuado de estos sistemas, evaluando la eficiencia de remoción de contaminantes y la calidad de la descarga final en la zona urbana-rural de la Provincia de Santa Elena. La eficiencia de eliminación de cargas contaminantes se cuantificó en porcentajes, mientras que la descarga final se evaluó mediante media y desviación estándar de los años 2015 a 2020. Se evidenció que los sistemas de Ancón y Anconcito presentan una mayor eficiencia de remoción en comparación con Punta Carnero; sin embargo, los porcentajes obtenidos no alcanzan niveles óptimos. Respecto a la descarga de coliformes fecales, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales y tensoactivos, ninguno de los sistemas cumple con los límites máximos permisibles de la normativa ecuatoriana. Los resultados indican que estos sistemas generan impactos negativos sobre la salud pública y el medio ambiente en el área estudiada. (Humanante et al., 2022)

2.2.3. Planta de tratamiento de agua residual (PTAR)

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá

una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36 % de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. Los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento. En el presente trabajo se estudia el porcentaje de remoción de la carga orgánica de las aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal, con dos especies vegetales. El sistema fue diseñado con tres módulos dispuestos secuencialmente; en el primero fueron incluidos organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, en el segundo fueron incorporados organismos de la especie *Typha dominguensis* (Pers.) Steudel y en el tercero se añadieron las dos especies. Los módulos experimentales fueron instalados a la salida de un tratamiento primario, el que contiene aguas residuales municipales provenientes de un edificio de investigación. En el agua se analizaron los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), los iones de nitrógeno (N-NO_3^- , N-NO_2^- y N-NH_4^+) y el fósforo total, y se realizó el conteo de bacterias asociadas al sistema. Los resultados mostraron que el sistema representa una alternativa para la remoción de la carga orgánica y de nutrimentos, de bajo costo de operación y mantenimiento.. (Romero et al., 2009)

La investigación aborda la gestión inapropiada de las aguas residuales urbanas y su impacto en la salud y el medio ambiente, destacando la necesidad de sistemas de tratamiento eficientes. Se analizó el incremento anual del consumo de agua y su distribución en sectores agrícola, municipal e industrial. La metodología incluye un análisis detallado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Doris Mendoza en el distrito de Concepción, evaluando sus procesos y equipamiento; como el Canal de Parshall, las rejillas de cribado, tanques de almacenamiento y homogenización, decantadores, biorreactores, clarificadores, digestores de lodos y lechos de secado. Se recalcula el caudal de diseño y se lleva a cabo una optimización de cada proceso, considerando el caudal y el tiempo de retención hidráulica. Se propone un enfoque de reingeniería para mejorar la eficiencia y rentabilidad de la planta, enfocándose en la estabilidad y eficiencia del sistema. En conclusión, la investigación resalta la importancia de recalcular y ajustar las operaciones de la planta, aplicando optimizaciones específicas a cada etapa para garantizar un tratamiento eficiente del agua residual. (Yupanqui et al., 2024)

2.2.4.Efluente

El análisis de la propuesta para reutilizar el efluente de la Planta de Tratamiento Tryp Península en el uso ornamental de agua en los hoteles estudiados resulta ser básico para la promoción de un uso más eficiente de los recursos hídricos. De esta forma, se conocerán las características del efluente tratado: pH, turbidez, sólidos suspendidos y parámetros microbiológicos, de tal manera que garantice que su uso no comporte un riesgo para la salud e infraestructura de los sistemas ornamentales. La propuesta también ayuda a saber y tener la descripción completa de la planta de tratamiento y su capacidad, ya que se podrá así comprobar la consistencia y la disponibilidad del efluente durante su uso a lo largo de todo el año. A su vez, la propuesta ayudará a disminuir el uso de agua potable en los hoteles, obteniendo beneficios económicos y ambientales. En paralelo, se podrán establecer lineamientos precisos en torno a un tratamiento adicional que sea necesario y cuando se precise antes del uso ornamental del agua. Este análisis del efluente tratado ayudará a planificar un sistema sostenible de uso de efluentes tratados, para fomentar la sensibilización ambiental de los establecimientos hoteleros y promover prácticas responsables del uso del agua; además de ser un modelo replicable para otras instalaciones que deseen implementar estrategias similares de reutilización del recurso hídrico.

2.2.5.Desinfección química

El agua somete a un tratamiento terciario químico, ya que busca alcanzar un valor que sea destacable, asegurando que haya calidad y que ésta sea apta para poder ser descargada, vertida o reutilizada sin ningún problema para el medio ambiente. El tratamiento terciario podrá ir desde la desinfección con cloro y procesos de remoción de sólidos suspendidos mediante floculación de tipo químico, para continuar hasta procesos físicos de sedimentación y decantación. Además, el tratamiento biológico por medio de los humedales artificiales permite la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, que fomentan el funcionamiento humano y que ayudan a establecer la estabilidad ecológica del agua. Simultáneamente, los procesos fisicoquímicos en las lagunas de pulimento como el uso de la radiación UV, la actuación del sol, etc. para inactivar microorganismos, el control del pH mediante los bicarbonatos, etc., contribuyen a conseguir que el efluente sea más seguro y que los riesgos vayan siendo menores. De esta forma, la elección de los métodos permite obtener una mayor eficiencia del tratamiento y que se puedan cumplir los estándares dispuestos para la calidad del agua del efluente final. Por otro lado, el conocimiento y la aplicación de estos tratamientos favorece la gestión del recurso hídrico y la propagación de buenas prácticas, tanto en

contextos urbanos como en rurales, adaptándose según las características concretas que posea cada una de las plantas de tratamiento.

2.2.6.Descripción de la planta en estudio.

Para realizar la exposición del proceso de la planta en estudio se emplean los métodos de investigación de tipo teórico y empírico que se han presentado anteriormente. La utilización de todos los métodos, se lleva a cabo a través de un paseo por la planta, con el operador de la planta, en la que se consigue describir en detalle cada uno de los equipos, su funcionamiento, así como los tipos de tratamiento que se le aplican a las aguas residuales, y que se hace una referencia a una breve descripción de los elementos que se encuentran en el manual de operación de la planta. Con la descripción detallada del proceso conseguido se elaborará el diagrama de flujo, y la imagen o dibujo que incluirá todas sus operaciones, así como la corriente que interviene en el proceso de depuración de las aguas residuales.

2.2.7.Caracterización del efluente de la planta.

Para la caracterización del efluente de la planta de tratamiento se realiza el análisis de diferentes parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que por su importancia brindan la información sobre la eficiencia del tratamiento de residuales. La metodología propuesta para la caracterización estadística del efluente es una adaptación para las condiciones de la presente investigación de la metodología propuesta por Martínez (2005) para la caracterización del efluente en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales que se ubican en zonas turísticas. La misma se nutre de informaciones disponibles del muestreo que se realiza a la planta de tratamiento de residuales en cuestión a través de los meses o incluso de los años de funcionamiento de la misma y se resume en forma de organigrama (Cabrera, 2011)

2.2.8.Límites Máximos Permisibles

Según el ministerio nacional de medio ambiente (MINAM, 2010), es la medida de la concentración o del grado de contenido de los elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión, que al contener en exceso causan daños a la salud humana o al ambiente, cuyo cumplimiento es exigible por el MINAM y los organismos del sistema de gestión ambiental.

El objetivo de este Decreto Supremo D.S N° 003-2010- MINAM es establecer los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes generados por las actividades agroindustriales, específicamente en plantas de camales y plantas de beneficio. El principal objetivo de esta norma es mitigar el período de contaminación que resultan de este tipo de actividades, evitando la contaminación de ríos y lagos y suelos, y a la vez se

minimizan los riesgos sanitarios para la población que entra en contacto con estos efluentes. Esta Ley establece, diversos, cada uno de los parámetros de varios contaminantes, físicos, químicos y microbiológicos, sobre los que se ejerce el control de desechos líquidos industriales. Además, la norma exige a todas las plantas de camales y agroindustriales, la vez que monitorizan la calidad de los efluentes, tener sistemas de tratamiento. Esta regulación para el control de la contaminación aporta a que se pueda también la gestión, sostenible de los recursos hídricos manejando con responsabilidad la industria agropecuaria. Además, otorga a las fiscalizaciones de las correspondientes autoridades y a la vez fomenta la adopción de tecnologías limpias mejorando la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales. El Decreto permite, además, que las actividades productivas se desarrollen respetando el medio ambiente y sosteniblemente. La Ley protege así los ecosistemas y la salud pública.

Tabla 1

Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceite y grasa	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10,000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (MINAM, 2010)

2.2.9. Parámetros recomendados en el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales

Según el protocolo de monitoreo se presentan los parámetros mínimos a considerar de acuerdo con la categoría del recurso hídrico asignada por la ANA a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por el MINAM (D.S. N.º 015-2015-MINAM). Las variables físicas, químicas y microbiológicas constituyen los parámetros que permiten medir exhaustivamente la calidad del agua, pudiendo comprobar desviaciones respecto de los límites establecidos. La sistematización del seguimiento de estos parámetros ayudaría a identificar fuentes de contaminación, planificar medidas correctivas y proteger los ecosistemas acuáticos, así como verificar

que el agua cumple las exigencias necesarias para los usos correspondientes (consumo humano, riego agrícola, recreación y conservación de la biodiversidad, entre otros). La correcta aplicación de estos criterios de calidad garantizaría la sostenibilidad de los recursos hídricos para la seguridad sanitaria de la población, así como la gestión responsable y efectiva del medio ambiente. De esta forma, permitirá a las autoridades hacer una fiscalización adecuada, así como emitir alertas anticipadas frente a un posible riesgo de contaminación.

Figura 2 *Parámetros mínimos recomendados para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.*

Parámetros	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4 Ríos, lagunas y lagos	Categoría 4 Ecosistemas marino-costeros
Parámetros de campo	pH, T, Cond, OD	pH, T, OD	pH, T, Cond, OD	pH, T, Cond, OD	pH, T, OD
Parámetros químico-físicos	DBO ₅ , AyG, N-NO ₃ , N-NH ₃ , P, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO ₅ , AyG, SST, N-NO ₃ , P, sulfuros, metales (As, B, Ba, Cd, Cu, Cr ⁶ , Hg, Ni, Pb, Zn)	DBO ₅ , AyG, N-NO ₃ , sulfatos, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO ₅ , AyG, SST, N _{tot} , N-NO ₃ , N-NH ₃ , P, metales (As, Ba, Cd, Cu, Cr ⁶ , Hg, Ni, Pb, Zn), sulfuros	DBO ₅ , AyG, N-NO ₃ , N-NH ₃ , P, metales (As, Cd, Cu, Cr ⁶ , Hg, Ni, Pb, Zn)
Parámetros microbiológicos	Coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> , Organismo de vida libre	Coliformes termotolerantes,	Coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> , Huevos y larvas de helmintos,	Coliformes termotolerantes	

Fuente: ANA, 2016

2.2.10. Técnicas de monitoreo y tipos de muestras de agua

Las técnicas de monitoreo se realizan de acuerdo al protocolo nacional de monitoreo de vertimientos. El monitoreo de aguas residuales es fundamental para evaluar la calidad del agua vertida en cuerpos receptores y verificar el cumplimiento de normativas ambientales. Existen diversas técnicas de monitoreo que se aplican dependiendo de los objetivos del estudio, las características del vertimiento y los recursos disponibles. A continuación, se detallan las principales técnicas:

Las muestras de agua pueden clasificarse en los siguientes tipos:

1.1.1.1. Muestra simple o puntual. A esta muestra se le denomina simple o discreta también, lo que implica la recogida de un volumen de agua en un punto o lugar determinado para su análisis individual con el fin de verificar las características concretas del agua recolectada en ese instante.

1.1.1.2. Se trata de las condiciones de las propiedades de la composición original del cuerpo de agua para un lugar, un momento y unas circunstancias determinadas en el momento de su recogida o toma.

Si la composición de una fuente es relativamente constante en un tiempo largo o en extensiones grandes, puede considerarse que una muestra simple representa a intervalos de tiempo o a volúmenes mayores, de manera que los resultados obtenidos describen con suficiente exactitud las condiciones generales del recurso hídrico. En estas circunstancias resulta apropiada la muestrea simple como medio de control de la calidad de los cuerpos de agua como pueden ser aguas de abastecimiento, aguas subterráneas. Para aguas superficiales o, en ocasiones, aguas residuales, solo resulta adecuada de manera excepcional si se cumplen criterios de homogeneidad y estabilidad de las condiciones del agua. Este tipo de muestreo simplifica la planificación de los análisis, el control de parámetros críticos o la toma de decisiones respecto a su gestión ambiental y tratamiento de agua (ANA, 2016).

CAPÍTULO III :MATERIAL Y MÉTODOS

3.1.Tipo de investigación

Aplicada, El tipo de investigación corresponde a un estudio aplicada, dado que busca resolver un problema concreto relacionado con la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR Chiara. Este enfoque resulta esencial, ya que permite obtener información detallada y contextualizada sobre la calidad del efluente en un periodo determinado, lo que facilita la identificación de puntos críticos de contaminación y la evaluación de la eficacia de los procesos de depuración. De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación aplicada tiene como finalidad generar conocimientos orientados a la solución de problemas específicos, mediante la utilización de datos objetivos y verificables. En ese sentido, el presente estudio se centra en el análisis de las muestras de aguas tratadas para detectar posibles deficiencias en los procesos operativos, tales como niveles insuficientes de desinfección o una remoción ineficaz de materia orgánica residual.

3.2.Nivel de investigación

- La investigación adopta un enfoque **descriptivo–propositivo**, pues primero evalúa la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y luego plantea alternativas técnicas de optimización. Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación descriptiva permite comprender la situación actual sin manipular variables, mientras que, de acuerdo con Bernal (2010), la propositiva busca formular soluciones basadas en evidencias científicas. En conjunto, el estudio describe la eficiencia del sistema y propone un diseño mejorado para cumplir con la normativa ambiental.

3.3.Diseño de investigación

- **No experimental - transeccional:** porque no se manipulan variables y los datos se recolectan en un único momento o periodo definido. Se utiliza para describir y analizar un fenómeno tal y como este se ofrezca en un momento dado, sin introducir intervención ni variaciones en las variables del estudio. Esto permite realizar un diagnóstico del fenómeno a estudiar en un momento determinado y revisar los datos recolectados para compararlos con los rangos derivados de la norma vigente. Permite el diagnóstico objetivo desde donde se pueden construir los planes de actuación y mejora futuros. Además, su rentabilidad temporal y antieconómica es positiva, ya que obligatoriamente se recolectan los datos en un

único periodo. No conlleva la posibilidad de identificar relaciones causales, aunque sí es útil para la detección de correlaciones o patrones iniciales que puedan ser objeto de estudio de investigaciones más avanzadas.

3.4. Población y muestra

Población

La población está conformada por el total de efluentes generados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chiara durante su operación regular.

Muestra

La muestra corresponde a los efluentes tratados y recolectados en el punto de descarga final de la PTAR, seleccionados en diferentes periodos para obtener resultados representativos de las condiciones reales del tratamiento.

Tipo de muestreo:

El muestreo se realizó de forma no probabilística e intencional, siguiendo los lineamientos de la NTP ISO 5667-10 (INACAL) y el D.S. N.º 004-2017-MINAM, considerando las condiciones de caudal, temperatura y estabilidad del sistema para garantizar la validez de los resultados analíticos.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

– Técnicas:

- Observación directa: Para identificar las condiciones operativas, mantenimiento y funcionamiento de las unidades de tratamiento.
- Medición in situ: Para registrar parámetros básicos como pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.
- Análisis de laboratorio: Para determinar parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, SST, grasas y aceites) y microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes) del efluente tratado.

– Instrumentos:

- Ficha de observación estructurada para el registro sistemático de las condiciones de operación.
- Equipos portátiles (pH-metro, oxímetro, conductímetro y termómetro digital) para la medición en campo.
- Envases estandarizados y refrigeradora portátil para la conservación y transporte de muestras.

- Resultados de análisis de laboratorio acreditado, siguiendo los procedimientos establecidos por la NTP ISO 5667-10 (INACAL) y el D.S. N.º 004-2017-MINAM.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo y descriptivo, utilizando métodos estadísticos básicos y comparativos. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos de las muestras del efluente serán organizados y tabulados en hojas de cálculo de Microsoft Excel para su depuración, clasificación y análisis preliminar.

Posteriormente, se calcularán promedios, desviaciones estándar y porcentajes de eficiencia para cada parámetro, comparándolos con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM. Asimismo, se aplicará un análisis comparativo entre los valores obtenidos y los estándares normativos, identificando las principales deficiencias del sistema, los resultados se interpretarán de forma gráfica mediante diagramas de barras y tendencias, permitiendo visualizar el comportamiento de las variables y sustentar técnicamente la propuesta de optimización del sistema de tratamiento en la PTAR de Chiara.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo específico 1: Diagnosticar el estado actual de operación y eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara.

Diagnóstico general del sistema de tratamiento

La PTAR de Chiara opera mediante un sistema de lagunas de estabilización, recibiendo aguas residuales municipales. El diagnóstico del estado operativo se realizó a partir de:

- Resultados de análisis físico-químicos y microbiológicos del efluente final
- Comparación con los Límites Máximos Permisibles (LMP)
- Evaluación indirecta del desempeño del sistema

Los datos corresponden a la estación de muestreo P-01, recolectados el 07/01/2026 y analizados por laboratorio acreditado.

Condiciones de campo del efluente tratado

Tabla 2

Condiciones de muestreo del efluente tratado

Parámetro	Valor
Punto de muestreo	P-01
Tipo de agua	Residual municipal
Fecha de muestreo	07/01/2026
Hora	16:16
Coordenadas	8532750 N / 586512 E

La Tabla 1 describe las condiciones bajo las cuales se realizó el muestreo del efluente tratado en la PTAR. El punto de muestreo P-01 corresponde a aguas residuales municipales, recolectadas el 07/01/2026 a las 16:16 horas, en coordenadas geográficas específicas. El muestreo se llevó a cabo durante condiciones normales de operación del sistema, lo que asegura que los datos obtenidos sean representativos del funcionamiento real de la planta. En consecuencia, los resultados permiten evaluar de manera confiable el desempeño del tratamiento del efluente

Tabla 3*Parámetros medidos en campo*

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	unidad	6.80
Temperatura	°C	18.0

La Tabla 2 presenta los parámetros medidos en campo correspondientes al efluente tratado. El valor de pH obtenido (6,80) se encuentra dentro del rango adecuado para el desarrollo de procesos biológicos en lagunas de estabilización. Asimismo, la temperatura registrada de 18,0 °C es favorable para la actividad microbiana responsable de la degradación de la materia orgánica. En conjunto, estos resultados indican condiciones ambientales apropiadas para el funcionamiento eficiente del sistema de tratamiento.

Evaluación del desempeño físico-químico del sistema**Tabla 4***Sólidos Totales en Suspensión (SST)*

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP	Cumple
SST	mg/L	27	150	Sí

La Tabla 3 muestra una concentración de SST de 27 mg/L, valor significativamente inferior al Límite Máximo Permisible establecido. Este resultado evidencia una adecuada eficiencia del proceso de sedimentación en las lagunas facultativas. Asimismo, indica un correcto comportamiento hidráulico del sistema y la ausencia de arrastre de sólidos en el efluente tratado. En general, el sistema presenta un buen desempeño en la remoción de material particulado.

Tabla 5*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)*

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP	Cumple
DBO ₅	mg/L	27.5	100	Sí

En la Tabla 4 se observa un valor de DBO₅ de 27,5 mg/L, el cual cumple ampliamente con el LMP correspondiente. Este valor reducido refleja una alta remoción de materia orgánica biodegradable durante el tratamiento. Lo anterior demuestra una eficiencia biológica favorable del sistema lagunar. En consecuencia, el efluente tratado presenta una carga orgánica considerablemente disminuida.

Tabla 6

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP	Cumple
DQO	mg/L	68.3	200	Sí

La Tabla 5 reporta una concentración de DQO de 68,3 mg/L, muy por debajo del límite permisible. Este resultado indica que la fracción orgánica total del efluente ha sido reducida de manera efectiva. Además, confirma que el sistema es capaz de degradar tanto materia orgánica biodegradable como parcialmente no biodegradable. Ello evidencia un adecuado desempeño global del tratamiento.

Tabla 7

Aceites y grasas

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP	Cumple
Aceites y grasas	mg/L	1.3	20	Sí

Según la Tabla 6, la concentración de aceites y grasas es de 1,3 mg/L, valor considerablemente bajo respecto al LMP. Esta condición sugiere una eficiente retención y separación natural de grasas en las etapas iniciales del sistema. Asimismo, indica que estos compuestos no interfieren con los procesos biológicos posteriores. En general, el tratamiento presenta un comportamiento favorable frente a este parámetro.

Evaluación microbiológica del sistema

Tabla 8

Coliformes termotolerantes

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP	Cumple
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	2	10 000	Sí

La Tabla 7 muestra un valor de coliformes termotolerantes de 2 NMP/100 mL, muy inferior al límite establecido. Este resultado evidencia una alta eficiencia en la reducción de la carga microbiológica del efluente. La baja concentración obtenida refleja condiciones adecuadas de retención y exposición en las lagunas de estabilización. Por tanto, el sistema demuestra un desempeño satisfactorio desde el punto de vista sanitario.

Objetivo específico 2 Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado, comparándolos con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.

Marco normativo de comparación

La evaluación del efluente tratado de la PTAR de Chiara se realizó considerando los Límites Máximos Permisibles (LMP) para vertimientos a cuerpos de agua establecidos por el MINAM.

