

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**Propuesta de mejora del sistema de lagunaje del tratamiento de las aguas
residuales de Mórrope para aumentar su eficiencia**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

Royer Santisteban Inoñan

ASESOR

Lucerito Katherine Ortiz Garcia

<https://orcid.org/0000-0002-2006-1607>

Chiclayo, 2026

**Propuesta de mejora del sistema de lagunaje del tratamiento de las
aguas residuales de Mórrope para aumentar su eficiencia**

PRESENTADA POR
Royer Santisteban Inoñan

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR

Abel Enrique Gonzales Wong
PRESIDENTE

Annie Mariella Vidarte Llaja
SECRETARIO

Lucerito Katherine Ortiz Garcia
VOCAL

Dedicatoria

Este trabajo de investigación es dedicado a mi pequeña hija Rosmely Alexandra, mi motor y motivo de seguir adelante, del mismo modo a mi mamá Deni por todo su apoyo incondicional que me brindo, los valores infundidos, la incentivación para cultivar nuevos conocimientos y ser profesional, y por seguir orientándome y resguardándome desde donde esté.

Asimismo, a mis hermanos Iván, Lady y Kary, que siempre me brindaron su apoyo, amor y comprensión sin importar diferencias de opiniones, por creer en mi persona y siendo los principales promotores de mis sueños.

Agradecimientos

Primeramente, le agradezco a Dios por la salud que me brinda y continuar mi día a día. A mi maestra asesor de tesis Ing. Lucerito Katherine Ortiz Garcia por haberme direccionado en esta investigación, en base a su experiencia y sabiduría, supo orientar mis conocimientos, asimismo gracias a todos mis amigos y familiares que me apoyaron de una forma u otra.

Propuesta de mejora del sistema de lagunaje del tratamiento de las aguas residuales de Mórrope para aumentar su eficiencia

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	oldri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1%
4	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	www.grafiati.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Introducción.....	8
Revisión de literatura.....	10
Materiales y métodos	14
Resultados y discusión	15
Conclusiones	35
Recomendaciones	36
Referencias.....	37
Anexos	43

Resumen

La investigación tuvo como propósito principal desarrollar una propuesta de mejora del sistema de lagunaje para el tratamiento de las aguas residuales del distrito de Mórrope, con el fin de incrementar su eficiencia y asegurar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles establecidos por el Ministerio del Ambiente. En la fase diagnóstica se evidenciaron deficiencias estructurales y operativas en la planta de tratamiento, como la ausencia de un sistema de pretratamiento con canal Parshall, la inexistencia de una rejilla conforme a la Norma OS.090 y la falta de mantenimiento preventivo, lo que generaba valores elevados de DBO₅ (193,73 mg/L) y coliformes fecales ($22,8515 \times 10^4$ NMP/100 mL). La propuesta técnica comprendió el rediseño del sistema mediante una laguna anaeróbica y otra facultativa, complementadas con un nuevo sistema de pretratamiento, un programa de mantenimiento preventivo y un plan de capacitación en seguridad, higiene y salud ocupacional. Con su aplicación se lograron valores mejorados de DBO₅ de 31,33 mg/L y coliformes fecales de $9,199144 \times 10^4$ NMP/100 mL, aumentando la eficiencia del tratamiento de 25,08 % a 66,30 %. El estudio adoptó un enfoque no experimental, descriptivo y aplicativo, y en el análisis económico-financiero se determinó una inversión total de S/ 1 543 431,88, un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 1 077 622,03, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 47,97 %, un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 2,94 años y una Relación Beneficio/Costo (B/C) de 1,46, confirmando la viabilidad técnica, económica y ambiental de la propuesta, así como su contribución al desarrollo sostenible y la mejora del saneamiento en el distrito de Mórrope.

Palabras clave: efluentes, sistema de lagunaje, eficiencia.

Abstract

The main purpose of this research was to develop an improvement proposal for the lagoon system used in wastewater treatment in the district of Mórrope, with the objective of increasing its efficiency and ensuring compliance with the Maximum Permissible Limits established by the Ministry of Environment. During the diagnostic phase, several structural and operational deficiencies were identified in the treatment plant, such as the absence of a pretreatment system with a Parshall flume, the lack of a screening system in accordance with Standard OS.090, and the absence of a preventive maintenance plan, which resulted in high values of BOD₅ (193.73 mg/L) and fecal coliforms (22.8515×10^4 MPN/100 mL). The proposed technical solution consisted of redesigning the system by incorporating one anaerobic and one facultative lagoon, complemented with a new pretreatment unit, a preventive maintenance program, and a training plan in occupational safety, hygiene, and health. The implementation of this proposal achieved improved effluent quality, reducing BOD₅ to 31.33 mg/L and fecal coliforms to 9.199144×10^4 MPN/100 mL, thus increasing treatment efficiency from 25.08 % to 66.30 %. The study followed a non-experimental, descriptive, and applied design. The economic and financial analysis determined a total investment of S/ 1,543,431.88, a Net Present Value (NPV) of S/ 1,077,622.03, an Internal Rate of Return (IRR) of 47.97 %, a Payback Period (PBP) of 2.94 years, and a Benefit-Cost Ratio (B/C) of 1.46, confirming the technical, economic, and environmental feasibility of the proposed system, as well as its contribution to sustainable development and improved sanitation in the district of Mórrope.

Keywords: effluents, lagoon system, efficiency.

Introducción

En América Latina, aproximadamente el 50 % de los hogares cuenta con acceso a servicios de saneamiento, mientras que el 70 % dispone de agua potable en condiciones adecuadas, lo que evidencia que una parte importante de la población aún carece de estos servicios y, por tanto, mantiene una calidad de vida limitada [1]. Asimismo, se indica que seis de cada diez habitantes tienen conexión al sistema de alcantarillado en sus viviendas y que solo entre el 30 % y el 40 % de las aguas servidas reciben un tratamiento adecuado [2]. Esta limitada cobertura en los sistemas de saneamiento se refleja en la gran cantidad de aguas servidas que se generan diariamente en la región. Se estima que alrededor de 40 millones de metros cúbicos son recolectados cada día, de los cuales únicamente el 10 % recibe tratamiento antes de su descarga, mientras que el 80 % restante se vierte directamente en fuentes hídricas como mares, lagos y ríos, generando un impacto ambiental negativo [3]. Este deficiente tratamiento repercute directamente en la salud de la población, ya que se ha identificado que aproximadamente el 70 % de los casos de diarrea infantil están relacionados con microorganismos presentes en el agua o en alimentos contaminados por aguas servidas.

En el contexto sudamericano, Ecuador presenta una situación similar. La gestión de las aguas servidas municipales muestra una marcada deficiencia, puesto que solo el 62 % de la población cuenta con sistemas de tratamiento. Dichos sistemas se concentran principalmente en las localidades de Jipijapa, Shushufindi, Portoviejo y Cuenca, siendo esta última la única que mantiene un manejo adecuado. A nivel regional, la zona de la sierra concentra el 50 % de las plantas de tratamiento del país, seguida por la costa con el 31 %, la Amazonía con el 18,5 % y las zonas insulares con apenas el 0,5 % [4].

De manera similar, en el Perú la gestión de las aguas servidas se regula mediante el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes según lo dispuesto por el Ministerio del Ambiente [5]. Sin embargo, el cumplimiento de dicha normativa resulta insuficiente, debido a que los vertimientos industriales y mineros continúan contaminando mares, lagos y ríos, lo que genera una problemática ambiental persistente y la falta de proyectos sostenibles orientados a mejorar la eficiencia del tratamiento [5]. Además, según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), solo el 69,65 % de la población peruana cuenta con servicio de drenaje, mientras que el 30 % restante enfrenta dificultades en la disposición de sus efluentes. Estos son vertidos directamente en cuerpos de agua, ocasionando contaminación por materia orgánica, sólidos en suspensión, aceites, detergentes y grasas [6].

En la región Lambayeque, esta situación se replica con características propias de su entorno geográfico, donde varios distritos enfrentan graves problemas sanitarios por el vertimiento de aguas servidas sin tratamiento previo en ríos y canales que desembocan en el mar, afectando la salud pública y el equilibrio ambiental. Ante ello, se hace necesario promover el aprovechamiento seguro de las aguas tratadas para fines agrícolas y el desarrollo económico sostenible. En este contexto, el distrito de Mórrope presenta una problemática asociada a la baja eficiencia de su sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas servidas. Este sistema, construido en 2008 y conformado por dos lagunas facultativas ubicadas en el anexo San Manuel, a 500 metros del casco urbano, busca reutilizar las aguas tratadas en el riego de cultivos de tallo alto; sin embargo, sus resultados son insuficientes. Los valores del efluente no cumplen con los parámetros legales ni técnicos establecidos para las PTAR, lo que genera contaminación en suelos y cuerpos hídricos, además de afectar las actividades agrícolas locales y la salud pública, comprometiendo el desarrollo sostenible de la zona.

Acorde con la problemática planteada, surgió la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo mejorar el sistema de lagunaje en el tratamiento de las aguas residuales de Mórrope para aumentar su eficiencia? En función de esta interrogante, se formuló el objetivo general: Desarrollar una propuesta de mejora del sistema de lagunaje en el tratamiento de las aguas residuales en el distrito de Mórrope para aumentar su eficiencia. Asimismo, se establecieron los siguientes objetivos específicos: Diagnosticar el sistema de tratamiento de aguas residuales de Mórrope que funciona en la actualidad en el sistema de lagunaje para aumentar su eficiencia; elaborar la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de lagunaje de Mórrope para aumentar su eficiencia; y, por último, realizar el análisis económico de la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de lagunaje de Mórrope.

La justificación del estudio se centró en los ámbitos teórico, ambiental, social y económico. Teóricamente, la investigación buscó evaluar la eficiencia del sistema de lagunaje mediante una propuesta de mejora que permitiera determinar la remoción de contaminantes y comparar la calidad del agua tratada con los parámetros establecidos. Ambientalmente, la propuesta apuntó a disminuir los impactos del vertimiento de aguas residuales sobre las fuentes hídricas y las zonas agrícolas. En el aspecto social, se procuró mejorar la calidad de vida de los agricultores al reducir los riesgos derivados del uso de efluentes sin tratar. Finalmente, desde el enfoque económico, se buscó optimizar el tratamiento de los efluentes y reducir los costos asociados a los daños en la salud pública y el sector agrícola.

Revisión de literatura

Bases teóricas

Identificada la problemática, se realizó una revisión bibliográfica que permitió sustentar teóricamente el estudio. El sistema de lagunaje se presenta como una alternativa eficiente para el manejo de las aguas servidas, destacando por su fácil operación y bajo costo de construcción. Su proceso de depuración se basa en la oxidación de la materia orgánica y la sedimentación [7]. La eficiencia se entiende como el grado de cumplimiento de los objetivos al menor costo posible. Las aguas servidas domésticas son aquellas generadas por las actividades cotidianas y vertidas al medio ambiente o a través del alcantarillado. El tratamiento primario se orienta a la eliminación de partículas sólidas mayores a 0,1 mm y al ajuste del pH para remover materia orgánica; el tratamiento secundario reduce la materia orgánica mediante procesos biológicos con bacterias, y el terciario elimina microorganismos, color y olor del agua [8]. Las lagunas de estabilización son estanques poco profundos (1 a 4 m) con tiempos de retención de 1 a 40 días, donde ocurren procesos físicos, químicos y biológicos que estabilizan la materia orgánica gracias a la interacción de organismos aerobios y anaerobios [9]. Estas lagunas presentan ventajas como alta eficiencia, bajo costo, fácil mantenimiento y operación, y ausencia de equipos mecánicos [10]. Según su proceso biológico, se clasifican en lagunas de maduración, donde predominan procesos aeróbicos y la reducción de DBO₅ disuelta [11]; lagunas anaerobias, donde actúan bacterias que degradan materia orgánica sin oxígeno, con cargas de 225 a 600 kg DBO₅/ha·día y eficiencias de 50–85 % [11]; y lagunas facultativas, donde coexisten procesos aeróbicos y anaeróbicos, con cargas de 85 a 170 kg DBO₅/ha·día y tiempos de retención de 5 a 30 días [12]. La eficiencia de remoción se refiere a la capacidad del sistema para reducir la concentración de contaminantes en el agua, y se calcula con la fórmula: $ER (\%) = (C_i - C_f) \times 100 / C_i$, donde C_i es la concentración inicial y C_f la final [13].

Antecedentes

Auccatenco [14] en su investigación “Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia Quispicanchi – Cusco”, buscó determinar el nivel de eficiencia de la PTAR. Identificó como problemática la baja capacidad de depuración, ocasionada por la inadecuada remoción de contaminantes y la falta de extracción regular de lodos, lo que generó una alta concentración de materia orgánica. Como método, aplicó un enfoque descriptivo y de tipo aplicado, utilizando un cuaderno de campo y mediciones multiparámetro registradas en Excel. En su diagnóstico analizó variables como temperatura, oxígeno disuelto y pH. Los resultados mostraron bajas eficiencias de remoción: aceites y grasas

(30 %), DBO₅ (26,9 %), DQO (23,8 %), SST (35,9 %) y coliformes termotolerantes (54 000 000 NMP/100 mL), obteniéndose una eficiencia global de -54 %.

Amador [15], en su estudio “*Determinación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales en los sistemas del C.P. de Huacoto y de la margen derecha del distrito de Saylla*”, buscó cuantificar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de cada poblado conforme a la normativa peruana. Identificó como problemática el ineficiente manejo de las aguas servidas, ocasionado por la ausencia de una caseta destinada a la operación, mantenimiento y control de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Como método de solución, evaluó los mecanismos de gestión de las PTAR y analizó su nivel de desempeño. Los resultados mostraron bajos porcentajes de remoción: coliformes fecales 0 %, DBO₅ 10,29 %, DQO 6,26 %, SST - 16,67 % y aceites y grasas 76 %, además de evidenciar la falta de una cámara de digestión de lodos o lecho de secado.

Echevarría et al. [16], en su artículo “*Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basadas en lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado*”, buscaron estimar el desempeño de una PTAR basada en lagunas de estabilización. Identificaron como problemática la baja eficiencia del sistema de lagunaje, ocasionada por el incremento de los caudales afluentes y la acumulación de lodos en las lagunas anaerobias y facultativas. Como método de solución, propusieron la implementación de un Reactor Anaerobio Compartimentado (RAC) para mejorar la remoción de DBO₅, DQO y SST, junto con un sistema de pretratamiento conformado por rejas, tamiz mecánico, desarenador con cámara desgrasadora y lechos de secado de lodos provenientes del RAC. Los resultados iniciales mostraron una eficiencia global de 55 %, 67 %, 52 %, 62,8 %, 15 % y 26 % en los parámetros de DBO₅, DQO total y DQO soluble. Tras la implementación del RAC, la eficiencia aumentó de 52 % a 67 % en la remoción de DQO y alcanzó 80,3 % en SST, demostrando la efectividad del pretratamiento y del reactor como complemento al sistema de lagunaje.

Coggins et al. [17], en su artículo “*Impact of Hydrodynamic Reconfiguration with Baffles on Treatment Performance in Waste Stabilisation Ponds: A Full-Scale Experiment*”, buscaron formular un marco para la evaluación, planificación y diseño de la reconfiguración hidráulica en lagunas de estabilización de residuos (PSA). Identificaron como problemática la baja eficiencia del sistema debido a un control hidráulico deficiente. Su estudio tuvo un diseño experimental, tomando como población el agua residual y analizando dos estanques facultativos primarios paralelos con dos entradas y una salida. Determinaron que la instalación de deflectores mejora la hidráulica del sistema al incrementar el tiempo medio de residencia y reducir la velocidad del flujo, lo que influye directamente en la eficiencia del tratamiento.

Propusieron la redefinición hidráulica de los embalses para controlar el flujo y minimizar los cortocircuitos. Los resultados mostraron que la incorporación de dos deflectores perpendiculares al flujo de entrada generó el mejor rendimiento, reflejado en un mayor tiempo de residencia y una mayor eliminación de coliformes y DBO, evidenciando que la mejora hidráulica contribuye significativamente a la eficiencia de depuración en los WSP.

Satalaya [18], en su estudio “*Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza*”, buscó estimar la eficiencia de los efluentes en los estanques de estabilización. Identificó como problemática el deficiente desempeño del sistema de lagunaje, originado por el reducido tiempo de retención hidráulica que impide la adecuada descomposición de los microorganismos. En su diagnóstico evaluó los parámetros fisicoquímicos de las aguas servidas, determinando bajos niveles de eficiencia: DBO₅ de 20,76 % y STS de 23,56 %, frente a los valores óptimos de 70–80 % y 90 % respectivamente, lo que evidenció un mal funcionamiento del sistema de tratamiento. Como propuesta, planteó la incorporación de un sistema de humedales artificiales utilizando vegetación existente para mejorar la depuración del agua.

Alvarenga y Mejía [19], en su estudio “*Propuesta de mejoramiento del sistema de lagunas de estabilización para la disposición del agua residual en el municipio de Zaragoza*”, buscaron evaluar el potencial del sistema de alcantarillado y fortalecer el proceso de tratamiento en los estanques de estabilización. Identificaron como problemática el inadecuado manejo de las aguas servidas, causado por la deficiente depuración y la falta de pretratamiento para remover sólidos de gran tamaño, lo que provocaba acumulación de sedimentos y afectaba el funcionamiento de las lagunas. Como propuesta, plantearon un sistema integral conformado por un tratamiento preliminar con canal de rejillas, desarenador y trampa de grasas, seguido de un tanque homogeneizador, un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) y, finalmente, un estanque de maduración.