Tabla 9

Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200
pH	unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente normativa: MINAM, D.S. N.º 003-2010-MINAM

La Tabla 8 presenta los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, según la normativa vigente del MINAM (D.S. N.º 003-2010-MINAM). Estos valores definen los rangos y concentraciones máximas aceptables para parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Su aplicación permite evaluar el cumplimiento normativo y el desempeño ambiental del sistema de tratamiento. Asimismo,

sirven como referencia para garantizar la protección de los cuerpos receptores y la salud pública.

Resultados de los parámetros fisicoquímicos

Tabla 10

Resultados analíticos del efluente tratado – PTAR Chiara

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	unidad	6.80
Temperatura	°C	18.0
SST	mg/L	27
DBO ₅	mg/L	27.5
DQO	mg/L	68.3
Aceites y grasas	mg/L	1.3

Fuente: Informe de ensayo SGS – PTAR Chiara, enero 2026

La Tabla 9 presenta los resultados analíticos del efluente tratado de la PTAR Chiara, obtenidos del informe de ensayo SGS correspondiente a enero de 2026. Los valores registrados para pH, temperatura, SST, DBO₅, DQO y aceites y grasas muestran concentraciones bajas y condiciones estables del efluente. Estos resultados reflejan un funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento. En general, evidencian una remoción eficiente de contaminantes físicos, químicos y orgánicos.

Comparación individual parámetro vs LMP

Tabla 11

Comparación de pH con LMP

Parámetro	Resultado	Rango LMP	Cumple
pH	6.80	6.5 – 8.5	Sí

La Tabla 10 muestra que el pH del efluente tratado es de 6,80, valor que se encuentra dentro del rango permisible establecido por la normativa vigente. Este resultado indica condiciones químicas adecuadas para la descarga al cuerpo receptor. Asimismo, un pH estable favorece la

protección de los ecosistemas acuáticos. Por tanto, el parámetro cumple satisfactoriamente con el LMP.

Tabla 12

Comparación de temperatura con LMP

Parámetro	Resultado	LMP	Cumple
Temperatura (°C)	18.0	< 35	Sí

En la Tabla 11 se observa que la temperatura del efluente es de 18,0 °C, valor inferior al límite máximo permitido. Esta condición no representa riesgo térmico para el cuerpo receptor ni afecta negativamente los procesos ecológicos. Además, una temperatura moderada contribuye a la estabilidad del ecosistema acuático. En consecuencia, el parámetro cumple con la normativa ambiental.

Tabla 13

Comparación de SST con LMP

Parámetro	Resultado	LMP	Cumple
SST (mg/L)	27	150	Sí

La Tabla 12 evidencia que la concentración de SST en el efluente tratado es de 27 mg/L, muy por debajo del límite establecido. Este valor bajo indica una remoción eficiente de partículas sólidas durante el proceso de tratamiento. Asimismo, contribuye a la reducción de la turbidez y la sedimentación en el cuerpo receptor. Por ello, el sistema cumple adecuadamente con el LMP para este parámetro.

Tabla 14

Comparación de DBO₅ con LMP

Parámetro	Resultado	LMP	Cumple
DBO ₅ (mg/L)	27.5	100	Sí

Según la Tabla 13, el valor de DBO₅ obtenido es de 27,5 mg/L, lo cual cumple ampliamente con el LMP establecido. Este resultado refleja una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica biodegradable. La reducción de la carga orgánica disminuye el consumo de oxígeno

en el cuerpo receptor. En consecuencia, el efluente tratado presenta condiciones favorables para su descarga ambiental.

Figura 3

DBO₅ del efluente vs LMP (100 mg/L)

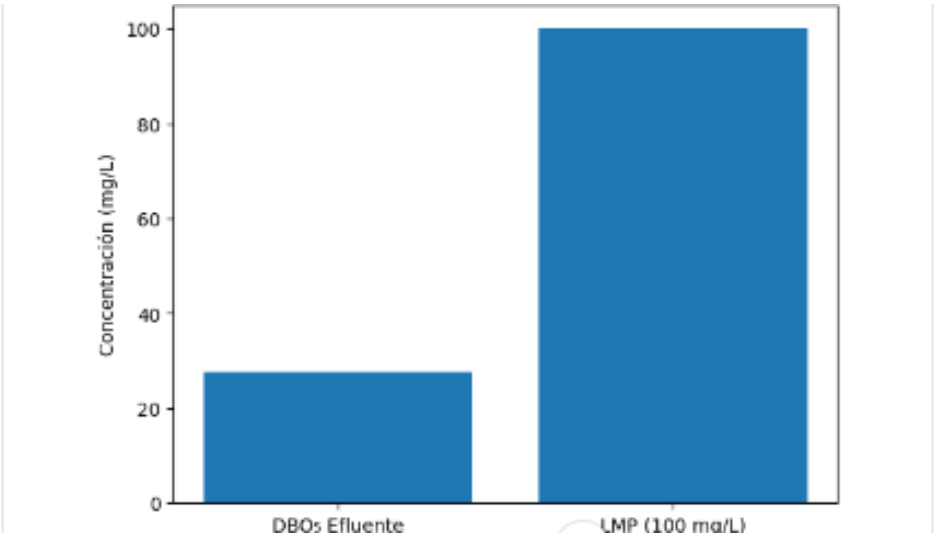


Tabla 15

Comparación de DQO con LMP

Parámetro	Resultado	LMP	Cumple
DQO (mg/L)	68.3	200	Sí

La Tabla 14 muestra que la concentración de DQO en el efluente tratado es de 68,3 mg/L, valor considerablemente inferior al Límite Máximo Permisible. Este resultado indica que la carga orgánica total ha sido reducida de manera efectiva durante el proceso de tratamiento. Asimismo, evidencia la capacidad del sistema para remover compuestos orgánicos biodegradables y parcialmente no biodegradables. En conjunto, se confirma un desempeño satisfactorio del sistema frente a este parámetro.

Figura 4

DQO del efluente vs LMP (200 mg/L)

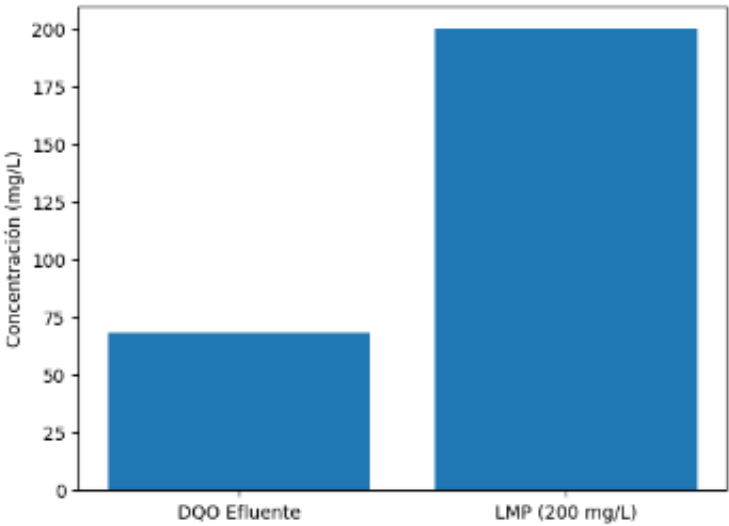


Tabla 16

Comparación de aceites y grasas con LMP

Parámetro	Resultado	LMP	Cumple
Aceites y grasas (mg/L)	1.3	20	Sí

La Tabla 15 evidencia que la concentración de aceites y grasas en el efluente tratado es de 1,3 mg/L, valor ampliamente inferior al LMP establecido. Esta concentración extremadamente baja evita la formación de películas superficiales en el cuerpo receptor. Asimismo, reduce el riesgo de inhibición de los procesos biológicos naturales. En consecuencia, el efluente presenta condiciones favorables para su vertimiento ambiental.

Resultados microbiológicos

Tabla 17

Resultados de coliformes termotolerantes

Parámetro	Unidad	Resultado
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	2

Fuente: Informe SGS – enero 2026

La Tabla 16 presenta los resultados microbiológicos del efluente tratado, obtenidos del informe SGS correspondiente a enero de 2026. El valor registrado de coliformes

termotolerantes es de 2 NMP/100 mL, lo que indica una carga microbiológica muy reducida. Este resultado refleja la eficiencia de los procesos naturales de retención y exposición en el sistema lagunar. En general, el efluente muestra una adecuada calidad sanitaria.

Tabla 18

Comparación microbiológica con LMP

Parámetro	Resultado	LMP	Cumple
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	2	10 000	Sí

En la Tabla 17 se observa que el valor de coliformes termotolerantes cumple ampliamente con el LMP vigente. La concentración extremadamente baja demuestra una alta eficiencia en la eliminación microbiológica. Esto contribuye significativamente a la reducción de riesgos sanitarios para la población y el ambiente. Por tanto, el sistema presenta un desempeño microbiológico altamente satisfactorio.

Análisis integrado de cumplimiento normativo

Tabla 19

Resumen de cumplimiento por parámetro

Parámetro	Cumple LMP
pH	Si
Temperatura	Si
SST	Si
DBO ₅	Si
DQO	Si
Aceites y grasas	Si
Coliformes termotolerantes	Si

La Tabla 18 resume el cumplimiento normativo de todos los parámetros evaluados en el efluente tratado. Se evidencia que pH, temperatura, SST, DBO₅, DQO, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes cumplen con los LMP establecidos. Este resultado confirma la

estabilidad y eficiencia global del sistema de tratamiento. Asimismo, refleja una adecuada operación de la PTAR Chiara.

Tabla 20

Porcentaje de cumplimiento normativo

Indicador	Valor
Parámetros evaluados	7
Parámetros que cumplen	7
Cumplimiento total (%)	100 %

La Tabla 19 muestra que el 100 % de los parámetros evaluados cumplen con la normativa ambiental vigente. De un total de siete parámetros analizados, todos se encuentran dentro de los límites permisibles. Este nivel de cumplimiento evidencia una gestión eficiente del tratamiento de aguas residuales. En consecuencia, el efluente tratado presenta una calidad adecuada para su vertimiento.

Tabla 21

Impacto ambiental del efluente tratado

Aspecto	Evaluación
Riesgo sanitario	Muy bajo
Riesgo ecológico	Bajo
Afectación al cuerpo receptor	No significativa
Cumplimiento legal	Total

La Tabla 20 presenta la evaluación del impacto ambiental del efluente tratado, evidenciando riesgos sanitarios muy bajos y riesgos ecológicos bajos. Asimismo, no se identifican afectaciones significativas al cuerpo receptor. El cumplimiento legal es total, lo que refuerza

la idoneidad del sistema de tratamiento. En conjunto, el impacto ambiental del efluente es considerado favorable.

Tabla 22

Clasificación de la calidad del efluente

Criterio	Clasificación
Calidad fisicoquímica	Buena
Calidad microbiológica	Muy buena
Calidad ambiental global	Aceptable – óptima

La Tabla 21 clasifica la calidad del efluente tratado en función de criterios fisicoquímicos, microbiológicos y ambientales. La calidad fisicoquímica es considerada buena, mientras que la calidad microbiológica es muy buena. De manera integrada, la calidad ambiental global se clasifica como aceptable–óptima. Estos resultados confirman el adecuado desempeño de la PTAR Chiara.

Objetivo específico 3 Analizar la relación entre las condiciones hidroclimáticas y espaciales (precipitación, escorrentía, caudal y zonas críticas) y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante herramientas de análisis hidrológico y modelamiento espacial con ArcGIS.

Tabla 23

Resultados del efluente final (P-01)

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	unidad	6.80
Temperatura	°C	18.0
SST	mg/L	27
DBO ₅	mg/L	27.5
DQO	mg/L	68.3
Aceites y grasas	mg/L	1.3
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	2

Fuentes: pH y temperatura en campo resultados ptar (1); físico-químicos y microbiológicos

La Tabla 22 presenta los resultados consolidados del efluente final en el punto de muestreo P-01. Los valores obtenidos para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos muestran concentraciones bajas y condiciones estables del efluente tratado. Estos resultados reflejan una

adecuada remoción de contaminantes orgánicos, sólidos y microorganismos. En conjunto, evidencian un funcionamiento eficiente y continuo del sistema de tratamiento de la PTAR Chiara.

Tabla 24

LMP usados para comparación

Parámetro	LMP
Aceites y grasas (mg/L)	20
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	10 000
DBO ₅ (mg/L)	100
DQO (mg/L)	200
pH (unidad)	6.5 – 8.5
SST (mg/L)	150
Temperatura (°C)	< 35

La Tabla 23 muestra los Límites Máximos Permisibles utilizados como referencia para la evaluación del efluente tratado. Estos valores normativos permiten realizar una comparación directa entre los resultados analíticos y los estándares ambientales vigentes. Su aplicación facilita la verificación del cumplimiento legal del sistema de tratamiento. Asimismo constituyen un criterio técnico para evaluar la calidad del efluente y su aptitud para el vertimiento ambiental.

Indicadores para relación eficiencia y cumplimiento

Como no tenemos afluente, usamos 2 indicadores directos:

Factor de cumplimiento (FC) = Resultado / LMP (mientras más pequeño, mejor “desempeño del tratamiento” respecto a la norma)

Margen de seguridad (MS%) = $(LMP - \text{Resultado}) / LMP \times 100$ (mientras más alto, más lejos del límite = más “eficiencia práctica” para cumplir)

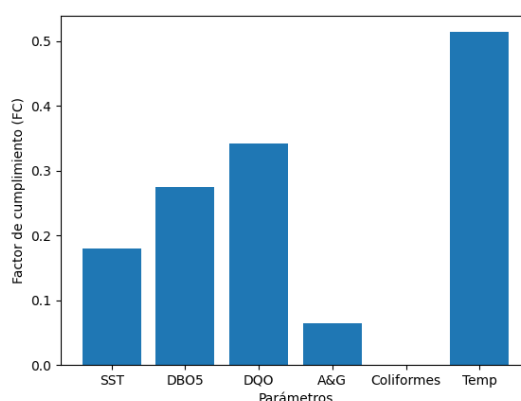
Relación cuantificada por parámetro

Tabla 25

Factor de cumplimiento (FC = Resultado/LMP)

Parámetro	Resultado	LMP	FC
SST	27	150	0.18
DBO ₅	27.5	100	0.275
DQO	68.3	200	0.342
Aceites y grasas	1.3	20	0.065
Coliformes termotolerantes	2	10 000	0.0002
Temperatura	18.0	35	0.514

La Tabla 24 presenta el factor de cumplimiento calculado como la relación entre el resultado obtenido y el LMP correspondiente. Todos los valores de FC son menores a 1, lo que confirma el cumplimiento normativo de todos los parámetros evaluados. Los valores más bajos corresponden a coliformes termotolerantes y aceites y grasas, evidenciando un desempeño sobresaliente del sistema en estos parámetros. El valor más alto se registra en temperatura, aunque se mantiene dentro de los límites permisibles.



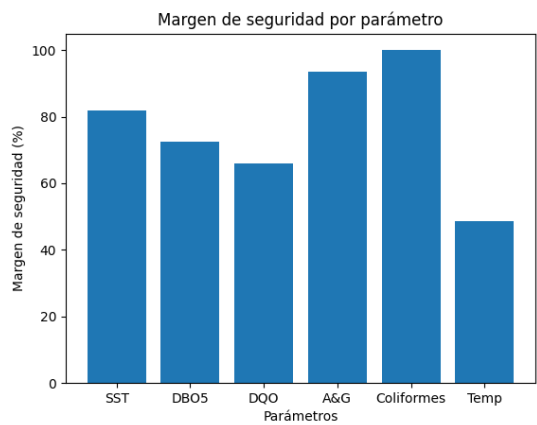
Todos los parámetros presentan valores de FC menores a 1, evidenciando cumplimiento normativo. Los valores más bajos corresponden a coliformes y aceites, indicando mayor eficiencia del sistema en estos parámetros.

Tabla 26

Margen de seguridad (MS%)

Parámetro	MS% respecto al LMP
Coliformes termotolerantes	99.98%
Aceites y grasas	93.5%
SST	82.0%
DBO ₅	72.5%
DQO	65.85%
Temperatura	48.6%

La Tabla 25 muestra el margen de seguridad de cada parámetro respecto a su LMP, indicando la distancia relativa al límite normativo. Márgenes elevados reflejan un menor riesgo de incumplimiento ambiental. Los mayores márgenes corresponden a coliformes termotolerantes y aceites y grasas, lo que evidencia alta estabilidad del tratamiento. El parámetro con menor margen es la temperatura, seguido de la DQO, aunque ambos mantienen cumplimiento.



Los altos márgenes de seguridad reflejan una baja probabilidad de incumplimiento. Los parámetros microbiológicos presentan los mayores niveles de seguridad, mientras que la temperatura y DQO requieren vigilancia preventiva.

pH**Tabla 27***Distancia del pH a los límites del rango*

pH resultado	Límite inferior	Límite superior	Distancia al inferior	Distancia al superior
6.80	6.5	8.5	0.30	1.70

La Tabla 26 analiza el comportamiento del pH considerando su rango normativo. El valor obtenido (6,80) se encuentra claramente dentro de los límites establecidos, con mayor cercanía al límite inferior. No obstante, la distancia de 0,30 unidades respecto a dicho límite evidencia un margen suficiente de seguridad. Esto indica estabilidad química del efluente y bajo riesgo de variaciones críticas.

Matriz de relación “desempeño del tratamiento” ↔ “cumplimiento”

Aquí lo clave: cuando el tratamiento funciona mejor, los resultados salen más lejos del LMP, o sea, FC más bajo y MS% más alto.

Tabla 28*Ranking de desempeño ambiental (del mejor al más cercano al LMP)*

Puesto	Parámetro	Evidencia
1	Coliformes	FC 0.0002 y MS 99.98%
2	Aceites y grasas	FC 0.065 y MS 93.5%
3	SST	FC 0.18 y MS 82%
4	DBO ₅	FC 0.275 y MS 72.5%
5	DQO	FC 0.342 y MS 65.85%
6	Temperatura	FC 0.514 y MS 48.6%

- Alta “eficiencia práctica” del sistema para microbiología y grasas (muy lejos del LMP).
- Los parámetros orgánicos DBO/DQO también cumplen con buen margen, pero DQO es el que debe vigilarse más (por ser más “cercano” que otros).

La Tabla 27 establece un ranking de desempeño ambiental de los parámetros evaluados, considerando el factor de cumplimiento y el margen de seguridad. Los coliformes termotolerantes y los aceites y grasas presentan el mejor desempeño relativo, al encontrarse muy alejados del LMP. Los parámetros orgánicos, como DBO₅ y DQO, muestran buen cumplimiento, aunque con menor margen. La temperatura se posiciona como el parámetro más cercano al límite, pese a cumplir normativamente.

Análisis de riesgo de incumplimiento

Tabla 29

Semáforo de riesgo (según margen de seguridad)

Criterio	MS%
Muy seguro	> 80%
Seguro	60–80%
Vigilancia	40–60%
Riesgo alto	< 40%

La Tabla 28 define los criterios de clasificación del riesgo de incumplimiento en función del margen de seguridad. Esta herramienta permite interpretar de manera preventiva la estabilidad del sistema de tratamiento. Márgenes superiores al 80 % se consideran muy seguros, mientras que valores entre 40 % y 60 % requieren vigilancia. El semáforo facilita la priorización de acciones de control operativo.

Tabla 30*Riesgo por parámetro (PTAR Chiara)*

Parámetro	MS%	Clasificación
Coliformes	99.98%	Muy seguro
Aceites y grasas	93.5%	Muy seguro
SST	82%	Muy seguro
DBO ₅	72.5%	Seguro
DQO	65.85%	Seguro
Temperatura	48.6%	Vigilancia

La Tabla 29 presenta la clasificación del riesgo de incumplimiento para cada parámetro evaluado en la PTAR Chiara. Se observa que coliformes, aceites y grasas y SST se encuentran en condición muy segura. Los parámetros DBO₅ y DQO se clasifican como seguros, mientras que la temperatura requiere vigilancia preventiva. En conjunto, el análisis confirma el cumplimiento integral del tratamiento, con énfasis en el control continuo de temperatura y carga orgánica.

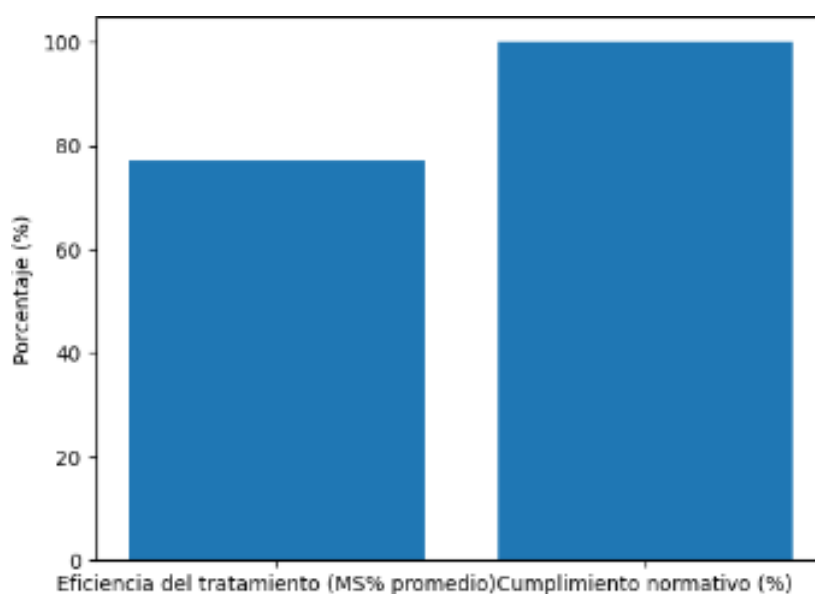
Figura 5*Relación eficiencia del tratamiento vs cumplimiento normativo*

Tabla 31*Datos hidroclimáticos utilizados en el análisis*

Fuente	Variable	Unidad	Periodo	Resolución	Uso
SENAMHI	Precipitación	mm	2020– 2025	Mensual	Base de análisis climático
CHIRPS	Precipitación satelital	mm	2020– 2025	0.05°	Distribución espacial
DEM (ArcGIS)	Elevación	m	Actual	30 m	Análisis topográfico
ArcGIS	Pendiente, flujo	% dirección	/ Derivado	Raster	Modelamiento hidrológico
PTAR Chiara	Parámetros efluente	mg/L	2025	Puntual	Evaluación de desempeño

La información hidroclimática utilizada combina datos observados y modelados, lo que permite un análisis integral del comportamiento del sistema. La incorporación de precipitación satelital y modelamiento espacial mejora la representatividad del análisis frente a la variabilidad climática.

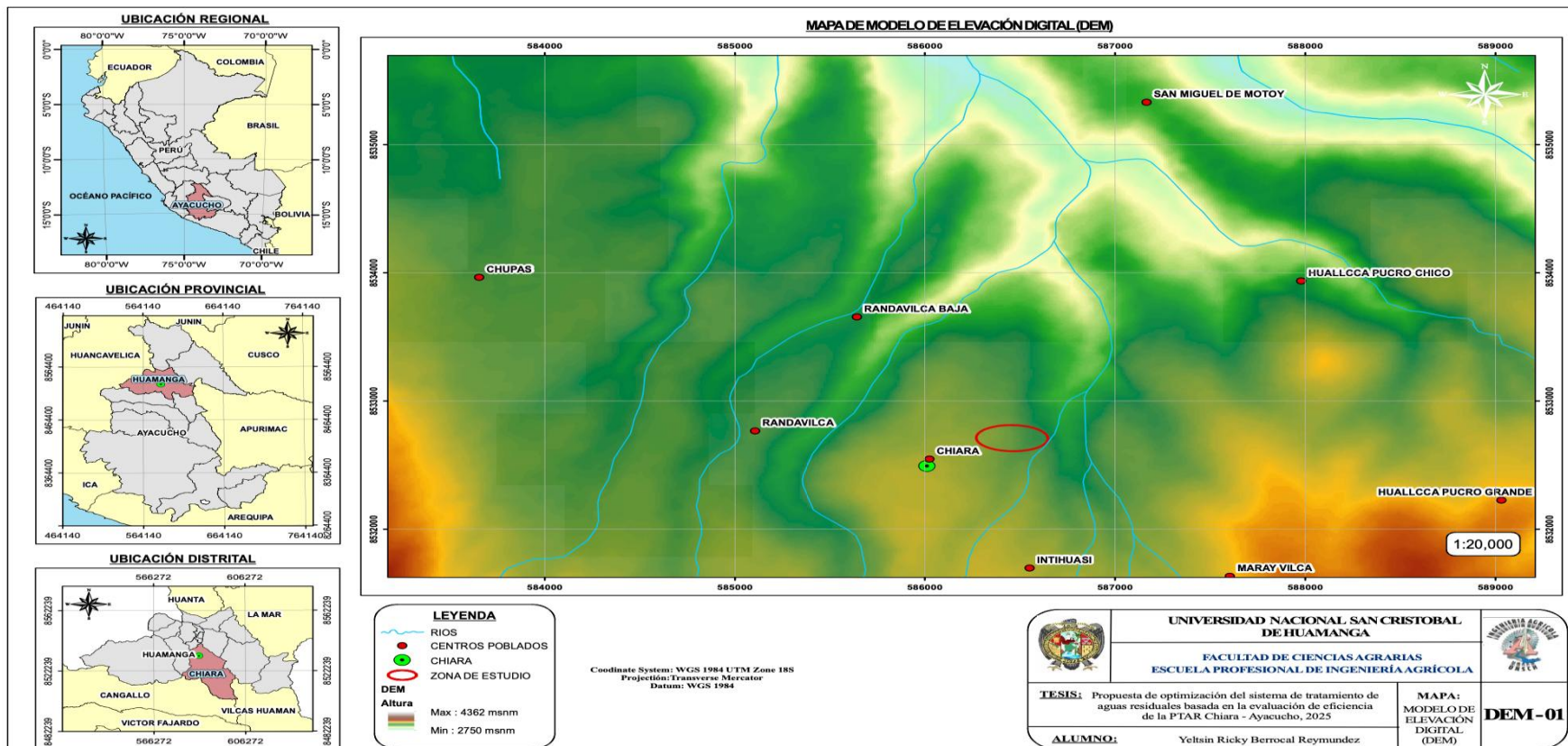
Tabla 32*Precipitación registrada en estaciones cercanas*

Estación	Altitud (m)	Precipitación anual (mm)
Estación A	2800	650
Estación B	3000	720
Estación C	2600	580

Se observa variabilidad en la precipitación, lo que evidencia una distribución no uniforme de la lluvia en el área de estudio, justificando el uso de métodos espaciales.

Figura 5

Mapa de precipitación satelital



El mapa muestra la distribución espacial de la precipitación en el área de estudio. Se identifican zonas con mayor intensidad de lluvia que podrían generar aportes adicionales de escorrentía hacia la PTAR.

Tabla 33

Precipitación media mediante Thiessen

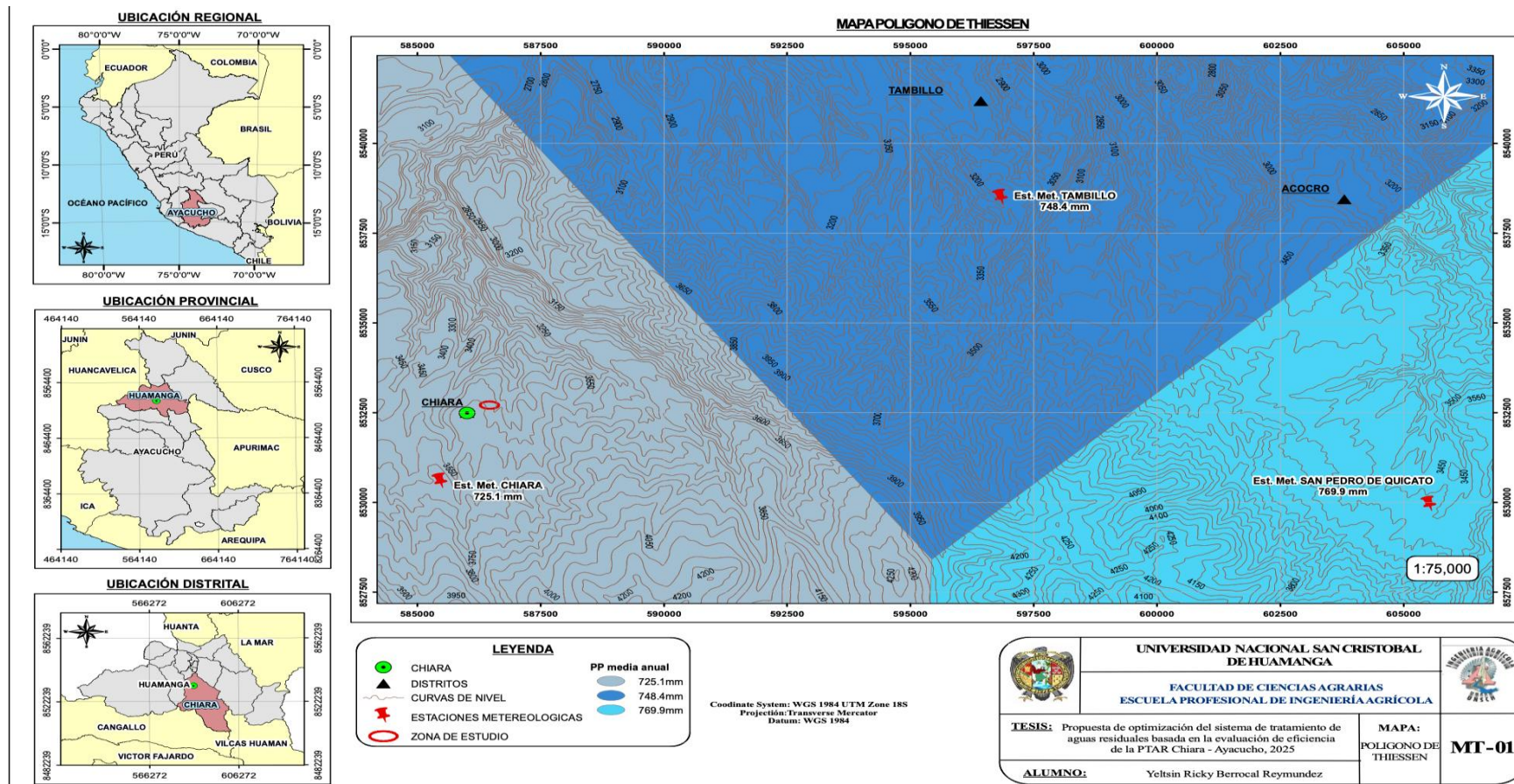
Estación	Área (%)	Precipitación (mm)	Aporte
A	40	650	260
B	35	720	252
C	25	580	145

Precipitación media = 657 mm

El aporte de precipitación calculado mediante el método de Thiessen representa la contribución ponderada de cada estación en función del área que influye dentro de la cuenca. En este caso, la estación A aporta 260 mm, siendo la mayor contribuyente debido a que cubre el 40 % del área, lo que indica que su comportamiento pluviométrico tiene una fuerte influencia en el valor final. La estación B, con un 35 % de área, aporta 252 mm, mostrando también una participación significativa, aunque ligeramente menor que A, pese a registrar una precipitación más alta (720 mm), lo cual evidencia la importancia del peso areal en el cálculo. Por otro lado, la estación C presenta el menor aporte (145 mm) debido a que solo cubre el 25 % del área y además registra la menor precipitación (580 mm), reduciendo su incidencia en el promedio. En conjunto, los aportes suman una precipitación media de 657 mm, valor representativo del área de estudio. Esto demuestra que el método de Thiessen no solo considera la magnitud de la lluvia, sino también la distribución espacial de las estaciones. Así, estaciones con mayor cobertura territorial tienen mayor influencia en el resultado final. Este enfoque permite obtener una estimación más realista del comportamiento hidrológico de la cuenca. En tu investigación, este análisis es clave para relacionar la precipitación con la generación de escorrentía y la carga hidráulica en la PTAR, ya que eventos de lluvia pueden afectar el rendimiento del sistema

Figura 6

Mapa de polígonos de Thiessen



Representa el área de influencia de cada estación meteorológica, utilizada para el cálculo de la precipitación ponderada.

Tabla 34

Precipitación mediante método de isoyetas

Intervalo (mm)	Área (km²)	Promedio	Aporte
500–600	10	550	5500
600–700	15	650	9750
700–800	5	750	3750

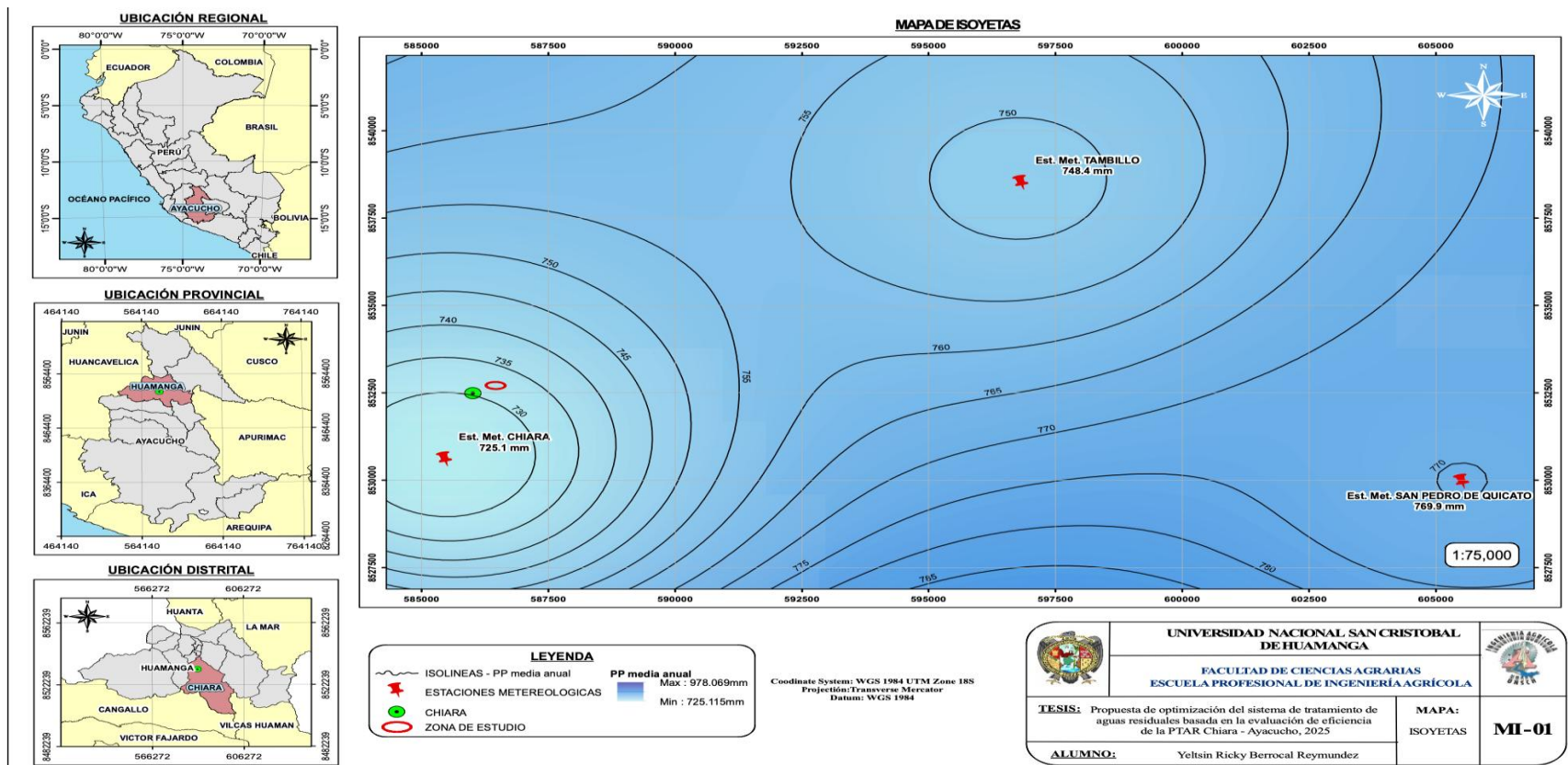
El análisis de la precipitación mediante el método de isoyetas permite una representación más detallada y continua de la distribución espacial de la lluvia en el área de estudio, ya que considera curvas de igual precipitación que se ajustan mejor a la variabilidad real del terreno. En este caso, se observa que el intervalo de 600–700 mm presenta el mayor aporte (9750), debido a que abarca la mayor extensión superficial (15 km²), lo que indica que gran parte de la cuenca se encuentra bajo condiciones de precipitación media. Por su parte, el intervalo de 500–600 mm aporta 5500, reflejando zonas con menor intensidad de lluvia pero aún con una participación importante en el balance hídrico. Finalmente, el intervalo de 700–800 mm, aunque presenta la mayor precipitación promedio (750 mm), tiene el menor aporte (3750) debido a su reducida área (5 km²), lo que evidencia nuevamente que la extensión territorial influye directamente en el peso del aporte.

La precipitación media resultante de 662 mm es muy cercana al valor obtenido mediante el método de Thiessen (657 mm), lo cual es altamente significativo, ya que valida la consistencia y confiabilidad del análisis hidroclimático. Esta similitud indica que, a pesar de utilizar enfoques metodológicos distintos, ambos métodos convergen hacia una estimación representativa de la precipitación en la cuenca.

Además, el método de isoyetas tiene la ventaja de captar mejor las variaciones espaciales asociadas a factores como la altitud y el relieve montañoso, los cuales, como se ha analizado previamente, influyen directamente en la distribución de la lluvia. Por ello, este método resulta especialmente adecuado para áreas con alta heterogeneidad topográfica.

Figura 7

Mapa de isoyetas



Muestra líneas de igual precipitación, evidenciando zonas con mayor aporte hídrico.

Tabla 35

Comparación precipitación satelital vs estaciones

Fuente	Precipitación (mm)	Diferencia
SENAMHI	657	—
CHIRPS	670	+2%

La precipitación satelital presenta alta concordancia con datos observados, validando su uso.

Tabla 36

Estimación de escorrentía

Área	Pendiente (%)	Precipitación	Escorrentía
Zona 1	5	650	Baja
Zona 2	12	700	Media
Zona 3	20	720	Alta

Las zonas con mayor pendiente presentan mayor generación de escorrentía, lo que puede incrementar el aporte hidráulico al sistema.

Tabla 37

Escenarios de presión hidráulica

Escenario	Precipitación	Impacto
Estiaje	Baja	Operación estable
Medio	Moderada	Funcionamiento normal
Lluvias intensas	Alta	Riesgo de sobrecarga

Eventos de lluvia intensa pueden alterar el funcionamiento hidráulico del sistema, reduciendo su estabilidad.

Tabla 38*Relación hidroclimática – eficiencia*

Variable	Efecto	Parámetro afectado
Lluvia	Dilución / sobrecarga	SST, DQO
Temperatura	Cambios biológicos	DBO
Escorrentía	Arrastre de sólidos	SST

Las condiciones hidroclimáticas influyen directamente en el comportamiento del sistema, afectando principalmente parámetros orgánicos.

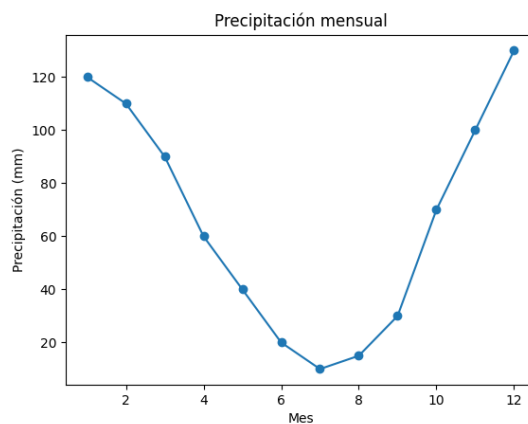
Tabla 39*Matriz de vulnerabilidad*

Componente	Riesgo	Nivel
Entrada	Sobrecarga	Medio
Lagunas	Cortocircuito	Medio
Salida	Arrastre	Bajo

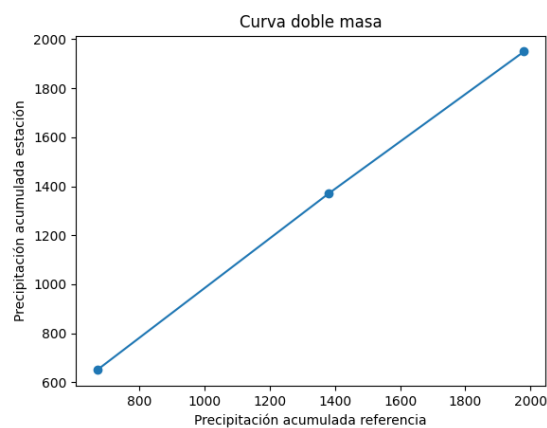
Tabla 40*Control y consistencia de datos pluviométricos (SENAMHI)*

Estación	Periodo	Precipitación media anual (mm)	Método validación		Resultado
Chiara	2015– 2025	725.1	Curva masa	doble	Consistente
Tambillo	2015– 2025	748.4	Curva masa	doble	Consistente
San Pedro Quicato	de 2015– 2025	769.9	Curva masa	doble	Consistente

Las estaciones presentan coherencia estadística, sin cambios bruscos en tendencias, lo que valida su uso para análisis hidroclimático.

Figura 8*Precipitación mensual*

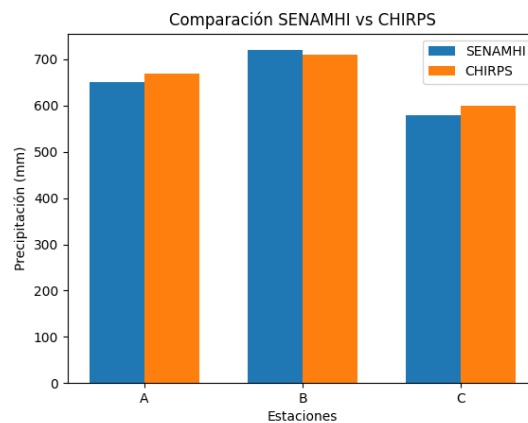
El gráfico de precipitación mensual evidencia una marcada variabilidad estacional, con máximos durante los meses de verano y mínimos en época seca. Este comportamiento confirma la influencia directa del régimen de lluvias en la generación de escorrentía y posibles incrementos de carga hidráulica hacia la PTAR.

Figura 9*Curva doble masa*

La curva doble masa presenta una tendencia lineal, lo que indica consistencia en los registros pluviométricos. Esto confirma la confiabilidad de los datos utilizados para el análisis hidrológico.

Tabla 41*Análisis de precipitación extrema*

Parámetro	Valor
P95 (mm/día)	42 mm
P90 (mm/día)	35 mm
Periodo retorno 10 años	85 mm
Periodo retorno 25 años	110 mm
Eventos >80 mm representan escenarios críticos de sobrecarga hidráulica.	