López [20], en su estudio “*Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Alto, Talara – Piura*”, buscó mejorar la eficiencia del sistema de estanques de oxidación para fortalecer la salud pública. Identificó como problemática la deficiente gestión de las aguas servidas en el proceso de tratamiento. Aplicó técnicas de observación y análisis documental, utilizando la Matriz de Leopold como herramienta de evaluación ambiental. En su diagnóstico, registró valores afluentes de DBO₅ 1150 mg/L, DQO 1552,5 mg/L, SST 24,0 mL/L y coliformes totales en 100 mL, evidenciando altos niveles de contaminación. Propuso implementar un pretratamiento, promover el reúso de las aguas servidas y elaborar una guía para la operación y mantenimiento de la planta. Tras la aplicación de las mejoras, los resultados

mostraron reducciones significativas: aceites y grasas 20 mg/L, coliformes termotolerantes 10 000 NMP/100 mL, DBO₅ 6,41 mg/L y DQO 30 mg/L. En la evaluación económica, el costo total del mejoramiento fue de S/ 877 709,44, con un VAN de S/ 361 364,55 y una relación B/C de 1,03, lo que confirmó la rentabilidad del proyecto.

Obando y Bejar [21], en su estudio “Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la parte baja del río Lurín mediante las macrofitas Pistia Stratiotes y Azolla Filiculoides”, buscaron evaluar el desempeño de las macrofitas Pistia stratiotes y Azolla filiculoides en el tratamiento de aguas servidas domésticas, frente a las deficiencias observadas en los sistemas convencionales de depuración. La investigación fue de tipo aplicada y diseño experimental, centrada en analizar los parámetros de eficiencia de ambas especies. Los resultados mostraron que la Pistia stratiotes alcanzó valores de DQO 78,91 %, DBO₅ 97,59 %, coliformes totales 99,87 % y Escherichia coli 70 %, mientras que la Azolla filiculoides obtuvo DQO 79,44 %, DBO₅ 93,5 %, coliformes totales 99,87 % y E. coli 70 %. Finalmente, se determinó que la Azolla filiculoides presentó mayor eficiencia con una remoción promedio del 73,81 %, superando el 69,49 % alcanzado por la Pistia stratiotes.

Valdez [22], en su estudio “Evaluación, mejoramiento y optimización hidráulica del sistema de lagunas de estabilización de San José aplicando modelos CFD – Lambayeque, 2017”, se buscó optimizar las condiciones hidrodinámicas del sistema de lagunaje mediante modelos CFD. El trabajo abordó las deficiencias en la gestión de las aguas servidas, causadas por la falta de mantenimiento y la acumulación de lodos en los estanques anaeróbicos. Se emplearon herramientas de modelación CFD en AutoCAD y Iber Malla no estructurada para evaluar el funcionamiento del sistema. Como propuesta, se planteó la reconfiguración hidráulica con pantallas deflectoras y aireadores. Los resultados mostraron mejoras con valores de DBO₅ 440 mg/L, coliformes fecales $6,4 \times 10^7$ NMP/100 mL y SST 6 mL/L/h, alcanzando una eficiencia del 67,57 %. En el análisis económico, la inversión fue de S/ 3 374 687,68, con un VAN de S/ 3 089 436,81 y una TIR social de 18,30 %, demostrando la rentabilidad del proyecto.

Rojas [23], en su estudio “Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (Chrysopogon zizanioides) en humedales de flujo subsuperficial”, buscó tratar las aguas servidas domésticas mediante humedales artificiales. Su metodología fue experimental, realizando el muestreo de agua proveniente del sistema de alcantarillado de la comunidad de Santa Rosa, en el distrito de Chota, para analizar sus parámetros físicos y químicos. Se construyó un humedal artificial y se efectuó el monitoreo del agua tratada durante dos meses. Los resultados mostraron altos niveles de eficiencia en la remoción de contaminantes: DBO₅ 82,89 %, DQO 70,97 %, aceites y grasas 88,89 % y coliformes totales 99,99 %.

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación:

La investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y de nivel descriptivo–propositivo, ya que se fundamentó en una necesidad social y sanitaria del distrito de Mórrope [24]. El estudio se orientó a formular una propuesta de mejora del sistema de lagunaje para el tratamiento de las aguas residuales, sustentada en el análisis de datos técnicos y ambientales que evidenciaron las deficiencias del sistema actual. De esta manera, se buscó plantear una solución viable y aplicable dentro del contexto real del distrito [25].

Diseño de investigación:

El estudio adoptó un diseño no experimental, porque se basó en la observación y caracterización de la situación actual sin manipular las variables. En ese sentido, se propuso una alternativa de solución derivada del análisis del problema, sin aplicar procesos de experimentación o intervención directa [26].

Población

La población estuvo conformada por las lagunas que integran el sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de Mórrope, provincia y región de Lambayeque, Perú.

Muestra

La muestra estuvo constituida por las muestras de agua recolectadas directamente de las lagunas del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicadas en el distrito de Mórrope e.

Procedimiento

Para cumplir los objetivos del estudio, se diagnosticó el estado actual del sistema de lagunaje para el tratamiento de las aguas servidas del distrito de Mórrope. Se realizaron visitas de campo y se analizaron datos de los años 2017, 2018 y 2022, identificando las causas del bajo rendimiento mediante el diagrama de Ishikawa (Anexo 1), el Pareto (Anexo 2), la matriz de consistencia (Anexo 3) y la lista de cotejo microbiológica (Anexo 4). La información procesada en Excel se complementó con el esquema de las lagunas (Anexo 5), los análisis de laboratorio (Anexos 6–9), la constancia RUPAP 2018 (Anexo 10) y la Matriz de Leopold (Anexo 21). Luego, se elaboró una propuesta de mejora del sistema basada en la Guía Técnica de Tratamiento de Aguas Servidas y en factores de eficiencia, mantenimiento, costos y disponibilidad de terreno, aplicando matrices de ponderación (Tablas 5 y 6) y modelos sustentados en el D.S. N.º 003-2010-MINAM y la Norma OS.090. Finalmente, se efectuó un análisis económico que incluyó inversiones, depreciación e indicadores financieros VAN, TIR, PRI y B/C, detallados en los anexos 20 al 27, demostrando la viabilidad técnica y económica de la propuesta.

Resultados y discusión

Diagnosticar el sistema de tratamiento de aguas residuales de Mórrope que funciona en la actualidad.

El distrito de Mórrope, perteneciente a la provincia de Lambayeque, se ubica a una altitud de 16 m s. n. m. y cuenta con una extensión territorial de 1 041 km². Según el censo del INEI de 2017, la población asciende a 12 390 habitantes [27], de los cuales el 54,9 % dispone de conexión a la red de agua potable, equivalente a aproximadamente 5 498 viviendas [28]. El sistema de tratamiento de aguas residuales, conformado por estanques de estabilización, se encuentra bajo la administración de la entidad municipal y opera desde el año 2008. En la actualidad, trata un volumen promedio diario de 1 177,60 m³ mediante dos lagunas facultativas ubicadas en el anexo San Manuel, a 500 metros del casco urbano del distrito, lo que evidencia su relevancia para la gestión sanitaria local.

Por otro lado, la estación de bombeo (EBAR), situada a 300 metros de la localidad sobre un área de 3 939,05 m², tiene como función principal impulsar el caudal residual hacia la primera laguna facultativa. No obstante, el sistema presenta deficiencias operativas, ya que las rejillas de retención de residuos sólidos no cumplen con las especificaciones establecidas en la Norma OS.090 y operan de forma limitada por falta de mantenimiento. Asimismo, el pozo húmedo cuenta con tres electrobombas, pero carece de un equipo eléctrico de respaldo ante cortes de energía, lo que afecta la continuidad del tratamiento. De acuerdo con la lista de cotejo (Anexo 4), se determinó que la ausencia de mantenimiento preventivo y de sistemas auxiliares disminuye la eficiencia operativa, generando interrupciones y acumulación de residuos en el sistema de bombeo. En la Tabla 1 se presentaron las normas de diseño para rejillas manuales en sistemas de lagunas de estabilización, las cuales sirven como referencia técnica para el rediseño y mejora de la estación de bombeo.

Tabla N° 1 Normas de diseño para rejillas manuales.

Parámetro	Norma recomendada	Cumple	No cumple
Forma de barra	Rectangular No se debe utilizar barras corrugadas de construcción		X
Ancho de barra	5 - 15 mm		X
Espaciamiento entre barras	20 - 50 mm 50 mm recomendado para que las heces humanas pasen por las barras	X	
Plataforma de drenaje	Suficiente para el almacenamiento temporal del material retenido en condiciones sanitarias	X	
Espesor de barra	25 - 40 mm		X
Canaleta de desvío (By-pass)	Suficiente para desviar el caudal máximo durante una emergencia		
Material de construcción de barras y plataforma de drenaje	Acero inoxidable o galvanizado; aluminio		X
Largo de canal de aproximación	1.35 m	X	

Fuente: NORMA OS.090, adaptada a elaboración propia.