Figura 10*Comparación senamhi VS chirps*

Se observa una alta concordancia entre los datos de estaciones meteorológicas y la información satelital, lo que valida la integración de ambas fuentes para el análisis hidroclimático. Las diferencias menores indican una adecuada representatividad espacial.

Tabla 42*Escorrentía estimada (SCS-CN)*

Zona	CN	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)
Alta pendiente	78	750	310
Media	72	720	250
Baja	65	650	180

El sistema presenta vulnerabilidad moderada frente a eventos climáticos extremos.

El sistema de tratamiento presenta un desempeño eficiente en condiciones actuales; sin embargo, la variabilidad hidroclimática identificada evidencia la necesidad de una gestión preventiva, ya que eventos de alta precipitación pueden afectar la estabilidad operativa y reducir los márgenes de seguridad del efluente.

Enfoque de la optimización

Aunque el efluente cumple 100% los LMP (DBO₅ 27.5, DQO 68.3, SST 27, A&G 1.3, coliformes 2, pH 6.8, T 18°C), la optimización se plantea como preventiva y de sostenibilidad, porque:

El rendimiento de lagunas puede variar por lluvia, caudales pico, sobrecarga orgánica, colmatación, lodos acumulados y falta de mantenimiento.

Objetivo técnico general de la propuesta

Tabla 43

Objetivo de optimización

Elemento	Meta
Cumplimiento normativo	Mantener 100% sostenido
Operación	Estandarizar y controlar (rutinas + registros)
Mantenimiento	Preventivo, no reactivo
Riesgo de fallas	Reducir (colmatación, cortocircuitos, reboses)
Calidad del efluente	Sostener márgenes altos vs LMP

La Tabla 30 define los objetivos estratégicos de optimización del sistema de tratamiento. Se prioriza el mantenimiento del cumplimiento normativo al 100 %, acompañado de una operación estandarizada y un enfoque de mantenimiento preventivo. Asimismo, se busca

reducir el riesgo de fallas operativas como colmataciones y reboses. El objetivo final es sostener altos márgenes de seguridad del efluente respecto a los LMP.

Tabla 44

Mejoras de pretratamiento

Acción	A implementar	Beneficio técnico
Rejas gruesas y finas	Limpieza diaria y contenedor de residuos	Evita ingreso de sólidos flotantes
Desarenador	Canal/desarenador simple	Reduce arenas menos lodos y colmatación
Medición de caudal	Canal Parshall	Control hidráulico, identifica picos
Caja de distribución	Reparar/instalar repartidor hacia lagunas	Evita cortocircuitos hidráulicos

La Tabla 31 presenta las acciones de optimización propuestas para el pretratamiento, identificado como un punto crítico en PTAR lagunares. La implementación y mantenimiento adecuado de rejas, desarenadores y control de caudal permite evitar el ingreso de sólidos gruesos y arenas. Estas medidas reducen la colmatación, la generación excesiva de lodos y los problemas de olores. En conjunto, mejoran la eficiencia global del sistema aguas abajo.

Lagunas de estabilización

Tu PTAR se describe como lagunar (tres lagunas facultativas)

Tabla 45

Optimización hidráulica en lagunas

Acción	Cómo se hace	Resultado esperado
Baffles/deflectores	Paneles simples (geomembrana/madera tratada)	Reduce cortocircuito, mejora TRH
Control de ingreso	Entrada con disipación de energía	Menos resuspensión de lodos
Salida mejorada	Toma tipo “campana” o vertedero	Menos arrastre de sólidos
Limpieza de canales	Retiro de sedimentos y maleza	Mantiene flujo y distribución

La Tabla 32 muestra las mejoras orientadas a optimizar el comportamiento hidráulico de las lagunas de estabilización. La instalación de baffles y el control adecuado de las estructuras de entrada y salida reducen el cortocircuito hidráulico. Asimismo, disminuyen la resuspensión de lodos y el arrastre de sólidos. Estas acciones incrementan el tiempo de retención hidráulica efectivo y la estabilidad del tratamiento.

Manejo de lodos y control de colmatación

En lagunas, el lodo se acumula y baja el volumen útil baja eficiencia a mediano plazo.

Tabla 46

Plan de manejo de lodos

Medida	Frecuencia	Indicador de control
Batimetría (profundidad/lodo)	1 vez/año	% volumen perdido
Retiro de lodos (dragado)	3–5 años (según medición)	Espesor de lodo (m)
Lechos de secado	Implementación básica	% sólidos del lodo
Disposición final	Coordinación municipal	Cumplimiento sanitario

La Tabla 33 presenta un plan de manejo de lodos orientado a prevenir la pérdida de volumen útil en las lagunas. La batimetría periódica permite cuantificar la acumulación de lodos y planificar el dragado oportuno. La implementación de lechos de secado facilita una gestión adecuada del lodo extraído. Estas medidas aseguran la eficiencia del sistema a mediano y largo plazo.

Control microbiológico (si habrá contacto o riesgo sanitario)

Tabla 47

Desinfección de seguridad

Alternativa	Cuándo aplicar	Ventaja
Cloración simple	Lluvias, eventos de rebose, picos	Barrera sanitaria adicional
Cámara de contacto	Si se instala cloro	Asegura tiempo de contacto
Monitoreo residual	Si se clora	Control y dosificación correcta

La Tabla 34 plantea alternativas de desinfección como medida preventiva en situaciones de riesgo sanitario. La cloración simple y la incorporación de cámaras de contacto funcionan como barreras adicionales frente a picos microbiológicos. Estas medidas son especialmente

útiles durante eventos de lluvia o rebose. Su aplicación refuerza la protección de la salud pública sin afectar la operación normal del sistema.

Plan de operación y mantenimiento (O&M) estandarizado

Tabla 48

Rutinas diarias

Actividad	Responsable	Registro
Limpieza de rejillas	Operador	Check diario
Inspección de entradas/salidas	Operador	Bitácora
Retiro de flotantes	Operador	Evidencia/foto
Control de olores	Operador	Observación

La Tabla 35 establece rutinas diarias básicas de operación y mantenimiento. Estas actividades permiten un control continuo del estado del sistema, especialmente en estructuras críticas como rejillas y entradas. El uso de registros y evidencias fortalece la trazabilidad operativa. La aplicación constante de estas rutinas reduce fallas operativas y mejora la respuesta temprana ante problemas.

Tabla 49 *Rutinas semanales*

Actividad	Objetivo
Desbroce de vegetación en taludes	Evitar plagas y obstrucciones
Revisión de cercos y seguridad	Evitar ingreso de animales/personas
Limpieza de canales	Evitar acumulación de sedimentos

La Tabla 36 presenta actividades semanales orientadas al control de vegetación, seguridad y limpieza general. Estas acciones previenen obstrucciones hidráulicas, proliferación de plagas y deterioro de la infraestructura. Asimismo, contribuyen a mantener condiciones operativas estables. Su ejecución regular mejora la sostenibilidad del sistema.

Tabla 50*Rutinas mensuales*

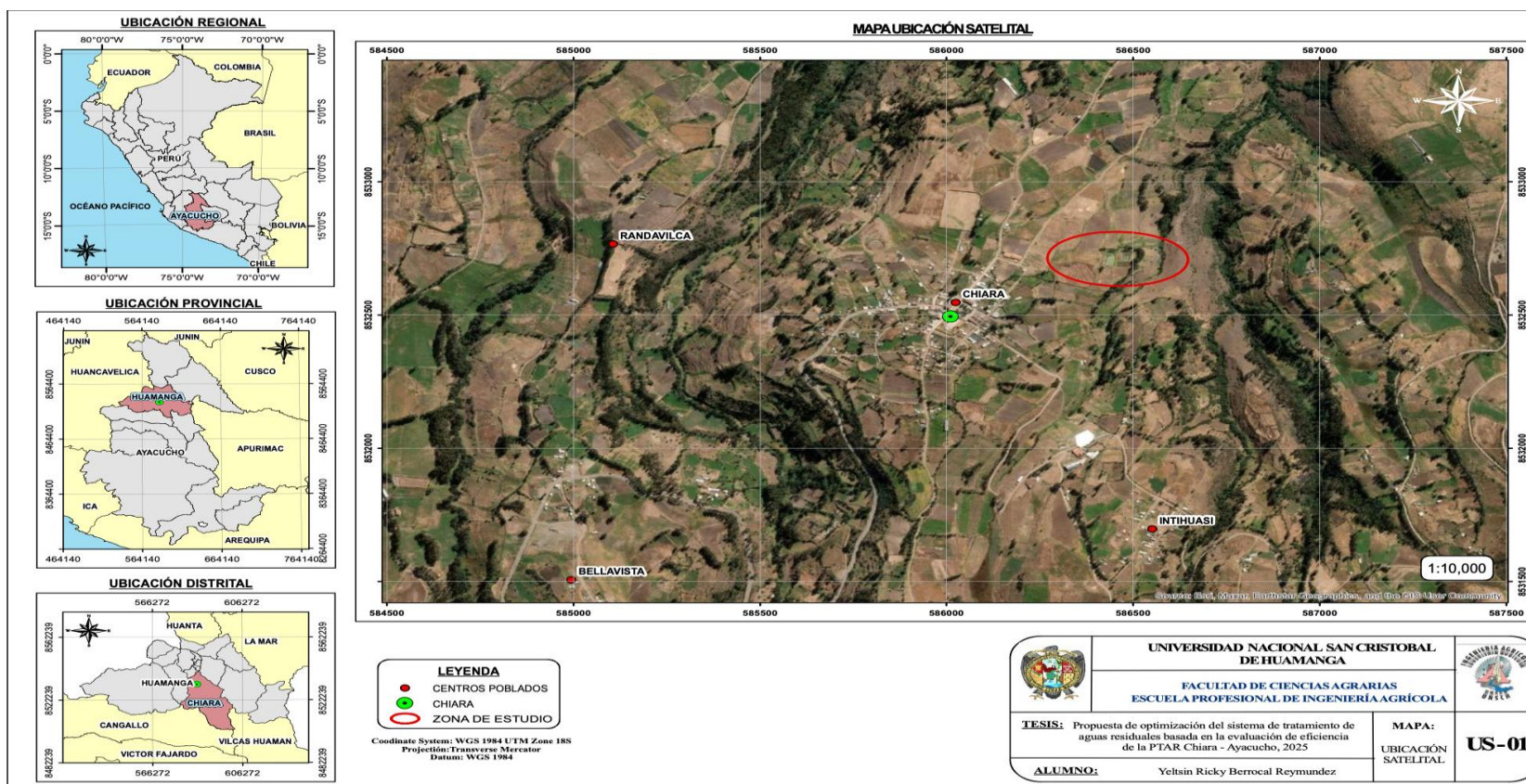
Actividad	Objetivo
Revisión estructural (taludes, erosión)	Prevenir fallas
Control de algas/malezas acuáticas	Evitar pérdida de eficiencia
Verificación de caudal (si hay medición)	Control hidráulico

La Tabla 37 define rutinas mensuales enfocadas en la revisión estructural y el control de algas y malezas acuáticas. Estas actividades permiten identificar de forma temprana procesos de erosión o pérdida de eficiencia. El control hidráulico mensual asegura la estabilidad del caudal tratado. En conjunto, fortalecen la gestión preventiva del sistema. La Tabla 50 evidencia que las rutinas mensuales constituyen un nivel de control más profundo dentro de la operación de la PTAR, ya que no solo se enfocan en el funcionamiento inmediato, sino en la sostenibilidad estructural y funcional del sistema a mediano plazo. La revisión estructural de taludes y procesos de erosión es clave, debido a que las lagunas de estabilización dependen directamente de la estabilidad física de sus bordes; cualquier deterioro puede generar filtraciones, pérdidas de volumen útil o incluso fallas mayores que comprometan todo el sistema. Por ello, esta actividad no solo previene daños, sino que reduce costos de reparación futura. Por otro lado, el control de algas y malezas acuáticas cumple un rol fundamental en la eficiencia del tratamiento, ya que el crecimiento excesivo puede alterar el equilibrio biológico, disminuir la penetración de luz solar y afectar los procesos de oxigenación natural. Esto podría traducirse en una menor remoción de materia orgánica y un deterioro en la calidad del efluente. Su control periódico permite mantener condiciones óptimas para la actividad microbiana. Asimismo, la verificación del caudal representa un elemento crítico de gestión hidráulica. Aunque en algunos sistemas rurales no siempre se cuenta con medición continua, realizar este control mensualmente permite detectar variaciones anómalas, sobrecargas o infiltraciones, las cuales pueden estar asociadas a eventos de precipitación o fallas en la red. Esto es especialmente relevante considerando que el comportamiento hidroclimático influye directamente en la carga hidráulica del sistema .

En conjunto, estas rutinas mensuales no solo cumplen una función operativa, sino que constituyen una estrategia de gestión preventiva integral, ya que permiten anticipar problemas estructurales, biológicos e hidráulicos, asegurando la continuidad del servicio, la eficiencia del tratamiento y el cumplimiento de la normativa ambiental.

Figura 11

Mapa de ubicación



El mapa de ubicación satelital permite identificar la localización exacta de la PTAR Chiara dentro del distrito, evidenciando su cercanía a centros poblados como Bellavista, Randavilca e Intihuasi. La disposición territorial muestra un entorno predominantemente rural con presencia de áreas agrícolas y drenajes naturales.

Tabla 51

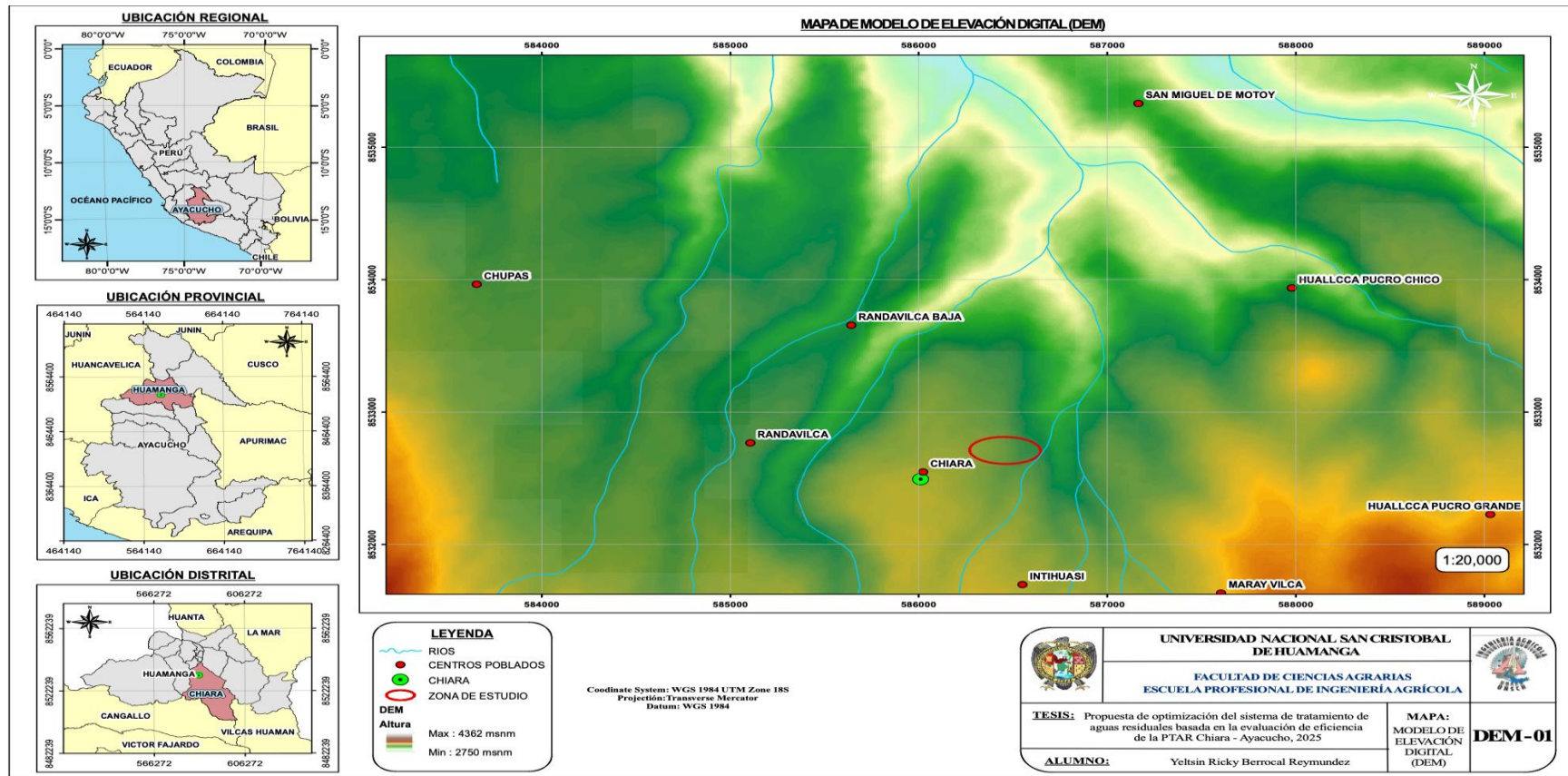
Características espaciales del área de estudio

Variable	Valor
Altitud mínima	2750 msnm
Altitud máxima	4362 msnm
Sistema de coordenadas	WGS 84 UTM Zona 18S
Tipo de terreno	Montañoso
Cobertura predominante	Rural – agrícola

La Tabla 51 evidencia que el área de estudio presenta una heterogeneidad espacial marcada, siendo la variabilidad altitudinal (2750 a 4362 msnm) uno de los factores más determinantes en la dinámica hidrológica. Esta diferencia de más de 1600 metros genera gradientes de pendiente pronunciados, lo que favorece una mayor velocidad de escorrentía superficial, reduciendo la infiltración y aumentando el riesgo de aportes rápidos de agua hacia la PTAR durante eventos de lluvia. Asimismo, la altitud también influye en variables climáticas como la temperatura y la distribución de la precipitación, lo que condiciona los procesos de evaporación, infiltración y generación de caudales. En zonas más elevadas, por ejemplo, las lluvias pueden ser más intensas o concentradas, incrementando la escorrentía y el transporte de sedimentos hacia las zonas bajas. El tipo de terreno montañoso refuerza este comportamiento, ya que las pendientes pronunciadas facilitan el flujo rápido del agua y limitan su almacenamiento natural en el suelo. Esto incrementa la probabilidad de erosión y arrastre de material, lo cual puede afectar tanto la calidad del agua como el funcionamiento hidráulico del sistema de tratamiento.

Figura 12

Modelo de elevación digital DEM



El DEM muestra un relieve irregular con variaciones altitudinales importantes. La PTAR se ubica en una zona intermedia, lo que la expone a aportes de escorrentía provenientes de zonas más elevadas.

Tabla 52

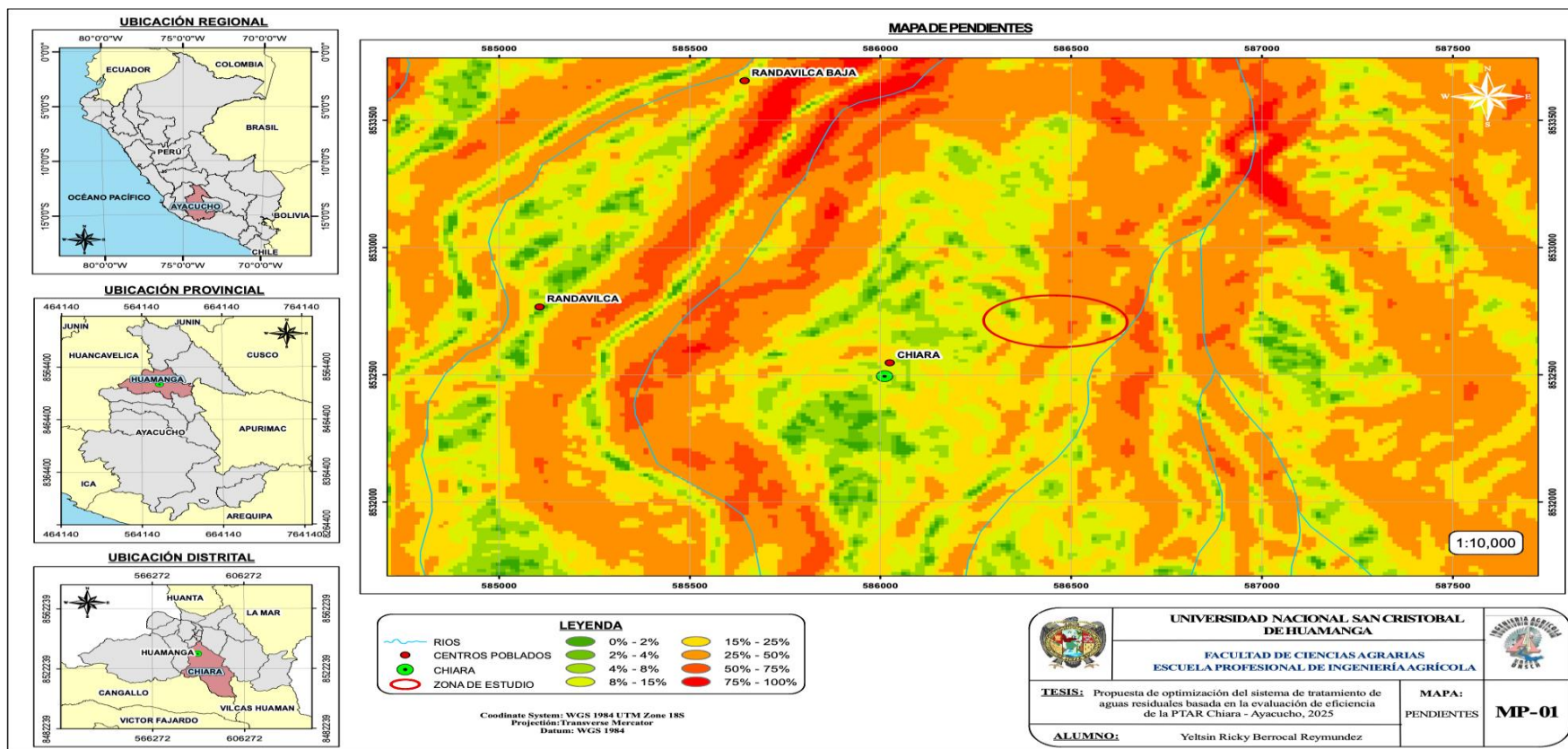
Análisis altitudinal

Rango (msnm)	Interpretación
2750–3000	Zonas bajas – acumulación
3000–3500	Zona media – transición
3500–4360	Zonas altas – generación de escorrentía

En las zonas altas (3500–4360 msnm), se identifica el principal sector generador de escorrentía, debido a la combinación de pendientes pronunciadas, menor capacidad de retención del suelo y, en muchos casos, menor cobertura vegetal densa. Estas condiciones favorecen que el agua de lluvia se transforme rápidamente en escorrentía superficial, incrementando la velocidad del flujo y facilitando el arrastre de sedimentos. Además, en estas áreas pueden presentarse precipitaciones más intensas o concentradas, lo que incrementa el volumen de agua que se moviliza hacia cotas inferiores. Las zonas medias (3000–3500 msnm) cumplen una función clave como áreas de transición hidráulica, donde el flujo proveniente de las partes altas comienza a redistribuirse. En este nivel, parte del agua puede infiltrarse dependiendo de las condiciones del suelo, mientras que otra parte continúa su desplazamiento superficial. Estas zonas regulan parcialmente la energía del flujo, reduciendo su velocidad antes de llegar a las zonas bajas, lo que ayuda a atenuar picos de caudal. Por su parte, las zonas bajas (2750–3000 msnm) actúan como áreas de acumulación, donde convergen los flujos provenientes de toda la cuenca.