Para determinar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la Tabla 1, se realizaron cálculos hidráulicos que permitieron sustentar las observaciones técnicas. Con el caudal actual de 1 177,60 m³ diario (equivalente a 13,629 L/s o 0,013629 m³/s), la tubería de impulsión de 8 pulgadas (0,2032 m de diámetro) presentó un área de 0,0324 m² y una velocidad media de 0,42 m/s, valor inferior a la velocidad mínima de autolimpieza recomendada (0,6 m/s), lo que evidencia riesgo de sedimentación. El número de Reynolds obtenido fue del orden de $8,5 \times 10^4$, indicando un flujo turbulento; el factor de fricción calculado mediante la ecuación de Darcy fue 0,0185, y las pérdidas de carga por fricción en una longitud aproximada de 300 m alcanzaron 0,25 m.c.a., consideradas bajas pero relevantes para la eficiencia del sistema. Estos resultados demuestran que el dimensionamiento actual no garantiza el cumplimiento total de los parámetros de diseño, por lo que se recomienda verificar el ancho y espaciamiento de las barras, el largo del canal de aproximación y las pérdidas menores ocasionadas por codos, rejillas y conexiones, a fin de optimizar el rendimiento hidráulico y asegurar el funcionamiento adecuado del sistema conforme a la Norma OS.090.

Sistema de pretratamiento incompleto por ausencia de desarenadores y canal parshall

La PTAR del distrito de Mórrope, al no estar administrada por EPSEL S.A., carece de un registro formal del caudal de ingreso de aguas residuales; sin embargo, se estimó un caudal promedio de 13,629 L/s (0,013629 m³/s) para el año 2024, según los cálculos presentados en la Tabla 2. Durante la inspección visual y la revisión de los equipos de bombeo, se constató la presencia de acumulación de arenas y sedimentos en las conducciones y rejillas, lo que ha ocasionado daños en los componentes mecánicos y la reducción de la capacidad de tratamiento del sistema. En ese sentido, la presencia de material arenoso en el efluente confirma que la instalación de un desarenador no debe considerarse opcional, sino obligatoria, ya que constituye una medida preventiva necesaria para proteger la infraestructura y garantizar la eficiencia operativa del sistema. Además, conforme a la Norma OS.090, se requiere incorporar de manera obligatoria un medidor de caudal tipo Parshall, el cual permitirá registrar y controlar los volúmenes tratados, optimizando el manejo hidráulico de la planta.

Laguna facultativa primaria

La laguna facultativa primaria se ubica en el anexo San Manuel y recibe el efluente impulsado desde la EBAR con un caudal de 13,629 L/s (0,013629 m³/s). El flujo ingresa con el propósito de estabilizar la carga orgánica mediante procesos de oxidación natural. No obstante, debido a la falta de mantenimiento preventivo, la laguna se encuentra cubierta de maleza y el nivel del agua supera su altura útil, ocasionando desbordes hacia áreas colindantes. La

estructura cuenta con un canal de afluente mediante una tubería de 8 pulgadas y un canal de salida hacia la laguna secundaria. Presenta un área superficial de 7 200 m², una altura útil de 2 m y un volumen total de 13 865 m³, según se muestra en el Anexo 5. Esta información dimensional resulta fundamental para el rediseño hidráulico, el cálculo de cargas volumétricas y la evaluación de eficiencia del tratamiento biológico.

Laguna facultativa secundaria

La laguna facultativa secundaria recibió el efluente impulsado desde la primaria con un caudal estimado de 13,629 L/s (0,013629 m³/s = 49,06 m³/h = 1 177,55 m³/día); con un volumen nominal de 13 865 m³, el tiempo de retención hidráulico calculado fue $V/Q = 13\ 865 / 1\ 177,55 \approx 11,77$ días, inferior al tiempo de diseño declarado de 15 días, por lo que el sistema no alcanzó la capacidad hidráulica requerida. Además, la falta de mantenimiento (acumulación de lodos, vegetación y reducción del espejo de agua) disminuyó el volumen útil: si la fracción ocupada por lodos y sedimentos se estimó entre 25 % y 40 %, el volumen efectivo pasó a 10 398–8 319 m³, con tiempos de retención correspondientes de $\approx 8,83$ a 7,06 días, lo que agravó la situación; en estas condiciones el balance inflow–storage fue desfavorable y el alza del nivel provocó desbordes hacia áreas colindantes. En síntesis, los cálculos demostraron que tanto el insuficiente volumen útil como la ausencia de control de caudal y de pretratamiento (desarenador y Parshall) explicaron técnicamente el colapso y el posterior derrame.

Cálculo de diseño, población atendida actualmente

El sistema de lagunaje del distrito de Mórrope fue construido en el año 2008; sin embargo, no existía un registro oficial de la población para esa fecha. Según los censos del INEI, la población urbana fue de 8 388 habitantes en 2005 y de 9 050 en 2007, por lo que se procedió a estimar la población de 2008 aplicando el método propuesto por Cortez [29], basado en el crecimiento anual, se empleó del mismo modo la siguiente fórmula.

Dónde:

$$Ka = \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci}$$

El cálculo del crecimiento poblacional se realizó mediante la aplicación del coeficiente de crecimiento anual (Ka), definido como la variación de habitantes entre dos censos consecutivos dividida entre el intervalo de años transcurrido. En este caso, se consideraron los datos de población inicial (Pci = 8 388 habitantes en 2005) y la población del último censo (Puc = 9 050 habitantes en 2007), obteniéndose un valor de $Ka = (9\ 050 - 8\ 388) / (2007 - 2005) = 331$ habitantes por año. Con este coeficiente se proyectó la población futura mediante la fórmula $Pf = Puc + Ka \times (Tf - Tuc)$, donde Tf corresponde al año proyectado y Tuc al año del último censo. Así, para el año 2008, se obtuvo una población estimada de $Pf = 9\ 050 + 331 \times (2008 - 2007)$

= 9 381 habitantes. El resultado indicó que la población urbana de Mórrope, al momento de la ejecución del proyecto en el año 2008, se estimó en 9 381 habitantes. Asimismo, con base en el censo del INEI de 2017, que registró 12 390 habitantes, se proyectó para el año 2024 una población urbana de 14 720 habitantes. Para la estimación del caudal y volumen de aguas residuales correspondientes a los años 2008, 2024 y 2034, se consideró un consumo promedio de 100 litros por persona al día, valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [30]. Sin embargo, de acuerdo con información técnica referida al contexto peruano, esta dotación podría ser menor en zonas rurales o semiurbanas como Mórrope, donde los registros históricos evidencian consumos más bajos debido a limitaciones en el servicio de agua potable.

Por otra parte, siguiendo la metodología propuesta por Valencia et al. [31], en su obra sobre técnicas para pronosticar datos en contextos de alta incertidumbre, se elaboraron proyecciones de caudal en función del crecimiento poblacional estimado. Dichas proyecciones permitieron determinar la variación del caudal residual a lo largo del tiempo, considerando la relación directa entre el incremento demográfico y la generación de aguas residuales. Los resultados obtenidos y su representación gráfica se presentaron en el Anexo 6.

Tabla 2 Caudal y volumen de agua residual de Mórrope periodo 2008, 2024 y 2034.

Año	L/persona	Nº de habitantes	Total/Litros (Consumo de agua)	Total/m ³ (Consumo de agua)	Retorno considerando Factor de retorno (0.8) L	Retorno considerando Factor de retorno (0.8) m ³	Caudal Q L/S
2008	100	9 381	938 100	938,10	750 480	750,48	8,68
2024	100	14 720	1 472 000	1 472,00	1 177 600	1 177,60	13,62
2034	100	18 068	1 806 800	1 806,80	1 445 440	1 445,44	16,72

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 mostró la estimación del caudal y volumen de aguas residuales generadas en la zona urbana del distrito de Mórrope para los años 2008, 2024 y 2034, considerando una dotación promedio de 100 litros por habitante al día y un factor de retorno del 0,8, equivalente al porcentaje del agua consumida que retornaba al sistema como efluente doméstico. Los resultados evidenciaron un aumento progresivo del caudal promedio diario, que pasó de 8,68 L/s en 2008 a 13,62 L/s en 2024 y se proyectó en 16,72 L/s para 2034. Este incremento reflejó el efecto directo del crecimiento poblacional sobre la generación de aguas residuales y permitió concluir que el sistema de tratamiento requería ser ampliado o rediseñado para mantener su eficiencia operativa frente a la demanda futura.

Resultados análisis físico químicos de la toma de parámetros de campo - PTAR

Las muestras tomadas en las acciones de monitoreo de afluentes y efluentes en los periodos analizados corresponden a los años 2017, 2018, 2022(anexos del 7 al 11) se examinaron a nivel físico, químico y microbiológico en laboratorios contratados por la entidad municipal. En los años 2019-2021, 2023 y al presente año, no se realizaron ningún ensayo. De acuerdo a los informes obtenidos, se evidencia que la gestión de aguas remanentes con uso de lagunas facultativas, incumple con el VLMP, según el D.S. 003-2010-MINAM, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el año 2022 tiene 145 mg/L superior a los 100 mg/L que estipula la norma vigente, representando un 45% de exceso. Con respecto al parámetro de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el año 2022 reflejo 218,5 mg/L lo que representa el 16,4% superior a lo permisible. Remoción de Coliformes fecales por debajo de los límites permisibles [32]. Por esta razón, se presenta la Tabla 3, la cual detalla los valores documentados entregados por la Municipalidad de Mórrope respecto a LMP de efluentes vertidos de las 02 lagunas facultativas en los periodos respectivos.

Tabla 3 Consolidado de los resultados de caracterización del sistema de Lagunaje - Mórrope de los periodos 2017, 2018 y 2022

PARAMETRO ANALIZADO	UNIDAD	PERIODOS			VALOR LIMITE MAXIMO PERMISIBLE D.S 003-2010-MINAM	CUMPLIMIENTO
		2017	2018	2022		
Solidos suspendidos totales	mg/L	102	43	48,6	150	Si cumple
Demanda bioquímica de oxígeno -DBO	mg/L	126	101	145,4	100	No cumple
Demanda química de oxígeno -DQO	mg/L	208,3	249,4	218,5	200	No cumple
pH	Unidades	8,03	4	7,47	6,5-8,5	Si cumple
Grasas y Aceites	mg/L	4,08	4,0	8,8	20	Si cumple
Análisis Microbiológico						
Coliformes Fecales totales	NMP/100m L	11x10 ⁴	24x10 ⁴	17x10 ⁴	10 000	No cumple

Fuente: Adaptada, D.S N° 003-2010-MINAM, Municipalidad Distrital de Mórrope.

La Tabla 3 presentó los parámetros analizados de los efluentes junto a sus valores de límite máximo tolerables en concordancia al D.S N° 003-2010-MINAM) [33].

Eficiencia de la planta de tratamiento para aguas remanentes.

Los parámetros de calidad del agua constituyeron indicadores esenciales para determinar el estado situacional de las aguas residuales tratadas en la PTAR de Mórrope [33]. Las muestras analizadas provinieron de los registros de monitoreo de afluentes y efluentes realizados por la Municipalidad Distrital de Mórrope en los años 2017, 2018 y 2022, cuyos resultados fueron procesados en laboratorios ambientales contratados por la entidad (Anexos 7 al 11). Dado que en los periodos 2019–2021, 2023 y 2024 no se efectuaron nuevos ensayos, se recurrió a la proyección estadística de los parámetros faltantes mediante los modelos de estimación de datos

propuestos por Triola [34], con el propósito de mantener la continuidad del análisis y caracterizar el comportamiento de la planta en el tiempo. Con estos datos se procedió a determinar la eficiencia de remoción de contaminantes según la metodología de Huamanante, J. et al. [35], que define la eficiencia como la relación entre la concentración inicial del parámetro en el afluente (C_0) y la concentración final en el efluente (C), expresada en porcentaje mediante la ecuación:

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100$$

Los valores de concentración representaron los resultados promedio obtenidos de las muestras del periodo 2022 (último registro disponible), considerados como base para estimar la eficiencia operativa de la planta en el año 2024. Para el parámetro DBO₅, la concentración en el afluente fue de 193,73 mg/L y en el efluente 144,41 mg/L, obteniéndose una eficiencia de 25,45 %, lo que indicó que solo una cuarta parte de la materia orgánica fue removida, mientras que el 74,55 % permaneció sin tratar, reflejando una deficiencia significativa en el proceso biológico. Asimismo, la eficiencia de remoción para los sólidos suspendidos totales (SST) alcanzó 81,02 %, lo que evidenció un comportamiento aceptable en la separación física de partículas; la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mostró una eficiencia del 31,05 %, los aceites y grasas un 21,20 %, y los coliformes fecales totales un 18,65 %, todos por debajo de los límites recomendados por la normativa ambiental vigente.

Tabla 4. Eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR de Mórrope – Periodo 2024.

Parámetro	C_0 (Entrada) mg/L	C (Salida) mg/L	Eficiencia de remoción (%)	Interpretación técnica
DBO ₅	193,73	144,41	25,45	Remoción baja; persistencia de carga orgánica elevada.
Sólidos suspendidos totales (SST)	426,50	80,95	81,02	Alta eficiencia física; proceso de sedimentación efectivo.
DQO	485,60	334,80	31,05	Eficiencia moderada; requiere optimizar procesos biológicos.
Aceites y grasas	56,80	44,80	21,20	Baja remoción; indica falta de pretratamiento.
Coliformes fecales totales	$1,9 \times 10^6$ NMP/100ml	$1,55 \times 10^6$ NMP/100ml	18,65	Escasa desinfección; riesgo sanitario elevado.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados mostraron una eficiencia global inferior al 40 %, evidenciando que el sistema de lagunas facultativas operaba con sobrecarga hidráulica y escaso mantenimiento, lo que impedía cumplir los Valores Límite Máximos Permisibles (VLMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM. El impacto ambiental se evaluó mediante la matriz de Leopold (Anexo 14), la cual permitió identificar y jerarquizar los efectos generados por las actividades del sistema

de tratamiento sobre los componentes del entorno. Los resultados de la matriz reflejaron un impacto ambiental global negativo promedio de -35,9, destacando los mayores efectos adversos sobre los recursos hídricos (-44,2) y la fauna (-40,8), seguidos por el suelo (-35,9) y la atmósfera (-30,9). Estos valores evidenciaron contaminación del agua y alteración del ecosistema acuático, producto de descargas sin tratamiento adecuado, así como afectación al suelo y al paisaje por acumulación de lodos y disposición inadecuada de residuos sólidos. Ver Figura 1

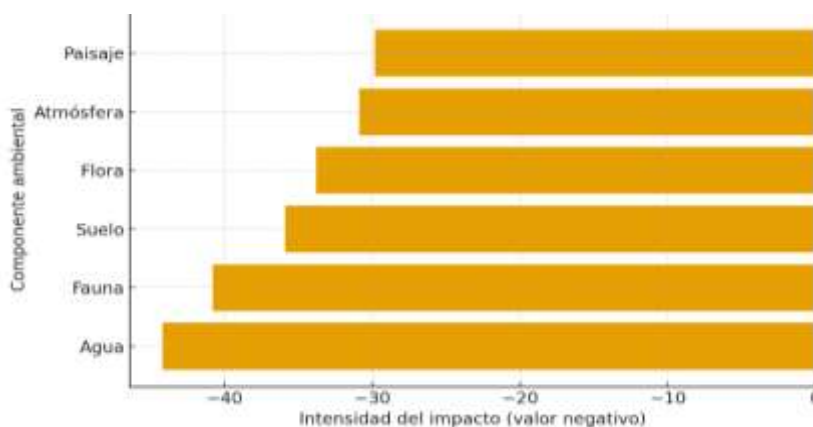


Figura 1. Promedio de impactos ambientales según matriz de Leopold – PTAR Mórrope

Fuente: Elaboración propia.

Elaborar la propuesta de mejora del tratamiento de las aguas remanentes en el sistema de Lagunaje de Mórrope para aumentar su eficiencia.

Lagunas de estabilización

Los criterios principales para la selección del sistema de tratamiento más adecuado para el manejo y reúso de las aguas residuales con fines de riego se establecieron conforme a la Guía Técnica de Sistemas Municipales de Gestión de Aguas Residuales [36]. Para dicha selección se consideraron diversos factores, entre ellos: la disponibilidad del terreno, calidad del afluente, operatividad y funcionamiento, mantenimiento, costos de inversión, factibilidad técnica y eficiencia de remoción de contaminantes.

Posteriormente, se elaboró una matriz de enfrentamiento con factores ponderados, asignando valores de 0 a 4, donde 4 representó la mayor relevancia y 0 la menor. Durante la revisión de la ponderación, se identificó que en la versión inicial se había asignado un valor bajo a la eficiencia de remoción, pese a ser un aspecto determinante en la evaluación técnica del sistema, dado que define el cumplimiento de los Valores Límite Máximos Permisibles (VLMP) y el desempeño operativo del tratamiento. Por tal razón, se reevaluó este criterio, asignándole un valor de 4 (muy relevante), al igual que a la factibilidad técnica, la cual influía directamente en la

viabilidad de implementación y mantenimiento del sistema. De esta manera, los factores con mayor peso fueron aquellos que incidieron directamente en la eficiencia, sostenibilidad y factibilidad del tratamiento, garantizando una elección técnica adecuada.

Tabla 5. Valorización de los factores de evaluación para la elección del tratamiento.

Factores de evaluación	Descripción técnica	Valor asignado (0-4)	Relevancia
Eficiencia de remoción de contaminantes	Capacidad del sistema para eliminar DBOs, DQO, SST y coliformes hasta niveles permitidos	4	Muy relevante
Factibilidad técnica	Posibilidad real de implementación y operación con los recursos existentes	4	Muy relevante
Operatividad y funcionamiento	Facilidad de operación del sistema y requerimientos de personal especializado	3	Relevante
Mantenimiento	Frecuencia, disponibilidad y costo de mantenimiento preventivo y correctivo	3	Relevante
Costos de inversión	Monto requerido para la construcción, equipamiento y puesta en marcha	2	Moderadamente relevante
Disponibilidad del terreno	Extensión, topografía y condiciones del área disponible para el sistema	2	Moderadamente relevante
Calidad del afluente	Características físico-químicas del agua residual que ingresa al tratamiento	2	Moderadamente relevante

Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar el sistema de tratamiento más adecuado para el reúso de aguas residuales, se aplicó una matriz de evaluación ponderada basada en la Guía Técnica de Sistemas Municipales de Gestión de Aguas Residuales [36], considerando factores como eficiencia de remoción (26,23%), área necesaria (21,31%), costos (13,12%), operatividad (11,47%), factibilidad técnica (11,47%), implementación (8,20%) y mantenimiento (8,20%). El análisis mostró que las lagunas de estabilización obtuvieron el mayor puntaje (3,47) frente a los lodos activados (3,01) y filtros percoladores (2,61), por lo que se consideraron la alternativa más viable técnica y ambientalmente para Mórrope, gracias a su eficiencia, bajo costo y adecuación a las condiciones locales.