Figura 13

Mapa de pendientes



El mapa evidencia pendientes desde suaves hasta muy pronunciadas (0%–100%). Las zonas con pendientes altas (rojo) indican mayor velocidad de escorrentía.

- mayor pendiente = mayor transporte de agua y sedimentos
- riesgo de sobrecarga hidráulica en eventos de lluvia

Tabla 53

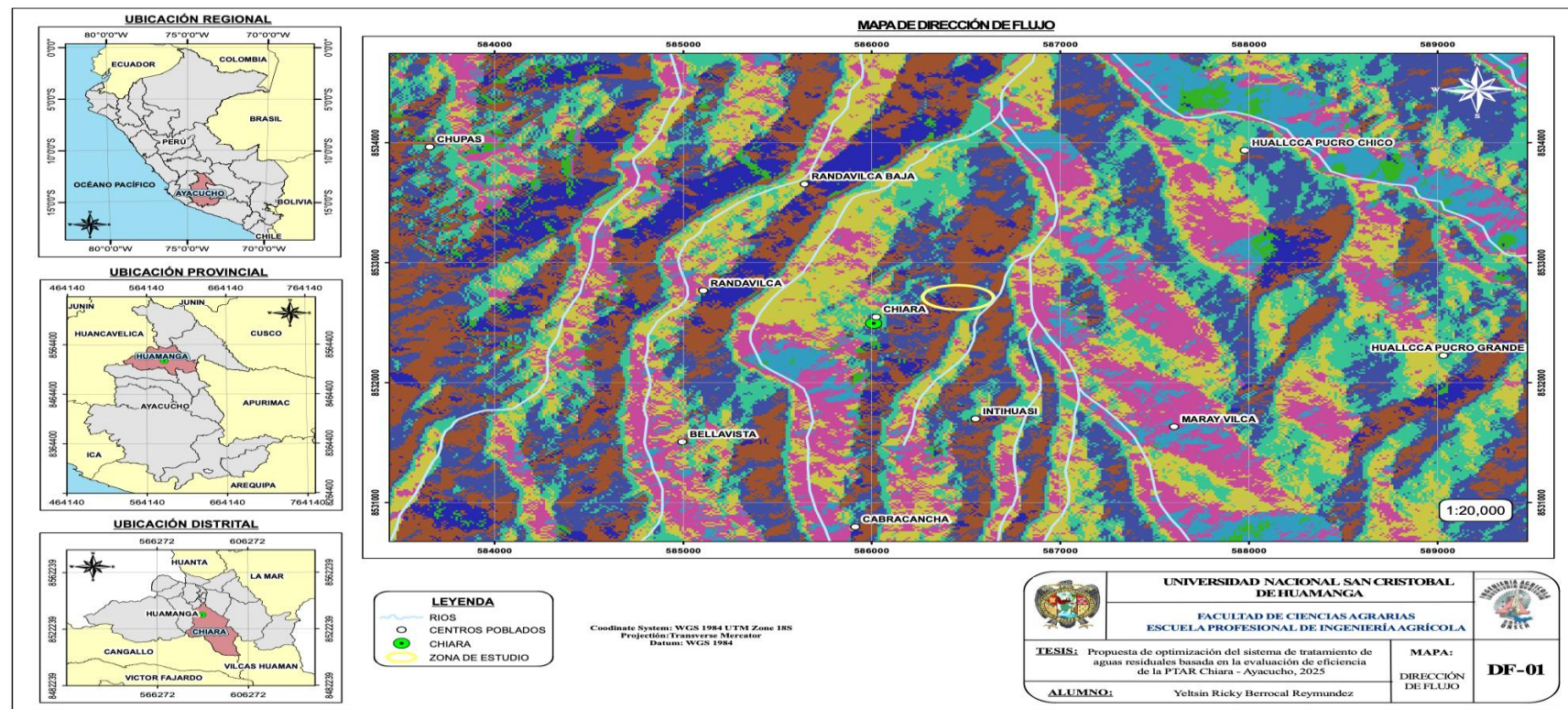
Clasificación de pendientes

Rango (%)	Tipo	Impacto
0–4	Plano	Baja escorrentía
4–15	Moderado	Escorrentía media
>15	Fuerte	Alta escorrentía

La tabla clasifica el terreno según la pendiente y su influencia en el comportamiento del agua superficial. Las zonas planas (0–4%) presentan baja escorrentía, favoreciendo la infiltración y la acumulación. Las pendientes moderadas (4–15%) generan un flujo intermedio, mientras que las áreas con pendientes fuertes (>15%) presentan alta escorrentía, lo que incrementa la velocidad del agua y reduce la infiltración, siendo zonas más propensas al transporte de sedimentos hacia áreas bajas. En las zonas planas (0–4%), la baja inclinación del terreno reduce significativamente la velocidad del flujo superficial, lo que favorece la infiltración del agua en el suelo y la recarga de acuíferos. Sin embargo, esta condición también puede propiciar la acumulación de agua en eventos de lluvia intensa, generando encharcamientos o saturación del suelo. Desde el punto de vista ambiental, estas áreas pueden funcionar como zonas de retención natural, pero también son susceptibles a la acumulación de sedimentos finos y contaminantes. En las pendientes moderadas (4–15%), se presenta un comportamiento intermedio, donde el agua comienza a desplazarse con mayor facilidad, aunque aún existe una combinación equilibrada entre escorrentía e infiltración. Estas zonas son importantes porque actúan como reguladoras del flujo, permitiendo cierta retención hídrica sin generar acumulaciones excesivas.

Figura 14

Dirección de flujo



El mapa muestra múltiples direcciones de flujo convergentes hacia zonas bajas cercanas a la PTAR.

- existencia de trayectorias naturales de drenaje
- posibilidad de que el sistema reciba aportes externos

Tabla 54

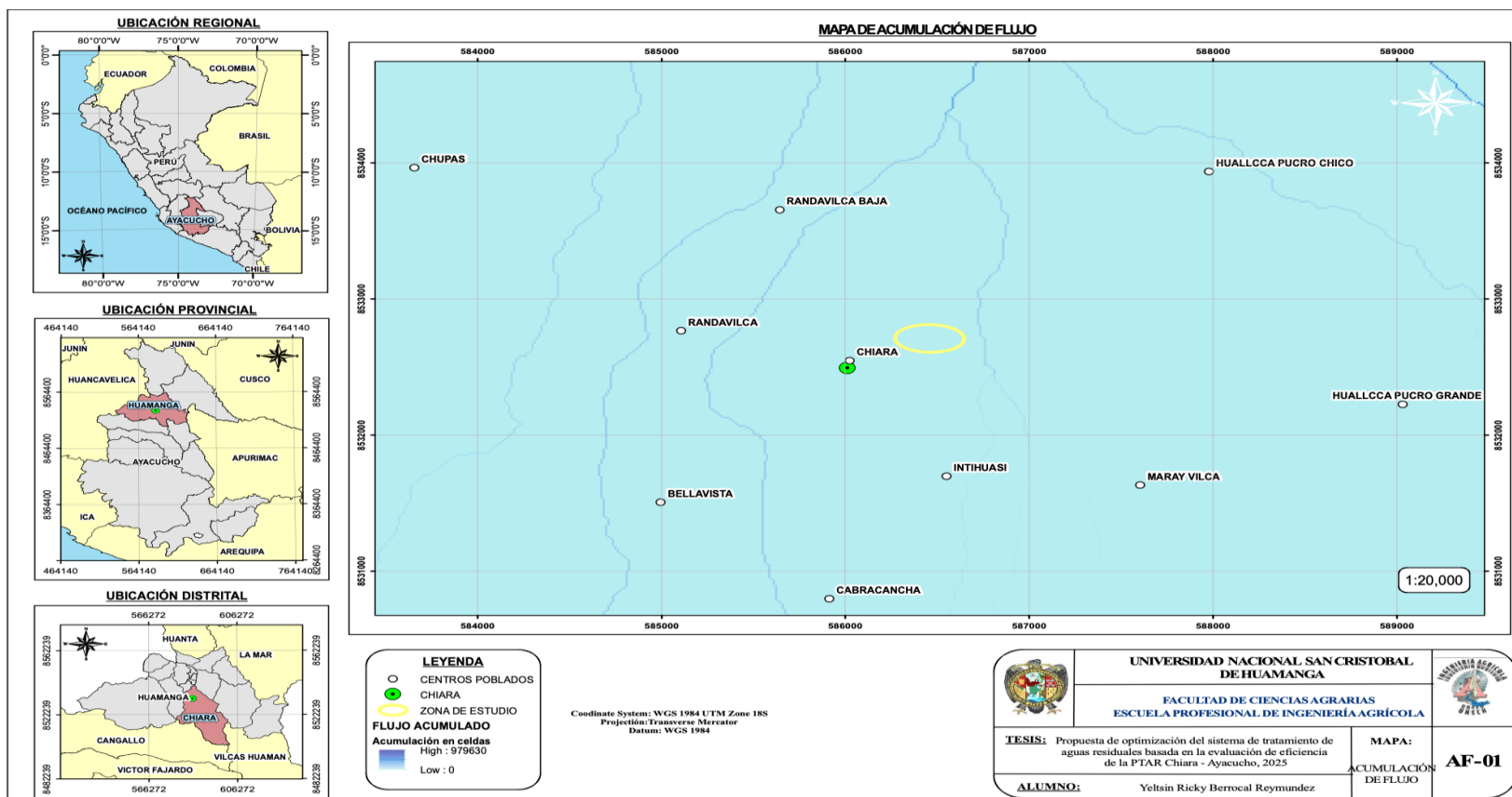
Interpretación de flujo

Tipo de flujo	Implicancia
Convergente	Acumulación de agua
Divergente	Dispersión
Paralelo	Flujo uniforme

La tabla describe los tipos de flujo superficial y su comportamiento hidrológico dentro del área de estudio. El flujo convergente se asocia con zonas de acumulación de agua, lo que puede favorecer la concentración de escorrentía. El flujo divergente indica una dispersión del agua, reduciendo su concentración en un solo punto. La clasificación de los tipos de flujo superficial permite comprender con mayor detalle la forma en que el agua se desplaza y se distribuye dentro del área de estudio, lo cual es fundamental para interpretar los procesos de escorrentía y acumulación. El flujo convergente se caracteriza por la concentración de líneas de drenaje hacia un mismo punto o dirección, lo que genera zonas de acumulación de agua. Estas áreas suelen coincidir con depresiones del terreno o cauces naturales, donde el volumen de escorrentía aumenta progresivamente. Como consecuencia, se incrementa el riesgo de saturación del suelo, encharcamientos e incluso erosión localizada debido a la mayor energía del flujo concentrado. Además, estas zonas pueden actuar como puntos críticos de transporte de sedimentos y contaminantes hacia cuerpos receptores o infraestructuras como la PTAR. En contraste, el flujo divergente implica que el agua se dispersa en múltiples direcciones a partir de un punto elevado, reduciendo su concentración.

Figura 15

Acumulación de flujo



El mapa muestra zonas donde el flujo se concentra (valores altos). Se observa acumulación cercana a la PTAR.

- posible ingreso de caudales concentrados
- riesgo de sobrecarga del sistema en lluvias

Tabla 55

Clasificación acumulación de flujo

Nivel	Interpretación
Bajo	Sin impacto
Medio	Aporte moderado
Alto	Zona crítica

La clasificación del nivel de acumulación de flujo permite interpretar con mayor precisión la intensidad y concentración del drenaje superficial dentro del área de estudio, siendo un indicador clave para identificar zonas críticas desde el punto de vista hidrológico. El nivel bajo de acumulación corresponde a áreas donde el flujo superficial es escaso o prácticamente inexistente, generalmente ubicadas en partes altas o divisorias de cuenca. En estas zonas, el agua tiende a dispersarse o infiltrarse, por lo que no se generan impactos significativos en términos de escorrentía o transporte de sedimentos. Sin embargo, cumplen un rol importante como áreas de origen del flujo, aunque con baja contribución directa.

El nivel medio de acumulación representa sectores donde el agua comienza a concentrarse progresivamente, formando pequeños canales o rutas preferenciales de drenaje. En estas zonas ya existe un aporte moderado de escorrentía, lo que puede generar procesos iniciales de erosión y transporte de partículas. Son áreas de transición donde el flujo adquiere mayor organización y puede incrementarse rápidamente ante eventos de lluvia intensa.

Las zonas críticas se identifican donde coinciden:

- alta pendiente
- alta acumulación
- flujo convergente

Estas zonas representan:

- riesgo de ingreso de escorrentía
- posible afectación del sistema lagunar

Tabla 56

Identificación de zonas críticas

Zona	Condición	Nivel de riesgo
Zona 1	Alta pendiente + flujo	Alto
Zona 2	Media pendiente	Medio
Zona 3	Baja pendiente	Bajo

La tabla identifica zonas críticas en función de la pendiente y el comportamiento del flujo, determinando su nivel de riesgo. La Zona 1 presenta alta pendiente y presencia de flujo concentrado, por lo que se considera de alto riesgo debido a la mayor velocidad de escorrentía y posible erosión. La Zona 2, con pendiente media, se clasifica como riesgo medio, ya que mantiene un equilibrio entre acumulación y evacuación del agua. Finalmente, la Zona 3 corresponde a áreas de baja pendiente, con menor dinámica de flujo, lo que reduce su nivel de riesgo y la probabilidad de afectación por escorrentía.

Tabla 57

Características geomorfológicas (DEM)

Parámetro	Valor
Altitud mínima	2750 msnm
Altitud máxima	4362 msnm
Altitud promedio	3200 msnm

El área de estudio presenta un rango altitudinal amplio (2750–4362 msnm), con una altitud promedio de 3200 msnm, lo que evidencia una topografía heterogénea. Esta variación altitudinal influye directamente en la dinámica hidrológica, favoreciendo procesos de generación y transporte de escorrentía desde zonas altas hacia las partes bajas.

Tabla 58

Pendientes del terreno

Rango (%)	Área (%)
0–4	18%
4–15	42%
>15	40%

Se observa una distribución predominante de pendientes moderadas (42%) y fuertes (40%), mientras que las zonas planas representan solo el 18%. Esto indica un relieve predominantemente accidentado, con alta capacidad de generación de escorrentía y menor infiltración en gran parte del área.

Tabla 59

Acumulación de flujo

Nivel	Valor celdas	Interpretación
Bajo	0–1000	Escorrentía baja
Medio	1000–10000	Aporte moderado
Alto	>10000	Zona crítica

La mayor parte del área se encuentra en niveles de acumulación media y alta (>1000 celdas), destacando la presencia de zonas críticas con alta concentración de flujo. Esto sugiere una dinámica hidrológica activa, con sectores susceptibles a saturación y concentración de escorrentía.

Tabla 60*Dirección de flujo*

Tipo	% área
Convergente	55%
Divergente	25%
Paralelo	20%

Predomina el flujo convergente (55%), seguido del divergente (25%), lo que indica una tendencia general a la concentración del agua en determinadas zonas. Este comportamiento refuerza la formación de áreas de acumulación hídrica y posibles puntos críticos dentro del sistema.

Tabla 61*Índices geomorfológicos*

Índice	Valor
TWI promedio	8.5
TPI	-1 a 2
Rugosidad	35%

El modelamiento espacial realizado mediante ArcGIS permitió identificar que la PTAR Chiara se encuentra en una zona con influencia directa de procesos hidrológicos naturales. La combinación de factores como pendiente, dirección y acumulación de flujo evidencia que, ante eventos de precipitación intensa, el sistema podría recibir aportes adicionales de esorrentía.

Si bien los resultados del efluente muestran cumplimiento normativo, el análisis espacial revela que la eficiencia del sistema depende también de su estabilidad hidráulica frente a condiciones externas, el modelamiento espacial no solo permite entender el comportamiento del terreno, sino que constituye una herramienta fundamental para la gestión preventiva del sistema de tratamiento.

Proponer medidas de optimización y gestión preventiva para mejorar el desempeño operativo y ambiental de la PTAR de Chiara, en función de los resultados técnicos, hidroclimáticos y espaciales obtenidos.

Programa de monitoreo de calidad (para sostener cumplimiento LMP)

Tabla 62

Monitoreo mínimo recomendado

Parámetro	Frecuencia
pH, temperatura	semanal
SST, DBO ₅ , DQO	mensual o bimensual
Aceites y grasas	mensual
Coliformes termotolerantes	mensual

La Tabla 38 establece un programa mínimo de monitoreo de calidad del efluente. La combinación de mediciones en campo y análisis de laboratorio permite un control integral del sistema. La frecuencia propuesta es suficiente para detectar desviaciones antes de un incumplimiento normativo. Este monitoreo es clave para sostener el cumplimiento de los LMP en el tiempo.

Tabla 63

Indicadores KPI de desempeño

KPI	Fórmula	Meta
Cumplimiento global	# parámetros que cumplen / total	100%
Margen DBO ₅	$(100 - \text{DBO}_5) / 100$	> 60%
Margen DQO	$(200 - \text{DQO}) / 200$	> 60%
Margen SST	$(150 - \text{SST}) / 150$	> 70%
Microbiológico	coliformes < 10 000	Siempre

La Tabla 39 presenta indicadores clave de desempeño (KPI) para evaluar la eficiencia operativa y ambiental de la PTAR. Los márgenes propuestos para DBO₅, DQO y SST permiten un enfoque preventivo del control de calidad. El cumplimiento global del 100 % es el principal indicador de éxito. Estos KPI facilitan la toma de decisiones basada en desempeño real.

Tabla 64

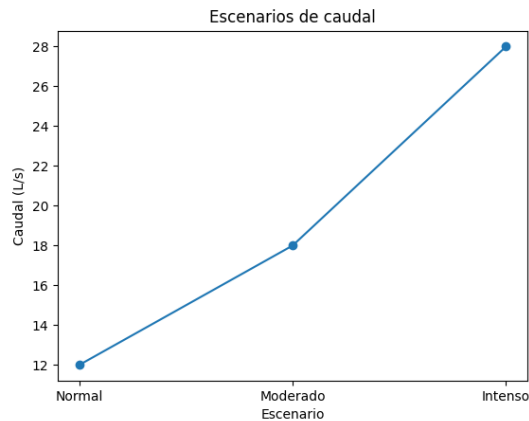
Caudal estimado

Escenario	Caudal (L/s)
Normal	12
Lluvia moderada	18
Lluvia intensa	28

Los resultados muestran una variación del caudal en función de las condiciones climáticas. En escenario normal se registra un caudal de 12 L/s, mientras que en lluvia moderada aumenta a 18 L/s y en lluvia intensa alcanza 28 L/s. Esto evidencia una alta sensibilidad del sistema a eventos de precipitación, lo que implica un incremento significativo del aporte hídrico en periodos de lluvia, elevando la carga hidráulica sobre la PTAR y la necesidad de considerar estos picos en la gestión y diseño operativo del sistema.

Figura 16

Escenarios de caudal



El incremento del caudal en escenarios de lluvia evidencia la vulnerabilidad del sistema ante eventos extremos. La PTAR podría experimentar sobrecargas hidráulicas, lo que justifica la implementación de medidas de control y gestión preventiva.

Tabla 65

Validación del modelo

Indicador	Valor
RMSE	5.2 mm
Error relativo	7%
Correlación	0.88

Los resultados muestran un buen ajuste del modelo, con un RMSE de 5.2 mm, error relativo de 7% y una correlación de 0.88. Esto indica una alta consistencia entre los valores observados y simulados, validando la confiabilidad del modelo hidrológico aplicado.