Tabla N° 6. Matriz de factores ponderados para la elección del tratamiento

Factores de evaluación	% Importancia	Lagunas de estabilización		Lodos activados		Filtros percoladores	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Eficiencia de remoción	26,23%	4	1,05	3	0,79	2	0,53
Área necesaria	21,31%	4	0,85	4	0,85	3	0,64
Costos de inversión	13,12%	3	0,39	3	0,39	2	0,26
Operatividad y funcionamiento	11,47%	3	0,34	2	0,23	3	0,34
Factibilidad técnica	11,47%	3	0,34	3	0,34	3	0,34
Implementación	8,20%	3	0,25	2	0,16	3	0,25
Mantenimiento	8,20%	3	0,25	3	0,25	3	0,25
Total	100,00%		3,47		3,01		2,61

Fuente: elaboración propia

El lodo activo constituye una gestión netamente biológica, entendido como bioproceso, esta técnica se emprende en un reactor biológico [37]. Los filtros percoladores son reactores biotecnológicos, su funcionamiento está basado en la eliminación de contaminantes, como beneficio no necesita energía para aireación [38]. Las lagunas de estabilización como utilidad están: costos bajos para su construcción, operatividad y mantenimiento y tiene una buena remoción, como desventaja necesita una notable área y acoge considerable concentración de carga orgánica [39].

Población al horizonte de proyecto

Con la determinación de averiguar la cifra de beneficiados al horizonte de proyecto, se estimó la proyección hasta el año 2034. Se contemplaron los censos demográficos realizados por el INEI de 2005, 2007 y 2017 en el distrito de Mórrope. Se revisaron cuatro modelos para la estimación: lineal, de interés compuesto, logarítmico y de interés simple.

Tabla 7. Métodos de estimaciones de poblaciones futuras

Modelo	Método	Crecimiento	Información
Lineal o Aritmético	Simple	Constante	Mínima
Logarítmico	Complejo	Exponencial	Mayor
Interés compuesto o Geométrico	Complejo	Constante	Mayor
Interés simple	Complejo	Desigual	Mayor

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se presentaron los factores empleados para determinar el modelo de estimación poblacional más adecuado. Según Arriaga [40], el modelo lineal o aritmético asume un crecimiento constante; en cambio, el modelo logarítmico considera que el incremento depende del tamaño poblacional [41], mientras que el modelo geométrico requiere al menos tres censos próximos en el tiempo para calcular un promedio de crecimiento [42]. De acuerdo con los censos del INEI, la población urbana de Mórrope fue de 8 388 habitantes en 2005, 9 050 en 2007 y 12 390 en 2017. Aplicando el método lineal propuesto por Cortez [29], basado en el crecimiento anual, se obtuvo un coeficiente $K_a = 334$ hab/año, con lo cual se proyectó una población urbana de 18 068 habitantes para el año 2034, horizonte del proyecto

$$K_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} = \frac{12390 - 9050}{2017 - 2007} = 334$$

Con el respectivo valor se calculó la población para el año 2034.

$$P_f = P_{uc} + K_a \times (T_f - T_{uc}) = 12390 + 334 (2034 - 2017) = 18068 \text{ habitantes.}$$

Rediseño, se plantea un pretratamiento, la implementación de una laguna anaeróbica y una facultativa para el tratamiento de las aguas residuales.

Con base en el rediseño planteado, se elaboró el siguiente diagrama de bloques que representa el funcionamiento general del sistema propuesto para el tratamiento de las aguas

residuales domésticas en el distrito de Mórrope. Este esquema permitió visualizar las etapas principales del proceso, desde el ingreso del afluente hasta la obtención del efluente tratado y la disposición final de los lodos generados. Ver Figura 2

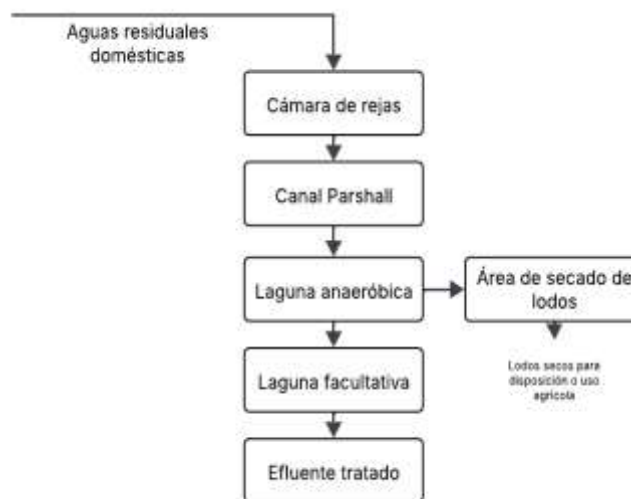


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema de tratamiento propuesto para las aguas residuales del distrito de Mórrope.

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de pre-tratamiento:

El tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales representó un desafío, siendo esta la única alternativa disponible para los agricultores del distrito de Mórrope. En el ámbito del tratamiento, se plantearon unidades orientadas a la ecoeficiencia, incorporando medidas de ahorro de agua, eficiencia energética y adecuada disposición de residuos sólidos (Anexo 15). En este contexto, se propuso un sistema de pretratamiento conformado por dos unidades principales: una cámara de rejillas y un canal Parshall para la medición de caudales, siguiendo un enfoque similar al aplicado por Huamaní [43] en investigaciones previas., a la investigación ejecuta estas propuestas.

- Cámara de rejillas

Se procedió hacer las estimaciones del sistema aplicando las fórmulas que, en su investigación de Treviño y Cortes [39], del mismo modo para la estimación del número de material cribado se establecerá en concordancia a la norma 090 [44], como en la Tabla seguidamente detalla.

Tabla 8. Valores de abertura y cantidad de material cribado

Abertura (mm)	Cantidad (litros de material cribado l/m ³ de agua residual)
20	0,038
25	0,023
35	0,012
40	0,009

Fuente: Tomado de Norma 090.

El cálculo del número de material cribado se estableció conforme la tabla 10.



Figura 1. Esquema de rejillas

Considerando el caudal de llegada a laguna anaeróbica al periodo 2034 = 1 445,44m³ /día ≈ 16,729 L/S

B1=cantidad de material cribado (Q)

$$B1 = (0,009 \text{ l} / (\text{m}^3 \text{ agua residual})) (1\,445,44 \text{ m}^3 \text{ agua residual/día})$$

$$B1 = 13,008 \text{ l de solido cribado/día}$$

$$B2 = (0,038 \text{ l} / (\text{m}^3 \text{ agua residual})) (1\,445,44 \text{ m}^3 \text{ agua residual/día})$$

$$B2 = 54,92 \text{ l de solido cribado/día}$$

- Diseño de rejillas de desbaste

1. Nivel aguas arriba de la reja:

$$D = 0,15 + 0,74 \sqrt{Q_m}$$

D=nivel aguas arriba de las rejillas (m)

Q_m=caudal máximo que pasa (m³/s)

$$D = 0,15 + 0,74 \sqrt{0,01672 \text{ m}^3/\text{s}} \quad D = 0,24 \text{ m}$$

2. Ancho del canal en zona de rejillas (W) en cm:

Según referencia bibliográfica, [45], se tiene la siguiente fórmula para encontrarlo:

$$W = Q / (V * D) \left(\frac{a + S}{S} \right) + C$$

Q=caudal máximo que pasa (m³/s)

V=velocidad máxima zona de rejillas (m/s)

D=nivel de aguas arriba de las rejillas a Q_m (m)

a=ancho de barras (m)

S=separación útil entre barras (m)

C=coeficiente de seguridad (C=0.10 m rejas fina, 0.30 m rejas gruesas)

Según la norma 0.90 [44], se tiene las especificaciones:

- ✓ barras de sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor de 30 a 75 mm de ancho.
- ✓ espaciamiento entre barras 20 y 50 mm.

Los caudales de diseño en máximo horario (Q_{mH}) es de 0,01672 m³/s ≈ 16,72L/S

Aplicando el desarrollo de Sierra [46]

2.1 Cálculo de W para rejillas

$$W=Q/(V*D) ((a+S) /S) + C = [(0,01672 / (0,60*0,24)) * ((0,050+0,05) / 0,05)) +0,10]*100$$

$$=33,22 \text{ cm}=332 \text{ mm}$$

3. Numero de barras

Para el cálculo de barra se aplicó al formula según referencia bibliográfica, de tratamientos iniciales de potabilización [45] y los valores según la norma 0.90 [44].

$$N=(A-S) / (a+S)$$

N=número de barras, A=ancho en zona de rejilla (mm), S= separación útil entre las barras (mm), a=ancho de las barras (mm)

3.1 Numero de barras para rejilla fina

$$N_1= (0,332-0,020) / (0,20+0,005) \quad N_1=12.48 \text{ unidades de barras}$$

3.2 Numero de barras para rejilla gruesa

$$N_2= (0,332-0,050) / (0,050+0,015) \quad N_2=4.33 \text{ unidades de barras}$$

La cámara de rejas fue dimensionada y verificada mediante cálculos hidráulicos que respaldaron su diseño. Con un caudal máximo horario de 0,01672 m³/s (16,72 L/s), un ancho de canal de 0,332 m y un nivel aguas arriba de 0,24 m, se definieron rejillas finas (barras de 5 mm y separación de 20 mm) y gruesas (barras de 50 mm y separación de 15 mm). La fracción de área libre resultó 0,80 y 0,23, respectivamente, con velocidades del efluente de 0,063 m/s y 0,218 m/s, valores inferiores al límite de autolimpieza (~0,6 m/s), lo que descartó riesgos de arrastre o colmatación. La pérdida de carga local ($K \approx 1,5$) fue mínima, estimada en 0,0034 m de columna de agua, confirmando la coherencia hidráulica del diseño. Se recomendó, sin embargo, verificar en obra la alineación y material de las barras, así como programar una limpieza periódica para asegurar la eficiencia y continuidad del sistema.

- Diseño de canal Parshall

De la Cruz, S. et al [47], indica que para que opere de modo eficiente, debe elaborarse en concordancia a las magnitudes estandarizadas que se disponen en las tablas respectivas 9 y 10.

Tabla 9. Fórmulas para canales Parshall

Ancho de garganta (W)(cm)	Ecuacion*	Capacidad (L./s)
2,5 (1")	$Q=0,55H_a^{1,15}$	0,3-5
5,0 (2")	$Q=0,110H_a^{1,5}$	0,6-13
7,6 (3")	$Q=0,176H_a^{1,347}$	0,8-55
15,2 (6")	$Q=0,381H_a^{1,58}$	1,5-110
22,9 (9")	$Q=0,535H_a^{1,53}$	2,5-250
30,5 (12")	$Q=0,690H_a^{1,522}$	3,1-455
45,7 (18")	$Q=1,054H_a^{1,338}$	4,3-700
61,0 (24")	$Q=1,426H_a^{1,58}$	12-950
91,4 (36")	$Q=2,182H_a^{1,566}$	17-1400
121,9 (48")	$Q=2,935H_a^{1,570}$	37-1900
152,4 (60")	$Q=3,728H_a^{1,387}$	60-2400
182,8 (72")	$Q=4,515H_a^{1,595}$	70-2900
213,4 (84")	$Q=5,306H_a^{1,601}$	115-3450
243,8 (96")	$Q=6,101H_a^{1,606}$	130-3950
305,0 (120")	$Q=7,463H_a^{1,6}$	250-5660

Fuente: Tomado de, De la Cruz, et al

Tabla 10. Dimensiones de la canaleta Parshall

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50,0	0,8	1,3
5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70,0	1,6	2,5
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	40,6	30,5	76,8	2,5	3,8
15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4	40,6	30,5	90,2	5,1	7,6
22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	61,0	30,5	45,7	7,6	11,4	40,6	30,5	108,0	5,1	7,6
30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	149,2	5,1	7,6
45,7	144,9	142,2	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	167,6	5,1	7,6
61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	185,4	5,1	7,6
91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	38,1	222,3	5,1	7,6
122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	271,1	5,1	7,6
152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	308,0	5,1	7,6
182,8	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	344,2	5,1	7,6
213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	381,0	5,1	7,6
244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	417,2	5,1	7,6
305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	-	30,5	22,9

Fuente: Tomado de, De la Cruz. et al

Paso 1. medir el caudal

$$Q=0,0167 \text{ m}^3/\text{s} < > 16,729 \text{ L/s}$$

Paso 2. revisamos la tabla de rangos

Paso 3. Revisar en la tabla los valores de medidas del ancho de garganta. De la Cruz, S. et al [44], según su tabla de valores el canal parshall tendrá un ancho de entrada (D) 120 cm, una altura (E) 91,5 cm, un ancho de garganta (W) de 61cm y un ancho de salida (C) de 91,5 cm. En el anexo 16, se presenta el Diseño del canal Parshall propuesto.

Laguna anaerobia

- Dimensionamiento de laguna anaerobia

Tabla 11. Parámetros de diseño para lagunas, estimados al 2024

Parámetros de diseño		
DBO ₅	193,73	mg/L
SST	287,5	mg/L
Q	1445.44	m ³ /d
Temperatura mínima	16	°C
Coliformes Fecales totales	22,8512x10 ⁴	NMP/100mL

Fuente: Elaboración propia

Según la metodología planteada por Treviño y Cortes [39], se desarrollaron los cálculos de diseño para la laguna anaerobia, considerando un caudal promedio de 1 445,44 m³/día (0,01672 m³/s) y una concentración de entrada de 193,73 g DBO/m³. La carga de entrada fue de 280,025 kg DBO/día, valor que, aunque elevado, se mantuvo dentro de los límites admisibles para sistemas anaerobios establecidos por el Ministerio de Vivienda [48]. La carga orgánica volumétrica se determinó mediante la expresión $C_{vol} = (10T + 100)C_{vol} = (10T + 100)C_{vol} = (10T + 100)$, obteniéndose 260 g DBO/m³·día (0,26 kg DBO/m³·día) para una temperatura de 16 °C; sin embargo, se ajustó a 0,20 kg DBO/m³·día, dado que a temperaturas inferiores a 20 °C el máximo recomendado debe reducirse para garantizar la estabilidad biológica del sistema [49]. Con este valor, el volumen requerido resultó $V = 1 400,13 \text{ m}^3$, y al relacionarlo con el caudal diario, el tiempo de retención hidráulica (TRH) corregido fue de 1,0 día, dentro del rango

mínimo aceptable para iniciar la estabilización anaerobia, que según Guayacundo [50] debe situarse entre 2 y 10 días; por ello, se recomendó aumentar la profundidad o duplicar el volumen de la celda.

El factor de decaimiento bacteriano fue $K_t = 1,296 \text{ d}^{-1}$, obteniéndose una concentración de salida de $1,01 \times 10^5 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$, lo que evidenció una remoción parcial de coliformes. El área superficial calculada fue de $350,03 \text{ m}^2$, con $13,22 \text{ m}$ de ancho, $26,45 \text{ m}$ de largo y 4 m de profundidad promedio. La eficiencia de remoción alcanzó el 52% , reduciendo la DBO_5 a $92,99 \text{ mg/L}$, aún por encima del límite permitido, por lo que se propuso una segunda laguna anaerobia en serie. La limpieza de lodos se estimó cada $2,21$ años y la carga superficial fue de $8\,000 \text{ kg DBO}/\text{ha}\cdot\text{día}$, valor que garantizó un funcionamiento estable bajo las condiciones climáticas de Mórrope.

Laguna Facultativa

El dimensionamiento de la laguna facultativa se realizó considerando los parámetros de diseño obtenidos en la etapa anterior. En primer lugar, la carga orgánica de entrada se calculó mediante la expresión $\text{C.O} = (Q_i \times \text{DBO}_i)/1000$, donde $Q_i = 1\,445,44 \text{ m}^3/\text{día}$ y $\text{DBO}_i = 92,99 \text{ mg/L}$, obteniéndose una carga de $134,41 \text{ kg DBO}_5/\text{día}$. Seguidamente, la carga superficial de diseño se determinó aplicando la ecuación $\lambda_s = 250(1,085)^{(T-20)}$, considerando una temperatura media mínima de $16 \text{ }^\circ\text{C}$, resultando $\lambda_s = 180,39 \text{ kg DBO}_5/\text{ha}\cdot\text{día}$. Posteriormente, el área de la laguna facultativa se calculó con la fórmula $A_f = (10 \text{ Li } Q_{\text{med}})/\lambda_s$, donde $\text{Li} = 92,99 \text{ mg/L}$ y $Q_{\text{med}} = 1\,445,44 \text{ m}^3/\text{día}$, obteniéndose $A_f = 7\,451,16 \text{ m}^2$. Con una profundidad de diseño de $Z = 1,5 \text{ m}$, el volumen total de la laguna fue $V = A_f \times Z = 7\,451,16 \times 1,5 = 11\,176,73 \text{ m}^3$. Asimismo, el tiempo de retención hidráulica se calculó mediante $O_f = V/Q_i = 11\,176,73/1\,445,44 = 7,73 \text{ días}$, valor que se encontró dentro del rango recomendado para lagunas facultativas (5 a 30 días).