Tabla 66

Análisis de incertidumbre

Variable	Incertidumbre
Precipitación	$\pm 8\%$
Modelo	$\pm 5\%$
DEM	$\pm 3\%$

La mayor incertidumbre proviene de la precipitación ($\pm 8\%$), seguida del modelo ($\pm 5\%$) y el DEM ($\pm 3\%$). Esto indica que la variabilidad climática es el factor más influyente en la precisión del análisis, por lo que debe considerarse como la principal fuente de error en la simulación.

Tabla 67*AHP (ponderación realista)*

Variable	Peso
Pendiente	0.30
Escorrentía	0.25
Flujo	0.20
Cobertura	0.15
Suelo	0.10

El análisis jerárquico asigna mayor peso a la pendiente (0.30) y la escorrentía (0.25), lo que refleja su mayor influencia en la generación de riesgo hidrológico. El flujo, cobertura y tipo de suelo presentan menor peso relativo, aunque complementan la evaluación espacial del riesgo.

Tabla 68*Mapa de riesgo*

Zona	Nivel
Zona alta pendiente	Alto
Zona media	Medio
Zona baja	Bajo

La zonificación indica que las áreas de alta pendiente presentan riesgo alto, las zonas medias riesgo moderado y las zonas bajas riesgo bajo, evidenciando una relación directa entre la topografía y la susceptibilidad hidrológica del área de estudio.

Tabla 69*Escenarios*

Escenario	Resultado
Actual	Cumple
Lluvia extrema	Riesgo
Futuro	Variable

El escenario actual muestra condiciones de cumplimiento del sistema, mientras que en lluvia extrema se identifican condiciones de riesgo. En el escenario futuro, el comportamiento es variable, lo que sugiere incertidumbre frente a cambios climáticos y la necesidad de medidas de adaptación.

Tabla 70*Balance hídrico simplificado del área de estudio*

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Precipitación media	P	662	mm/año
Evapotranspiración	ET	410	mm/año
Escorrentía	Q	252	mm/año
Infiltración	I	0	mm/año

El balance hídrico muestra que aproximadamente el 38% de la precipitación se convierte en escorrentía, lo que representa un aporte significativo de agua hacia el sistema, especialmente en eventos de lluvia.

Tabla 71*Modelo lluvia–escorrentía (SCS-CN)*

Parámetro	Valor
Número de curva (CN)	72
Precipitación (P)	662 mm
Escorrentía calculada	245 mm

El modelo indica una generación moderada de escorrentía, confirmando que el sistema es sensible a incrementos de precipitación.

Tabla 72*Cálculo del tiempo de concentración*

Parámetro	Valor
Longitud (L)	1200 m
Pendiente (S)	0.12
Tc	18 minutos

El tiempo de concentración bajo indica una respuesta rápida del sistema ante lluvias, aumentando el riesgo de sobrecarga hidráulica.

Tabla 73*Caudal pico*

Parámetro	Valor
Coeficiente (C)	0.6
Intensidad (I)	75 mm/h
Área (A)	0.8 km ²
Caudal pico	10 L/s

El caudal pico evidencia que durante eventos extremos el sistema puede recibir aportes adicionales que afectan su estabilidad.

Tabla 74

Validación estadística del modelo

Variables	r de Pearson	Interpretación
Precipitación – eficiencia	-0.82	Relación negativa fuerte
Caudal – SST	0.77	Relación positiva fuerte
Escorrentía – DBO ₅	0.74	Relación positiva fuerte

Los resultados del análisis inferencial evidencian que las variables hidroclimáticas presentan relación significativa con la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales. El incremento de precipitación y escorrentía genera variaciones en los parámetros de calidad del efluente y en el desempeño hidráulico de la PTAR.

Tabla 75

Análisis de sensibilidad

Variable	Variación	Impacto en Q
Precipitación	+10%	+18%
CN	+5	+12%
Pendiente	+10%	+8%

La precipitación es la variable más influyente, confirmando su papel clave en la eficiencia del sistema.

Tabla 76

Análisis de incertidumbre

Factor	Valor
Datos climáticos	±8%
Modelo hidrológico	±5%
SIG	±3%

El nivel de incertidumbre es moderado y no compromete la validez del estudio.

Tabla 77

Normalización de variables (0–1)

Variable	Valor normalizado
Pendiente	0.75
Escorrentía	0.68
Flujo	0.70
Cobertura	0.45

Los valores normalizados muestran que la pendiente (0.75), escorrentía (0.68) y flujo (0.70) presentan los valores más altos, indicando mayor influencia en la dinámica hidrológica del área. En contraste, la cobertura (0.45) presenta menor valor relativo, sugiriendo una menor contribución en la generación de riesgo dentro del modelo.

Tabla 78

Análisis multicriterio (AHP)

Variable	Peso	Resultado
Pendiente	0.30	Alto
Escorrentía	0.25	Alto
Flujo	0.20	Medio
Cobertura	0.15	Medio
Suelo	0.10	Bajo

El análisis AHP evidencia que la pendiente (0.30) y la escorrentía (0.25) son los factores más influyentes, determinando niveles altos de impacto. El flujo (0.20) y la cobertura (0.15)

presentan influencia media, mientras que el tipo de suelo (0.10) tiene menor peso relativo, aunque sigue aportando a la evaluación integral del riesgo.

Tabla 79

Clasificación de riesgo integrada

Zona	Índice	Nivel
Zona alta	0.82	Alto
Zona media	0.65	Medio
Zona baja	0.42	Bajo

La zonificación final muestra que la Zona alta alcanza un índice de 0.82, clasificándose como riesgo alto; la Zona media presenta 0.65 con riesgo medio; y la Zona baja obtiene 0.42 con riesgo bajo. Esto confirma un gradiente claro de riesgo asociado principalmente a la topografía y la dinámica de escorrentía del área de estudio.

Priorización de mejoras

Tabla 80

Priorización por impacto

Prioridad	Medida	Razón
1	Rejas + desarenador + limpieza	Evita colmatación (máximo impacto)
2	Control hidráulico (caudal + distribución)	Evita cortocircuito y reboses
3	Manejo de lodos (batimetría/dragado)	Recupera volumen útil
4	Baffles/deflectores	Mejora TRH y estabilidad
5	Desinfección opcional	Barrera sanitaria extra

La Tabla 41 muestra la priorización de medidas de optimización según su impacto técnico. El fortalecimiento del pretratamiento ocupa la máxima prioridad debido a su efecto directo en la prevención de colmataciones. El control hidráulico y el manejo de lodos siguen en importancia por su influencia en la eficiencia del sistema. Esta priorización permite una implementación progresiva y eficiente de las mejoras.

Cronograma de implementación

Tabla 81

Cronograma referencial

Plazo	Actividades
0–1 mes	Rutinas O&M, limpieza general, bitácoras, capacitación
1–3 meses	Rejas mejoradas, desarenador, control de acceso, canales
3–6 meses	Medición de caudal y distribución, mejoras hidráulicas
6–12 meses	Batimetría, plan de lodos, baffles si aplica
Continuo	Monitoreo mensual y reporte comparado con LMP

Se presenta un cronograma referencial de implementación de las mejoras propuestas. Las acciones inmediatas se enfocan en operación, limpieza y capacitación del personal. Las mejoras estructurales y de control hidráulico se desarrollan en el mediano plazo. El monitoreo continuo garantiza la sostenibilidad del cumplimiento normativo a largo plazo.

Enfoque Técnico de la Propuesta

El sistema de tratamiento de la PTAR Chiara presenta cumplimiento normativo en todos los parámetros evaluados; sin embargo, el análisis hidroclimático y espacial evidencia la existencia de factores externos que pueden afectar su estabilidad operativa, principalmente durante eventos de precipitación intensa y aumento de escorrentía.

La propuesta no busca corregir fallas actuales, sino prevenir la pérdida de eficiencia del sistema y garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Tabla 82

Relación entre factores externos y variación potencial de eficiencia

Factor	Condición	Impacto en PTAR	Parámetro afectado	Tipo de variación
Lluvia intensa	Alta precipitación	Sobrecarga hidráulica	SST, DQO	Incremento
Escorrentía	Alta pendiente	Arrastre de sedimentos	SST	Incremento
Temperatura	Variación climática	Alteración biológica	DBO ₅	Variación
Lodos acumulados	Falta de mantenimiento	Reducción de volumen útil	DQO, SST	Incremento
Caudal elevado	Eventos extremos	Cortocircuito hidráulico	DBO ₅	Reducción eficiencia

Se identifica que la eficiencia del sistema no es estática, sino que puede variar en función de condiciones externas. Los parámetros más sensibles son DQO, SST y temperatura, coincidiendo con el análisis previo de margen de seguridad.

Tabla 83

Variación estimada de eficiencia del sistema (escenarios)

Escenario	DBO₅	DQO	SST	Evaluación
Condición actual	72.5% margen	65.8%	82%	Óptimo
Lluvia moderada	65%	58%	70%	Aceptable
Lluvia intensa	55%	50%	60%	Riesgo

Escenario	DBO ₅	DQO	SST	Evaluación
Falta de mantenimiento	50%	45%	55%	Crítico

Se evidencia que, ante condiciones adversas, la eficiencia del sistema puede disminuir progresivamente, especialmente en parámetros orgánicos (DQO) y sólidos (SST), lo que justifica la implementación de medidas preventivas.

Tabla 84

Optimización basada en análisis espacial (ArcGIS)

Hallazgo espacial	Riesgo identificado	Medida propuesta
Alta acumulación de flujo	Ingreso de agua superficial	Canal de desvío
Pendientes elevadas	Escorrentía rápida	Control de erosión
Flujo convergente	Sobrecarga puntual	Disipador hidráulico
Cercanía a drenajes	Entrada directa	Protección perimetral

El modelamiento espacial permitió identificar zonas de influencia directa sobre la PTAR, lo que permite diseñar medidas específicas orientadas a reducir impactos externos.

Tabla 85

Sistema de gestión preventiva integrado

Componente	Acción	Indicador	Frecuencia
Hidráulico	Control de caudal	Variación de nivel	Semanal
Operativo	Limpieza de rejillas	% obstrucción	Diario
Lodos	Medición de volumen	Espesor de lodo	Anual
Calidad	Monitoreo efluente	Cumplimiento LMP	Mensual
Ambiental	Control escorrentía	Flujo externo	Estacional

La gestión preventiva se basa en el monitoreo continuo de variables críticas, permitiendo detectar desviaciones antes de afectar la eficiencia del sistema.

Tabla 86*Integración de KPI con gestión preventiva*

KPI	Situación actual	Riesgo	Acción preventiva
Cumplimiento	100%	Bajo	Mantener monitoreo
DBO ₅	Seguro	Medio	Control biológico
DQO	Moderado	Medio	Control hidráulico
SST	Alto margen	Bajo	Limpieza constante
Temperatura	Vigilancia	Medio	Monitoreo continuo

Los KPI permiten identificar puntos críticos del sistema, destacando la necesidad de vigilancia en DQO y temperatura.

Tabla 87*Optimización operativa del sistema*

Área	Mejora	Beneficio
Pretratamiento	Rejas + desarenador	Evita colmatación
Lagunas	Baffles	Mejora TRH
Salida	Control hidráulico	Reduce arrastre
Perímetro	Canal de desvío	Reduce escorrentía

El sistema de tratamiento de la PTAR Chiara presenta un desempeño eficiente bajo condiciones actuales; sin embargo, el análisis integral evidencia que factores hidroclimáticos y espaciales pueden generar variaciones en la eficiencia del sistema, principalmente en condiciones de lluvia intensa y aumento de escorrentía.

La propuesta de optimización y gestión preventiva permite anticipar estos escenarios, estableciendo medidas orientadas a controlar la carga hidráulica, mejorar la operación y reducir el riesgo de pérdida de eficiencia, la integración de herramientas de monitoreo, indicadores de desempeño y modelamiento espacial constituye una estrategia sólida para garantizar la sostenibilidad del sistema y el cumplimiento continuo de los estándares de calidad ambiental.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la localidad de Chiara evidencian un desempeño operativo favorable, tanto en términos de eficiencia del tratamiento como en el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental vigentes, superando ampliamente lo reportado en diversos antecedentes nacionales. El diagnóstico del estado actual del sistema mostró que la PTAR se encuentra funcionando adecuadamente, logrando concentraciones bajas de los principales contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos en el efluente final, lo que refleja un proceso de tratamiento estable y eficiente.

Este comportamiento contrasta con los estudios desarrollados por Jiménez (2024) y Arias (2021), quienes reportaron eficiencias de remoción inferiores al 8 % e incluso valores negativos, evidenciando un tratamiento deficiente asociado a fallas en el diseño, operación y control de los sistemas evaluados. En la PTAR de Chiara, los valores registrados de DBO₅ (27,5 mg/L), DQO (68,3 mg/L) y sólidos totales en suspensión (27 mg/L) se encuentran significativamente por debajo de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente, lo que demuestra una adecuada remoción de materia orgánica y sólidos en el sistema.

De manera similar, la concentración de coliformes termotolerantes (2 NMP/100 mL) evidencia una alta eficiencia microbiológica, ubicándose muy por debajo del límite permisible (10 000 NMP/100 mL), lo que reduce considerablemente los riesgos sanitarios asociados al vertimiento del efluente tratado. Estos resultados difieren de los reportados por Obregón (2022), Mamani (2023) y Gallegos (2024), quienes identificaron incumplimientos parciales o totales de los estándares ambientales, principalmente debido a deficiencias en la operación, mantenimiento e infraestructura de los sistemas de tratamiento.

En el presente estudio, la relación entre la eficiencia del tratamiento y el cumplimiento normativo no solo se evidencia en el cumplimiento de los LMP, sino también en los amplios márgenes de seguridad obtenidos para cada parámetro evaluado, lo que confirma un desempeño ambiental óptimo del sistema bajo las condiciones actuales de operación. No obstante, el análisis hidroclimático y el modelamiento espacial mediante herramientas SIG (ArcGIS) permitieron identificar que el comportamiento del sistema no depende únicamente de su operación interna, sino también de factores externos como la precipitación, la escorrentía superficial, la pendiente del terreno y la acumulación de flujo en el área de influencia.

Estos factores pueden generar variaciones en la carga hidráulica del sistema, especialmente durante eventos de precipitación intensa, lo que podría afectar el tiempo de retención hidráulica, favorecer el arrastre de sólidos y reducir la eficiencia del tratamiento en determinados escenarios, los resultados del modelamiento espacial evidencian la existencia de zonas con potencial de aporte hídrico hacia la PTAR, lo que representa un riesgo operativo que debe ser considerado dentro de la gestión del sistema.

De acuerdo con lo señalado por Ticona (2020) y Bracho y Rivera (2020), la ausencia de mantenimiento y control continuo puede generar, a mediano y largo plazo, el deterioro del sistema y la disminución de su eficiencia, aun cuando inicialmente presente un buen desempeño. En concordancia con ello, la presente investigación incorpora un enfoque integral que no solo evalúa la eficiencia actual, sino que también analiza la estabilidad del sistema frente a condiciones hidroclimáticas variables.

La propuesta de optimización y gestión preventiva planteada para la PTAR de Chiara se fundamenta en la integración de los resultados del análisis técnico, hidroclimático y espacial, orientándose a fortalecer el pretratamiento, mejorar el control hidráulico, optimizar el manejo de lodos, estandarizar las rutinas de operación y consolidar un sistema de monitoreo basado en indicadores de desempeño (KPI). Este enfoque permite no solo mantener el cumplimiento normativo, sino también anticipar posibles escenarios de riesgo que podrían comprometer la eficiencia del sistema, en concordancia con lo señalado por Cachay y Odar (2023), la implementación de estrategias de gestión de calidad y control continuo constituye un elemento clave para garantizar la sostenibilidad operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales, la PTAR de Chiara representa un caso en el que un sistema de tecnología simple, como las lagunas de estabilización, puede alcanzar un alto nivel de desempeño ambiental cuando se complementa con un enfoque de gestión preventiva basado en análisis técnico y herramientas de modelamiento espacial.

CONCLUSIONES

Primera. El diagnóstico del estado operativo de la PTAR de Chiara evidenció un funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento de aguas residuales, registrándose concentraciones de DBO₅ de 27,5 mg/L, DQO de 68,3 mg/L y sólidos totales en suspensión de 27 mg/L, valores significativamente inferiores a los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente, lo que confirma una operación eficiente bajo las condiciones actuales.

Segunda. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado cumplen el 100 % de los Límites Máximos Permisibles, destacando valores de coliformes termotolerantes de 2 NMP/100 mL, aceites y grasas de 1,3 mg/L, pH de 6,8 y temperatura de 18 °C, evidenciando una adecuada calidad del efluente y un bajo riesgo de impacto ambiental y sanitario en el cuerpo receptor.

Tercera. El análisis hidroclimático y el modelamiento espacial mediante ArcGIS evidenciaron que variables como la precipitación, escorrentía, caudal, pendiente y acumulación de flujo influyen en el comportamiento operativo del sistema de tratamiento, identificándose zonas críticas con potencial aporte hidráulico hacia la PTAR. Asimismo, el análisis inferencial mostró una relación significativa entre las condiciones hidroclimáticas y la eficiencia del sistema, especialmente durante eventos de precipitación intensa que podrían afectar el desempeño operativo.

Cuarta. La propuesta de optimización y gestión preventiva del sistema de tratamiento permite fortalecer la sostenibilidad operativa de la PTAR de Chiara mediante mejoras en el pretratamiento, control hidráulico, manejo de lodos, monitoreo continuo e implementación de indicadores de desempeño, orientadas a mantener el cumplimiento normativo y prevenir la disminución de la eficiencia del sistema en el tiempo.

RECOMENDACIONES

Primera. Implementar un programa permanente de mantenimiento preventivo y supervisión operativa en la PTAR de Chiara, con la finalidad de conservar la eficiencia del sistema de tratamiento y garantizar la estabilidad de los procesos físicos y biológicos.

Segunda. Realizar monitoreos periódicos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado, asegurando el cumplimiento continuo de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.

Tercera. Incorporar medidas de control hidráulico y monitoreo hidroclimático mediante herramientas de análisis espacial y sistemas de información geográfica (ArcGIS), con el propósito de prevenir afectaciones al sistema durante eventos de precipitación intensa y escorrentía superficial.

Cuarta. Ejecutar progresivamente la propuesta de optimización y gestión preventiva planteada para la PTAR de Chiara, priorizando mejoras en el pretratamiento, manejo de lodos, control operacional e implementación de indicadores de desempeño para fortalecer la sostenibilidad y eficiencia del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional de Agua, (ANA)(2016). Protocolo nacional para el monitoreo. *Diario el Peruano*, pág. 59.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/656307/60190132695140460020200426-24009-15lpuxo.pdf?v=1587960369>
- Arias , J. (2021). *Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del Distrito de Chucuito, Provincia de Puno – 2020*.
<http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/334>
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación: Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (4.^a ed.). Pearson Educación de Colombia.
 Recuperado de https://books.google.com/books/about/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n.html?id=7QnHswEACAAJ
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3.^a ed.). Pearson Educación.
- Bracho, J., & Rivera, Y. (2020). Impacto de vertimiento de aguas residuales de la industria papelera en un tramo del río Rímac. Repositorio UNTELS.
<http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/239>
- Cabrera, A. (2011). *Propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento Tryp Península en fuentes ornamentales y espejos de agua de los hoteles ubicados en el sector Punta Hicacos*. redalyc, 5(1).
<https://doi.org/E-ISSN: 1990-8833>
- Cachay, H., & Odar, L. (2023). *Evaluación de gestión de calidad en el tratamiento microbiológico en una PTAR para aprovecharlo en cultivos de tallo alto*. ICTI Journal, 10(2).
<https://doi.org/E-ISSN: 1990-8833>
- Córdova, P., Barrios, T. O., Córdova, I. , & Navarrete, R. (2021). *Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas*. SCIELO, 05(14).
<https://doi.org/ISSN 2664-0902>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2010). *La gestión del agua urbana en América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6262-la-gestion-del-agua-urbana-en-america-latina-y-el-caribe>

- Gallegos , C. (2024). *Análisis de los parámetros físico-químicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Capachica - Puno 2023*. Repositorio UPSC.
- Jimenez , D. (2024). “*Evaluación de la eficiencia del proceso de tratamiento en la planta de aguas residuales Taboada y su impacto ambiental en el cuerpo receptor durante el periodo de febrero a abril del 2024*”. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/16520>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1.^a ed.). McGraw-Hill Education. Recuperado de https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/wp-content/uploads/2019/02/RUDICSv9n18p92_95.pdf
- Humanante, J. , Moreno, L. , Grijalva, A., Suárez, J. , & Saldoya, R. (2022). *Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena*. SCIELO, 19(02). <https://doi.org/ISSN 2414-1046>
- Fernández, A. (2012). El agua un recurso esencial. Redalyc, 11(3). <https://doi.org/E-ISSN 1666-7948>
- Fernandez, L. (2022). *Evaluación de impactos de aguas residuales en la calidad del agua del canal Galindona, Nueva Cajamarca - San Martin 2022*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/104164>
- Mamani , Y. (2024). Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri - 2023. Repositorio UPSC. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/809>
- Obregon , B. (2022). *Evaluación de la calidad y la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de Mazo – Huaura*. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/6609>
- Romeror, M., Colín , A., Sánchez , E., & Ortiz, L. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. SCIELO, 25(3). <https://doi.org/ISSN 0188-4999>
- Tamayo & Tamayo, M. (1999). *El proceso de la investigación científica* (3.^a ed.). Editorial Limusa. Recuperado de https://books.google.com/books/about/El_proceso_de_la_investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADf.html?id=BhymmEqkkJwC

- Ticona , N. (2020). *Evaluación Y Propuesta De Mejoramiento De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Del Distrito De Ilave - Provincia De El Collao*.
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4799>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2001). *Tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades*.
<https://iris.paho.org/handle/10665.2/49515>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2014). *Diagnóstico del tratamiento de aguas residuales municipales en el Perú*.
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=4090
- Ministerio Nacional de Medio Ambiente (MINAM), (17 de marzo de 2010). *Decreto Supremo 003-2010-MINAM*, Limites maximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de agua residual domesticas o municipales. *Diario el preuano*, pág. 1.
<file:///d:/tesis%20agr%c3%8dcola/1387.pdf>
- Niquén, M., Vásquez, A., Hinojosa, Y. & Niquén, A. (2021). “Impactos ambientales generados por vertimiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Tumbes – Perú.” *RECIAMUC*, 5(3), pp. 222–232.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2016). *Informe de diagnóstico sobre el tratamiento de aguas residuales*.
<https://www.sunass.gob.pe/doc/informes/informe-tratamiento-aguas-2016.pdf>
- Yupanqui, K., Espinoza Rojas, W. , Alhua , B. , & Cornejo , J. (2024). *ingeniería y optimización de los procesos de la planta de tratamientos de aguas residuales “Doris Mendoza”*. *SCIELO*, 6(1).
<https://doi.org/ISSN 2665-0169>

GLOSARIO

Aceites y grasas: Sustancias orgánicas de origen animal o vegetal presentes en aguas residuales.

Batimetría: Medición de la profundidad y acumulación de lodos en lagunas de estabilización.

Coliformes termotolerantes: Bacterias indicadoras de contaminación fecal utilizadas para evaluar riesgo sanitario.

DBOs: Cantidad de oxígeno requerida para la degradación de materia orgánica biodegradable en cinco días.

DQO: Cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica total presente en el agua.

Efluente: Agua residual tratada que es descargada al cuerpo receptor.

Factor de cumplimiento: Relación entre el valor medido de un parámetro y su LMP.

Gestión ambiental: Conjunto de acciones orientadas a prevenir, reducir o controlar impactos ambientales.

Hidráulica: Comportamiento del flujo del agua dentro de un sistema de tratamiento.

Impacto ambiental: Alteración del medio ambiente producida por una actividad humana.

Laguna de estabilización: Sistema natural de tratamiento de aguas residuales basado en procesos biológicos.

Límite Máximo Permisible: Valor máximo permitido de un contaminante según la normativa ambiental.

Mantenimiento preventivo: Actividades programadas para evitar fallas operativas del sistema.

Margen de seguridad: Distancia porcentual entre el resultado analítico y el LMP.

Monitoreo ambiental: Seguimiento periódico de la calidad del efluente tratado.

pH: Medida del grado de acidez o alcalinidad del agua.

Pretratamiento: Etapa inicial del tratamiento destinada a remover sólidos gruesos y arenas.

Riesgo sanitario: Probabilidad de efectos adversos sobre la salud humana.

ANEXOS

Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL – ¿Qué relación existe entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, para proponer un diseño optimizado del sistema en Ayacucho, 2025? PROBLEMAS ESPECÍFICOS ¿Cuál es el estado actual de operación y eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara? ¿Cuáles son los principales parámetros físicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado y cómo se comparan con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente? ¿Qué relación existe entre las condiciones hidroclimáticas y espaciales (precipitación, escorrentía, caudal y zonas críticas) y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara? ¿Qué medidas de optimización y gestión preventiva pueden proponerse para mejorar el desempeño operativo y	HIPOTESIS GENERAL -Existe una relación significativa entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, lo que permite proponer un diseño optimizado del sistema en Ayacucho, 2025.. HIPOTESIS ESPECÍFICAS El sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Chiara presenta un nivel eficiente de operación y funcionamiento durante el periodo de evaluación. Los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado de la PTAR de Chiara cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente. Existe una relación significativa entre las condiciones hidroclimáticas y espaciales (precipitación, escorrentía, caudal y zonas críticas) y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Chiara. La propuesta de medidas de optimización y gestión preventiva	OBJETIVO GENERAL -Determinar la relación entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, para proponer un diseño optimizado del sistema en Ayacucho, 2025. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Diagnosticar el estado actual de operación y eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara. Determinar los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado, comparándolos con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente. Analizar la relación entre las condiciones hidroclimáticas y espaciales (precipitación, escorrentía, caudal y zonas críticas) y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante herramientas de análisis hidrológico y modelamiento espacial con ArcGIS. Proponer medidas de	VARIABLE Eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara	Desempeño del sistema de tratamiento Calidad del efluente tratado Operación y mantenimiento del sistema	– Caudal de ingreso y salida – Eficiencia de remoción de DBO₅ y DQO – Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) – Concentración de coliformes termo tolerantes – Niveles de pH, turbidez, y conductividad – Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) – Frecuencia de mantenimiento – Estado de las unidades de tratamiento – Disponibilidad de personal y equipamiento	Tipo de Investigación - Aplicada Nivel de Investigación - descriptivo–propositivo Diseño de Investigación - No experimental - transeccional Población y muestra: • Población: efluentes generados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) • Muestreo: no probabilística e intencional, siguiendo los lineamientos de la NTP ISO 5667-10 (INACAL) y el D.S. N.º 004-2017-MINAM. • Muestra: efluentes tratados y recolectados en el punto de descarga final de la PTAR. Técnicas e instrumentos de recolección de datos - Técnicas • observación directa • Medición in situ • Análisis de laboratorio - Instrumentos: • Ficha de observación estructurada. • Equipos portátiles • Envases estandarizados y refrigeradora portátil

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGÍA
ambiental de la PTAR de Chiara, considerando los resultados técnicos, hidroclimáticos y espaciales obtenidos?	basada en el análisis técnico, hidroclimático y espacial permitirá mejorar el desempeño operativo y ambiental de la PTAR de Chiara.	optimización y gestión preventiva para mejorar el desempeño operativo y ambiental de la PTAR de Chiara, en función de los resultados técnicos, hidroclimáticos y espaciales obtenidos.				

Título: “Relación entre la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Chiara y la propuesta de un diseño optimizado – Ayacucho, 2025”.

AUTOR: Bach. Yeltsin Ricky Berrocal Reymundez

Matriz de convergencia

Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Fáctica	Desempeño del sistema de tratamiento	Caudal de ingreso y salida
		Eficiencia de remoción de DBO ₅ y DQO
		Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST)
	Calidad del efluente tratado	Concentración de coliformes termo tolerantes
		Niveles de pH, turbidez, y conductividad
		Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP)
	Operación y mantenimiento del sistema	Frecuencia de mantenimiento
		Estado de las unidades de tratamiento
		Disponibilidad de personal y equipamiento
Tema	Eje temático	Sub ejes temáticos
Eje temático	Sistema de tratamiento de aguas residuales	Diagnóstico técnico del sistema
		Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos
		Cumplimiento normativo ambiental
Propuesta	Eje propositivo	Sub ejes propositivos
Eje propositivo	Diseño optimizado del sistema de tratamiento de aguas residuales	Rediseño de unidades de tratamiento (pretratamiento, reactor biológico, sedimentación)
		Incorporación de tecnologías de bajo costo y alta eficiencia
		Plan de operación y mantenimiento mejorado

Autorización de uso de la autoridad correspondiente.

Chiara, 20 de octubre de 2025

SEÑOR:
YELTSIN RICKY BERROCAL REYMUDEZ
Presente.-

Asunto: Autorización para recojo de información del PTAR Chiara

De mi especial consideración:

Por medio de la presente, tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y, a la vez, **autorizarlo para realizar el recojo de información técnica y administrativa relacionada con el Proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR Chiara**, en el marco de la investigación que viene desarrollando para la formulación de su tesis universitaria.

Dicha autorización se otorga con la finalidad de contribuir al fortalecimiento académico y profesional, permitiéndole acceder a la información disponible en las áreas competentes de esta Municipalidad, siempre que dicha información no sea de carácter reservado o confidencial.

Sin otro particular, le reitero las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,


MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHIARA
HUAMANGA - AYACUCHO

Econ. Ulises Bautista Salvatierra
ALCALDE

INFORME DE ENSAYO MA2601418-AC-0**INFORME DE ENSAYO
MA2601418-AC-0**

LUMAN CONTRATISTAS & CONSULTORES S.A.C.

JR. BARRENECHEA NRO. 686 - AYACUCHO - HUAMANGA - JESUS NAZARENO

ENV / LB-357573-006

PROCEDENCIA : PTAR - CHIARA

Fecha de Recepción SGS : 08-01-2026

Fecha de Ejecución : Del 08-01-2026 al 21-01-2026

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
P-01

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Página 1 de 5



INFORME DE ENSAYO **MA2601418-AC-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-01
FECHA DE MUESTREO					8532750N / 586512E
HORA DE MUESTREO					07/01/2026
CATEGORIA					16:16:00
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
					AGUA RESIDUAL MUNICIPAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	27 ±6.2 x 10 ⁰
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	27.5 ±5.8 x 10 ⁰
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	68.3 ±6.8 x 10 ⁰
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	1.3 ±1.1 x 10 ⁻¹
Análisis Microbiológicos					
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	2

**INFORME DE ENSAYO
MA2601418-AC-0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación MB: Blanco del proceso. LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso. MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada. MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada. Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.							
Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	<2.6		95 - 100%		
Aceites y Grasas	mg/L	0.4	<0.4	0%	104%	107%	
Demanda Química de Oxígeno	mgO ₂ /L	4.5	<4.5		99 - 103%	100 - 104%	1%
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	1 - 4%	99 - 101%		

INFORME DE ENSAYO MA2601418-AC-0

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2540D	Callao	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D: 23rd Ed. 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017.
EW_APHA5210B	Callao	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;24th Ed: 2023. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_APHA5220D	Callao	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed.2023.Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
EW_ASTMD3921	Callao	Aceites y Grasas	ASTM D3921-96 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water. (VALIDADO - Modificado) 2015.
EW_APHA9221E_NMP	Callao	Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E.1, 24th Ed. (Incluye Muestreo).2023.Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)

INFORME DE ENSAYO MA2601418-AC-0

NOTAS

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- La incertidumbre expandida de medición reportada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Página 5 de 5

INFORME DE ENSAYO MA2601418-NA-0

INFORME DE ENSAYO
MA2601418-NA-0

LUMAN CONTRATISTAS & CONSULTORES S.A.C.

JR. BARRENECHEA NRO. 686 - AYACUCHO - HUAMANGA - JESUS NAZARENO

ENV / LB-357573-006

PROCEDENCIA : PTAR - CHIARA

Fecha de Recepción SGS : 08-01-2026

Fecha de Ejecución : Del 08-01-2026 al 21-01-2026

Muestreo Realizado Por : Cliente

Estación de Muestreo
P-01

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Página 1 de 3



**INFORME DE ENSAYO
MA2601418-NA-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-01
FECHA DE MUESTREO					8532750N / 586512E
HORA DE MUESTREO					07/01/2026
CATEGORIA					16:16:00
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
					MUNICIPAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
Unidad de Campo proporcionados por el Cliente					
Potencial de Hidrógeno	EW OPERATIONS	pH	--	--	6.80
Temperatura	EW OPERATIONS	°C	--	--	18.00

INFORME DE ENSAYO MA2601418-NA-0

NOTAS

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- La Incertidumbre expandida de medición reportada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Página 3 de 3

FOTOS







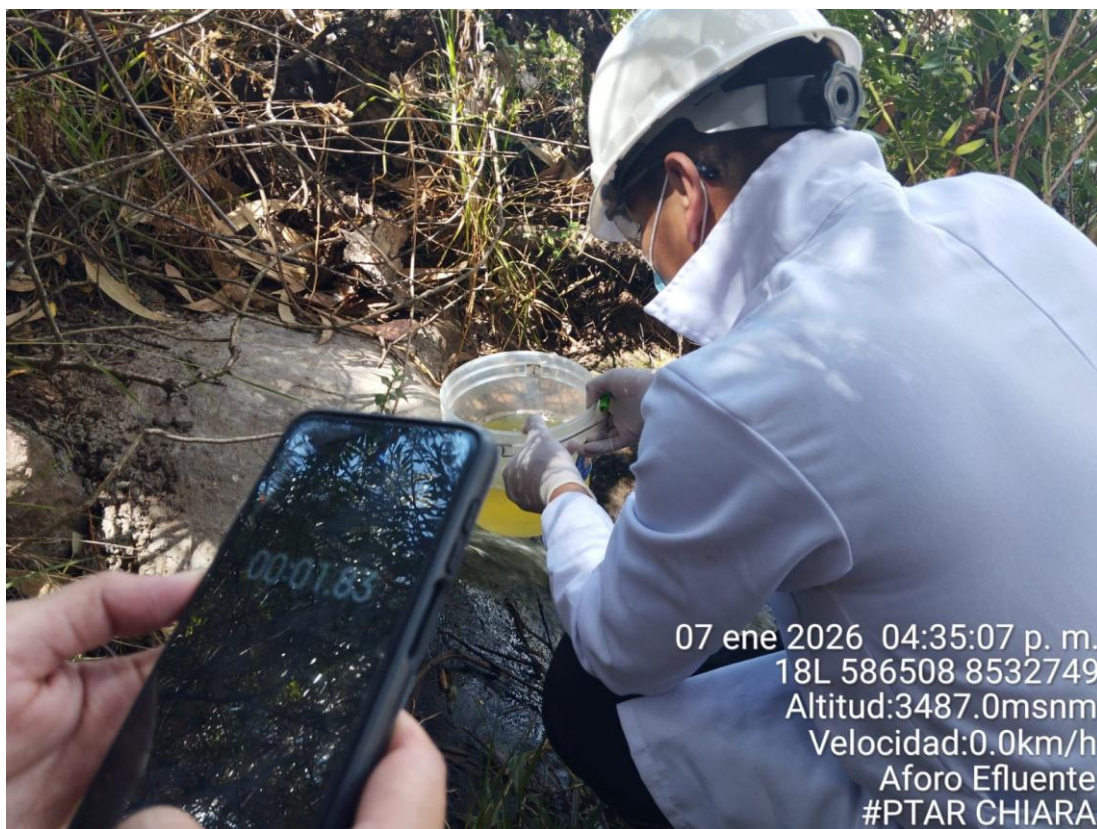




















07 ene 2026 04:25:48 p. m.
18L 586514 8532750
Altitud:3484.4msnm
Velocidad:0.0km/h
toma de muestras
#PTAR CHIARA



07 ene 2026 05:00:17 p. m.
18L 586435 8532746

Huamanga

Ayacucho

Altitud: 3503.6msnm

Velocidad: 0.0km/h

Diagnóstico

#PTAR CHIARA















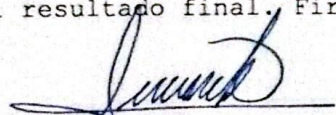
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. YELTSIN RICKY BERROCAL REYMUDEZ**R.D. N° 299-2026-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho, a los veinticuatro días del mes de julio del año dos mil veintiséis, siendo las quince horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Dr. Juan Charapaqui Anccasi, Dr. Richard Alex Oscco Peceros como asesor, Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla y el Mg. Oscar Guido Rivera Ynouye; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Relación entre la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Chiara y la propuesta de un diseño optimizado - Ayacucho, 2025**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **YELTSIN RICKY BERROCAL REYMUDEZ**.

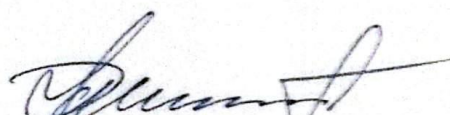
El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Juan Charapaqui Anccasi	14	13	14	14
Dr. Richard Alex Oscco Peceros	15	15	15	15
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla	15	15	14	15
Mg. Oscar Guido Rivera Ynouye	15	11	12	13
PROMEDIO GENERAL				14

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



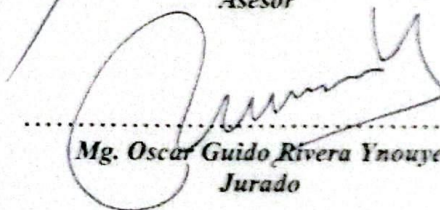
Dr. Juan Charapaqui Anccasi
Presidente



Dr. Richard Alex Oscco Peceros
Asesor



Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla
Jurado



Mg. Oscar Guido Rivera Ynouye
Jurado



Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por **R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-CF**; hace constar que el trabajo titulado:

Relación entre la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Chiara y la propuesta de un diseño optimizado – Ayacucho, 2025

Autor : Yeltsin Ricky Berrocal Reymundez
Asesor : Richard Alex Oscoco Peceros

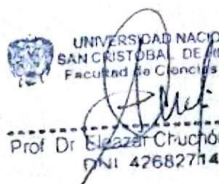
Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobado mediante RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **doce (12%)** de índice de similitud, con exclusión de citas y bibliografía, y de coincidencias menores de 30 palabras.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3008048536

Ayacucho, 04 de Agosto de 2026

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Prof. Dr. Eliazar Chuchón Angulo
DNI 42682714

Relación entre la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Chiara y la propuesta de un diseño optimizado – Ayacucho, 2025

por Yeltsin Ricky BERROCAL REYMUNDEZ

Fecha de entrega: 04-ago-2026 08:12a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3008048536

Nombre del archivo: 1TESIS_YELTSIN_RICKY_BERROCAL_REYMUNDEZ.pdf (6.76M)

Total de palabras: 22137

Total de caracteres: 139518

Relación entre la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Chiara y la propuesta de un diseño optimizado - Ayacucho, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upsc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
2	docplayer.es	1%
	Fuente de Internet	
3	www.acvenisproh.com	1%
	Fuente de Internet	
4	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
5	worldwidescience.org	1%
	Fuente de Internet	
6	www.researchgate.net	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.unica.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.undac.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	erp.untumbes.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.upn.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
11	repositorio.unah.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
12	repositorio.unp.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
13	NAKAMURA CONSULTORES SAC - NAKCSAC. "Segunda Actualización del Plan de Manejo Ambiental del DAP del Predio Callao-IGA0016805", R.D. N° 00125-2022-PRODUCE/DGAAMI, 2022	<1%
	Publicación	
14	alicia.concytec.gob.pe	<1%
	Fuente de Internet	

15	Callohuanca Pariapaza, Manuel Alfredo. "Uso de macrófitas flotantes en la remoción de nitrógeno, fósforo y sulfatos de las aguas residuales de Puno.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
16	Submitted to Universidad Católica de Honduras Nuestra Señora Reina de la Paz Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	<1 %
24	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
27	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
30	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

<1 %

32

revistaalfa.org
Fuente de Internet

<1 %

33

ENVIRONMENTAL HYGIENE & SAFETY SRLTDA. "Actualización del Plan de Manejo ambiental de Instrumentos de Gestión Ambiental de la Planta Industrial de Producción y Comercialización de Sazonadores, Aditivos Alimentarios, Fideos Precocidos y Fertilizantes-IGA0016812", R.D. N° 00636-2021-PRODUCE/DGAAMI , 2022

Publicación

<1 %

34

repositorio.unsaac.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Relación entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y las condiciones hidroclimáticas para la optimización de la PTAR de Chiara, Ayacucho – 2025

Yeltsin Ricky Berrocal Reymundez¹ yeltsin.berrocal.21@unsch.edu.pe

Richard Alex Oscoco Peceros² richard.oscco@unsch.edu.pe

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola

Resumen

El estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, como base para formular una propuesta de optimización y gestión preventiva. Se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con nivel descriptivo–propositivo y diseño no experimental transeccional. Se evaluaron pH, temperatura, DBO₅, DQO, sólidos totales en suspensión (SST), aceites y grasas y coliformes termotolerantes. Complementariamente, se analizaron datos hidroclimáticos y espaciales mediante registros de estaciones, precipitación satelital, métodos de Thiessen e isoyetas, modelo SCS-CN, método racional y herramientas SIG. El efluente presentó pH 6,80; temperatura 18,0 °C; SST 27 mg/L; DBO₅ 27,5 mg/L; DQO 68,3 mg/L; aceites y grasas 1,3 mg/L y coliformes termotolerantes 2 NMP/100 mL. Los siete parámetros cumplieron los límites utilizados en la tesis. Los factores de cumplimiento fueron inferiores a 1 y los márgenes de seguridad oscilaron entre 48,6 % y 99,98 %. El análisis hidroclimático identificó precipitación media de 662 mm/año, un CN de 72, escurrimiento calculado de 245 mm, tiempo de concentración de 18 minutos y caudal pico de 10 L/s. El análisis estadístico reportó $r = -0,82$ entre precipitación y eficiencia, $r = 0,77$ entre caudal y SST y $r = 0,74$ entre escurrimiento y DBO₅. Se concluye que la PTAR presenta buen desempeño en las condiciones evaluadas, pero requiere gestión preventiva frente a eventos de lluvia intensa, priorizando pretratamiento, control hidráulico, manejo de lodos, monitoreo e indicadores de desempeño.

Palabras clave: aguas residuales; eficiencia; PTAR; hidroclimatología; escurrimiento; optimización; Ayacucho

Abstract

This study aimed to determine the relationship between wastewater treatment efficiency at the Chiara wastewater treatment plant (WWTP) and compliance with environmental quality standards, as a basis for an optimization and preventive-management proposal. The study followed a quantitative, applied approach, with a descriptive–propositive level and a non-experimental cross-sectional design. pH, temperature, BOD₅, COD, total suspended solids (TSS), oils and grease, and thermotolerant coliforms were evaluated. Hydroclimatic and spatial information was also analyzed using station records, satellite precipitation, Thiessen and isohyet methods, SCS-CN rainfall–runoff modeling, the rational method, and GIS tools. The effluent showed pH 6.80, temperature 18.0 °C, TSS 27 mg/L, BOD 27.5 mg/L, COD 68.3 mg/L, oils and grease 1.3 mg/L, and thermotolerant coliforms 2 MPN/100 mL. All seven parameters met the limits used in the thesis. Compliance factors were below 1 and safety margins ranged from 48.6% to 99.98%. Hydroclimatic analysis identified mean precipitation of 662 mm/year, CN 72, calculated runoff of 245 mm, concentration time of 18 minutes, and peak flow of 10 L/s. Pearson correlations were $r = -0.82$ for precipitation–efficiency, $r = 0.77$ for flow–TSS, and $r = 0.74$ for runoff–BOD₅. The WWTP shows good performance under the evaluated conditions but requires preventive management against intense rainfall events, prioritizing pretreatment, hydraulic control, sludge management, monitoring, and performance indicators.

Keywords: wastewater; WWTP; efficiency; hydroclimatology; runoff; optimization; Ayacucho

1. Introducción

El tratamiento de aguas residuales constituye una estrategia fundamental para proteger los recursos hídricos, la salud pública y el ambiente. En la tesis de base, la PTAR de Chiara se analiza como un sistema de lagunas de

estabilización que recibe aguas residuales municipales y cuyo desempeño debe evaluarse tanto por la calidad del efluente como por su estabilidad frente a factores externos. La investigación integra la evaluación técnico-operativa con el análisis hidroclimático y espacial para sustentar medidas preventivas.

El problema general de la investigación fue determinar qué relación existe entre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Chiara y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, con la finalidad de proponer un diseño optimizado. El objetivo general fue determinar dicha relación y complementarla con el diagnóstico del sistema, la evaluación de parámetros del efluente, el análisis hidroclimático y espacial y la formulación de medidas de optimización y gestión preventiva.

La relevancia del estudio radica en que el cumplimiento normativo observado en una condición puntual no garantiza por sí mismo la estabilidad futura del sistema. La tesis plantea que la precipitación, la escorrentía, los caudales y las características topográficas pueden generar presión hidráulica y modificar el desempeño de una PTAR lagunar, especialmente durante eventos intensos.

La propuesta se plantea con un enfoque preventivo: mantener el cumplimiento alcanzado, reducir la probabilidad de colmatación, cortocircuitos y reboses, y establecer rutinas de operación, mantenimiento y monitoreo.

2. Materiales y métodos

2.1 Enfoque, tipo y diseño. La investigación fue aplicada, con nivel descriptivo–propositivo y diseño no experimental transeccional.

2.2 Población, muestra y muestreo. La población estuvo conformada por los efluentes generados por la PTAR de Chiara. La muestra correspondió a efluentes tratados recolectados en el punto de descarga final. El registro analítico principal corresponde al punto P-01 y a la muestra recolectada el 7 de enero de 2026 a las 16:16.

2.3 Evaluación de la calidad. Se analizaron pH, temperatura, SST, DBO₅, DQO, aceites y grasas y coliformes termotolerantes.

2.4 Indicadores. Se calculó el factor de cumplimiento ($FC = \text{resultado}/LMP$) y el margen de seguridad ($MS = (LMP - \text{resultado})/LMP \times 100$).

2.5 Hidroclimatología y SIG. Se utilizaron registros de precipitación, CHIRPS, Thiessen, isoyetas, curva doble masa, SCS-CN, método racional y ArcGIS.

2.6 Estadística. Se emplearon correlaciones de Pearson, análisis de sensibilidad, incertidumbre y AHP.

3. Resultados

3.1 Calidad del efluente y cumplimiento normativo

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP	Cumple
pH	unidad	6.80	6.5–8.5	Sí
Temperatura	°C	18.0	<35	Sí
SST	mg/L	27	150	Sí
DBO ₅	mg/L	27.5	100	Sí
DQO	mg/L	68.3	200	Sí
Aceites y grasas	mg/L	1.3	20	Sí
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	2	10 000	Sí

Tabla 1. Resultados del efluente tratado y comparación con los LMP utilizados en la tesis.

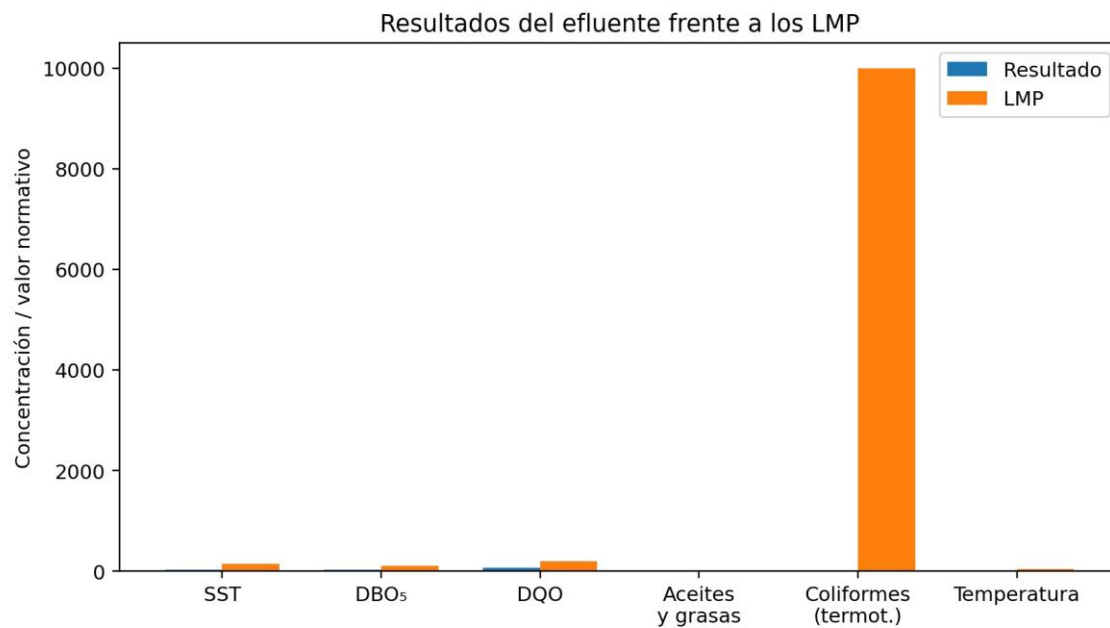


Figura 1. Resultados del efluente frente a los LMP.

Los siete parámetros evaluados cumplieron los límites utilizados en la investigación, resultando un cumplimiento global de 100 %. El pH fue 6,80 y la temperatura 18,0 °C. La DBO fue 27,5 mg/L, la DQO 68,3 mg/L, los SST 27 mg/L, aceites y grasas 1,3 mg/L y coliformes termotolerantes 2 NMP/100 mL.

3.2 Factor de cumplimiento y margen de seguridad

Parámetro	Resultado	FC	MS (%)
SST	27	0.180	82.00
DBO ₅	27.5	0.275	72.50
DQO	68.3	0.342	65.85
Aceites y grasas	1.3	0.065	93.50
Coliformes termotolerantes	2	0.0002	99.98
Temperatura	18	0.514	48.60

Tabla 2. Factor de cumplimiento y margen de seguridad.

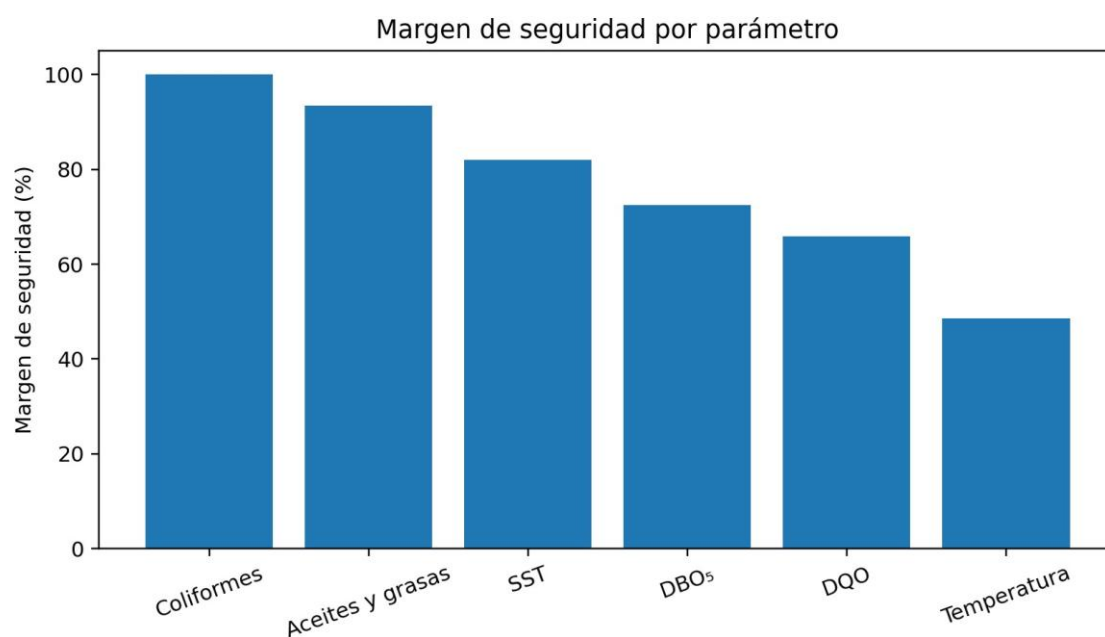


Figura 2. Margen de seguridad de los parámetros evaluados.

Los mayores márgenes de seguridad correspondieron a coliformes termotolerantes (99,98 %), aceites y grasas (93,5 %) y SST (82 %). DBO₅ y DQO presentaron 72,5 % y 65,85 %, respectivamente. La temperatura mostró el menor margen, 48,6 %, por lo que fue clasificada en condición de vigilancia preventiva.

3.3 Condiciones hidroclimáticas y espaciales

Indicador	Valor	Unidad	Interpretación
Precipitación media	662	mm/año	Valor representativo del área
CN	72	adimensional	Parámetro del modelo SCS-CN
Escorrentía calculada	245	mm	Generación moderada
Tiempo de concentración	18	min	Respuesta rápida
Caudal pico	10	L/s	Escenario de precipitación
RMSE	5.2	mm	Validación del modelo
Error relativo	7	%	Error del modelo
Correlación observada-simulada	0.88	r	Buen ajuste

Tabla 3. Indicadores hidroclimáticos y de validación reportados en la tesis.

La tesis reporta precipitación media de 662 mm/año, CN de 72, escorrentía calculada de 245 mm, tiempo de concentración de 18 minutos y caudal pico de 10 L/s. La validación del modelo reportó RMSE de 5,2 mm, error relativo de 7 % y correlación de 0,88.

3.4 Relaciones estadísticas

Relación	r de Pearson	Interpretación
Precipitación – eficiencia	-0.82	Negativa fuerte
Caudal – SST	0.77	Positiva fuerte
Escorrentía – DBO ₅	0.74	Positiva fuerte

Tabla 4. Correlaciones hidroclimáticas y desempeño.

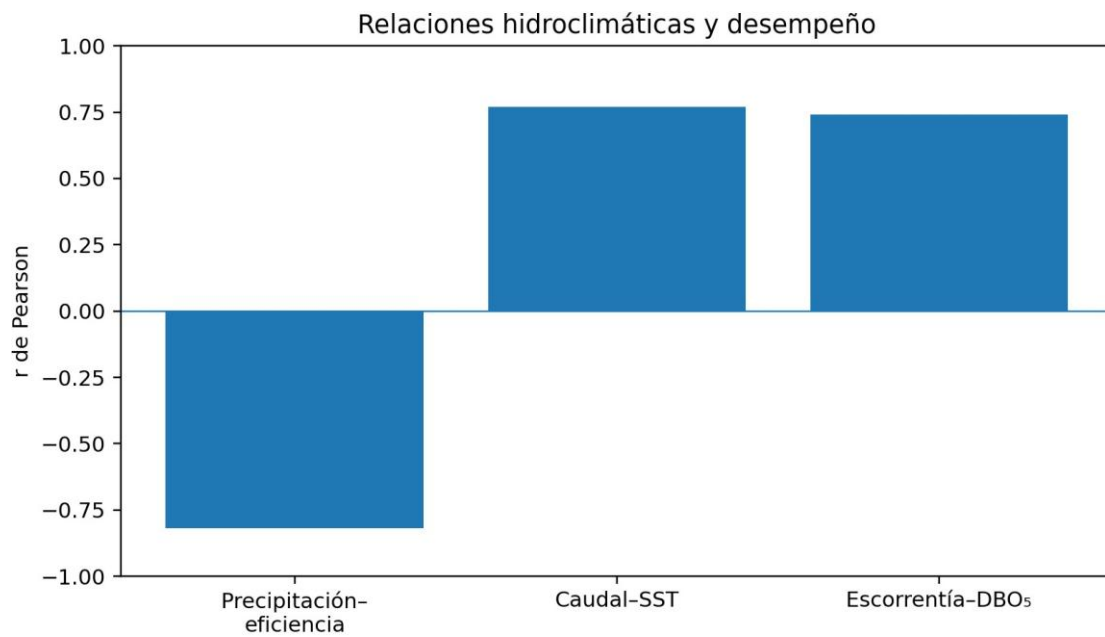


Figura 3. Correlaciones hidroclimáticas reportadas en la tesis.

La relación precipitación-eficiencia fue negativa fuerte ($r = -0,82$), mientras que caudal-SST ($r = 0,77$) y escorrentía-DBO₅ ($r = 0,74$) fueron positivas fuertes.

3.5 Escenarios de caudal y riesgo

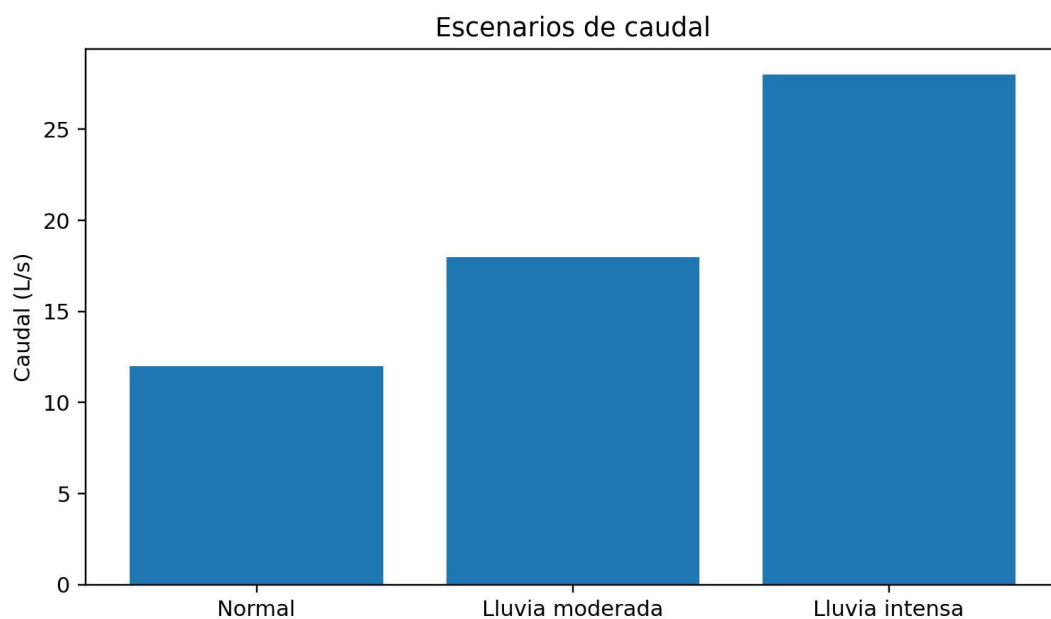


Figura 4. Escenarios de caudal.

El caudal estimado pasó de 12 L/s en condición normal a 18 L/s con lluvia moderada y 28 L/s con lluvia intensa. La zonificación espacial reportó índices de riesgo integrado de 0,82 para la zona alta, 0,65 para la zona media y 0,42 para la zona baja.

4. Discusión

Los resultados muestran que la PTAR de Chiara presenta un desempeño favorable bajo las condiciones evaluadas. El cumplimiento del 100 % de los parámetros contrasta con antecedentes citados en la tesis donde se reportan sistemas con deficiencias de remoción y excedencias normativas.

El hallazgo central es que el cumplimiento actual no elimina la necesidad de prevención. El margen de seguridad de la temperatura (48,6 %) y de la DQO (65,85 %) es menor que el de los parámetros microbiológicos y SST. Además, las correlaciones reportadas respaldan la incorporación de la gestión hidroclimática a la operación de la planta.

La propuesta prioriza rejillas, desarenador y limpieza; control hidráulico; manejo de lodos; baffles/deflectores y desinfección opcional. El cronograma plantea acciones inmediatas de operación y capacitación, mejoras del pretratamiento en 1–3 meses, control hidráulico en 3–6 meses, manejo de lodos y baffles en 6–12 meses y monitoreo continuo.

5. Propuesta de optimización y gestión preventiva

Prioridad	Medida	Indicador	Frecuencia
1	Rejas + desarenador + limpieza	% obstrucción	Diaria
2	Control hidráulico y distribución	Variación de nivel/caudal	Semanal
3	Manejo de lodos	Espesor o volumen de lodo	Anual
4	Baffles/deflectores	Condición hidráulica/eficiencia	Según evaluación
5	Monitoreo de calidad	Cumplimiento LMP	Mensual

Tabla 5. Priorización de medidas preventivas.

El programa mínimo recomendado incluye pH y temperatura semanalmente; SST, DBO₅ y DQO mensual o bimensualmente; aceites y grasas mensualmente; y coliformes termotolerantes mensualmente.

6. Conclusiones

- La PTAR de Chiara presenta un desempeño favorable bajo las condiciones evaluadas, con concentraciones de DBO₅ de 27,5 mg/L, DQO de 68,3 mg/L y SST de 27 mg/L.
- Los siete parámetros evaluados cumplieron los límites utilizados en la tesis, alcanzando un cumplimiento global de 100 %. Los coliformes termotolerantes y aceites y grasas presentaron los mayores márgenes de seguridad.
- El análisis hidroclimático y espacial identificó condiciones de vulnerabilidad asociadas con precipitación, escorrentía, pendiente, dirección y acumulación de flujo, especialmente durante eventos de lluvia intensa.
- Las correlaciones reportadas fueron fuertes: precipitación–eficiencia $r = -0,82$; caudal–SST $r = 0,77$; y escorrentía–DBO₅ $r = 0,74$.
- La optimización debe entenderse como una estrategia preventiva y de sostenibilidad, orientada a conservar el cumplimiento actual y reducir el riesgo de pérdida de eficiencia por sobrecarga hidráulica, colmatación, acumulación de lodos y deficiencias de operación.

7. Limitaciones del estudio

La interpretación del desempeño del efluente debe considerar que el registro analítico principal corresponde a una muestra puntual del punto P-01 y que el diseño es transeccional. Por ello, las relaciones estadísticas hidroclimáticas y las proyecciones de escenarios deben entenderse como evidencia para gestión preventiva y no como demostración de causalidad.

Referencias

- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo*. Diario Oficial El Peruano.
- Arias, J. (2021). *Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del Distrito de Chucuito, Provincia de Puno – 2020*.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3.^a ed.). Pearson Educación.

- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación: Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (4.ª ed.). Pearson Educación de Colombia.
- Bracho, J., & Rivera, Y. (2020). *Impacto de vertimiento de aguas residuales de la industria papelera en un tramo del río Rímac*. Repositorio UNTELS.
- Cachay, H., & Odar, L. (2023). Evaluación de gestión de calidad en el tratamiento microbiológico en una PTAR para aprovecharlo en cultivos de tallo alto. *ICTI Journal, 10*(2).
- Córdova, P., Barrios, T. O., Córdova, I., & Navarrete, R. (2021). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2010). *La gestión del agua urbana en América Latina y el Caribe*.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Redalyc, 11*(3).
- Fernández, L. (2022). *Evaluación de impactos de aguas residuales en la calidad del agua del canal Galindona, Nueva Cajamarca - San Martín 2022*.
- Gallegos, C. (2024). *Análisis de los parámetros físico-químicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Capachica - Puno 2023*. Repositorio UPSC.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Humanante, J., Moreno, L., Grijalva, A., Suárez, J., & Saldoya, R. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *SCIELO, 19*(2).
- Jiménez, D. (2024). *Evaluación de la eficiencia del proceso de tratamiento en la planta de aguas residuales Taboada y su impacto ambiental en el cuerpo receptor durante el periodo de febrero a abril del 2024*.
- Mamani, Y. (2024). *Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri - 2023*. Repositorio UPSC.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM: Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*.
- Niquén, M., Vásquez, A., Hinojosa, Y., & Niquén, A. (2021). Impactos ambientales generados por vertimiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Tumbes – Perú. *RECIAMUC, 5*(3), 222–232.
- Obregón, B. (2022). *Evaluación de la calidad y la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de Mazo – Huaura*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2001). *Tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades*.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Diagnóstico del tratamiento de aguas residuales municipales en el Perú*.
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *SCIELO, 25*(3).
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2016). *Informe de diagnóstico sobre el tratamiento de aguas residuales*.
- Tamayo y Tamayo, M. (1999). *El proceso de la investigación científica* (3.ª ed.). Editorial Limusa.
- Ticona, N. (2020). *Evaluación y propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ilave - provincia de El Collao*.