Por otro lado, el dimensionamiento geométrico se estableció con una relación largo-ancho $X = 3$, obteniéndose un ancho promedio $B_{\text{prom}} = \sqrt{(A_f/X)} = \sqrt{(7\,451,16/3)} = 49,83 \text{ m}$ y un largo $L_{\text{prom}} = A_f/B_{\text{prom}} = 7\,451,16/49,83 = 149,53 \text{ m}$, verificándose un área superficial de $A_{\text{sup}} = 49,83 \times 149,53 = 7\,451,12 \text{ m}^2$. En cuanto al control bacteriológico, la remoción de coliformes fecales se calculó aplicando la ecuación $\text{NE} = N_i / (1 + K_t \times O_a)$, donde $N_i = 101\,356,91 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$, $K_t = 1,296 \text{ d}^{-1}$ y $O_a = 7,73 \text{ días}$, obteniéndose $\text{NE} = (101\,356,91)/(1 + (1,296 \times 7,73)) = 9\,199,14 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$, lo que evidenció una reducción significativa. Finalmente, la concentración de DBO_5 en el efluente se estimó con la ecuación $K_f = 1,2/(1,085)^{(35-T)}$, donde $T = 16 \text{ }^\circ\text{C}$, obteniéndose $K_f = 0,2546 \text{ d}^{-1}$, y la DBO_e mediante $\text{DBO}_e = \text{DBO}_i/(K_f \times O_f + 1) = 92,99/(0,2546 \times 7,73 + 1) = 31,33 \text{ mg/L}$. En consecuencia, la eficiencia

de remoción fue $\%R = ((\text{DBO}_i - \text{DBO}_e)/\text{DBO}_i) \times 100 = ((92,99 - 31,33)/92,99) \times 100 = 66,30$ %. Estos resultados demostraron que la laguna facultativa operaba de manera eficiente en la reducción de materia orgánica y coliformes, complementando el proceso iniciado en la laguna anaerobia, tal como se evidencia en el balance de materia presentado en el Anexo 17.

Propuesta de programa de mantenimiento

Objetivo: La propuesta del mantenimiento preventivo, se realizará para la conservación de los equipos y el sistema de lagunaje garantizando un mejor funcionamiento.

Alcance: Abarca todas las actividades que se generan en la EBAR y el sistema de lagunaje compuesto por una laguna anaeróbica y una facultativa construidas en paralelo.

Encargados: operarios del EBAR y de la operatividad del sistema de lagunaje.

A continuación, se describe el proceso: En el programa de mantenimiento hay un color para una fecha determinada, indicando el mantenimiento a un equipo determinado, instalaciones del sistema o camino a la PTAR, de los canales y rejillas. El jefe de mantenimiento dará instrucciones a su personal a fin de que pueda realizarse, en concordancia al cronograma establecido. Así mismo el mantenimiento de bordes y taludes de las lagunas, son propensas a sufrir desniveles por ello es al menos una vez al año inspeccionarlas, habiendo la propuesta considerado lagunas anaeróbica y facultativa de grandes longitudes, donde se generan vientos de relevancia, conviene protegerlos del oleaje. En el anexo 18 se presenta el cronograma anual.

Propuesta de capacitaciones: Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, seguridad en PTAR y Precauciones contra infecciones y enfermedades.

Complementando las propuestas, es importante capacitar al colaborador en temas de SST, con el fin de realizar adecuadamente las actividades diarias. Se presenta el contenido del temario, cronograma, entre otros detalles. Es importante señalar que la Municipalidad encargada de la PTAR no cuenta con un registro de accidentes, riesgos laborales en el sistema de lagunaje en estudio, luego de evidenciar la situación actual de seguridad de los operarios así mismo de las condiciones físicas de las instalaciones, se tomara en consideración una capacitación relacionada a la seguridad en PTAR, la Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo y finalmente en el tema de Precauciones contra infecciones y enfermedades, de modo que se pueda determinar, mecanismos y acciones necesarias. En el anexo 19 se presenta el contenido de temas, los propósitos y los meses en que se realizaran dichas capacitaciones.

Objetivo: Instruir al personal operario en la manera de conservar su salud y seguridad, promoviendo las buenas prácticas de seguridad, higiene y salud en el trabajo.

Alcance: Todo el personal involucrado en las actividades que se dan en el EBAR y PTAR.

Por otro lado, en la tabla 12 se presentan los beneficios encontrados en sus implementaciones de estas propuestas cuyo valor económico por sus beneficios asciende a S/ 1 060 500,00.

Tabla 12. Comparación de parámetros

Parámetro	Indicadores con PTAR- Actual	Indicadores después de propuesta	
		Laguna anaeróbica	Laguna facultativa
DBO ₅	193,73 mg/L	92,99 mg/L	31,33 mg/L
Coliformes fecales	22,8512 x 10 ⁴ NMP/100 mL	101356,91 NMP/100 mL	9199,144 NMP/100 mL

Fuente: Elaboración propia

Las lagunas existentes presentaron baja eficiencia por colmatación, escaso control operativo y falta de mantenimiento, lo que impidió cumplir los límites permisibles. Por ello, se decidió conservarlas como respaldo hidráulico e implementar un rediseño con una cámara de rejas, un canal Parshall, una laguna anaeróbica en serie y una laguna facultativa final. El nuevo sistema se proyectó en el mismo terreno de la planta actual, aprovechando su área y topografía favorable para el flujo gravitacional.

Evaluación de la nueva eficiencia del sistema de tratamiento diseñado

Se evaluaron dos configuraciones: (A) una laguna anaerobia seguida de una facultativa, y (B) dos lagunas anaerobias en serie seguidas de una facultativa. Partiendo de una concentración inicial de 193,73 mg/L de DBO₅ y 22,85×10⁴ NMP/100 mL de coliformes fecales, los resultados mostraron que la configuración A logró una DBO₅ final de 31,34 mg/L y 9 199 NMP/100 mL de coliformes, cumpliendo los valores del D.S. N.º 003-2010-MINAM. En tanto, la configuración B obtuvo 15,03 mg/L de DBO₅ y 4 080 NMP/100 mL, alcanzando una eficiencia global del 92,2 %. Por ello, se recomendó implementar la configuración B, ya que proporciona mayor estabilidad y remoción de contaminantes. No obstante, la alternativa A también es viable si se refuerzan las labores de mantenimiento y control para garantizar el cumplimiento continuo de los parámetros de calidad exigidos.

Tabla 13. Resumen de indicadores

Parámetro	Unidad	Influyente (Actual)	1 Laguna Anaerobia	Escenario A (1 Anaerobia + Facultativa)	2 Lagunas Anaerobias	Escenario B (2 Anaerobias + Facultativa)	Límite D.S. 003- 2010- MINAM
DBO ₅ (concentración)	mg/L	193,73	92,99	31,34	44,64	15,03	≤ 50
Eficiencia global DBO ₅	%	—	52,0	83,8	76,9	92,2	—
Coliformes fecales	NMP/100 mL	228 512	101 357	9 199	44 948	4 080	≤ 10 000
Remoción global coliformes	%	—	55,7	96,0	80,3	98,2	—
Cumplimiento normativo	—	No cumple	Parcial	Cumple	Parcial	Cumple ampliamente	—

Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de brindar mayor claridad al proceso de selección de la alternativa tecnológica más adecuada, se realizó una comparación de las principales ventajas y desventajas de las alternativas de tratamiento de aguas residuales evaluadas en el presente estudio. Esta comparación permite identificar de manera sistemática los aspectos técnicos, operativos y económicos asociados a cada opción tecnológica, facilitando la comprensión de sus alcances y limitaciones antes de su selección final.

Tabla 14. Ventajas y desventajas de las alternativas tecnológicas evaluadas

Alternativa tecnológica	Ventajas	Desventajas
Lagunas de estabilización	Bajos costos de inversión, operación y mantenimiento; tecnología adecuada para climas cálidos; operación sencilla sin requerimiento de energía para aireación; buena adaptación a contextos rurales y municipales	Requiere gran disponibilidad de terreno; tiempos de retención hidráulicos elevados; eficiencia dependiente del mantenimiento periódico
Lodos activados	Alta eficiencia en la remoción de DBO ₅ y DQO; menor área requerida; mayor control del proceso de tratamiento	Altos costos de inversión y operación; elevado consumo energético; requiere personal técnico especializado; mayor complejidad operativa
Filtros percoladores	Operación relativamente simple; menor consumo energético que los lodos activados; eficiencia moderada en la remoción de materia orgánica	Riesgo de colmatación del medio filtrante; eficiencia inferior a los lodos activados; requiere mantenimiento periódico del material soporte

Fuente: Elaboración propia.

Analizar económica – financiera la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas remanentes en el sistema de Lagunaje de Mórrope para aumentar su eficiencia.

Se determinó la rentabilidad y sostenibilidad de la propuesta de mejora del sistema de lagunaje para el tratamiento de las aguas residuales del distrito de Mórrope mediante la evaluación económica y financiera. La inversión total del proyecto ascendió a S/ 1 543 431,88, distribuida en activos tangibles e intangibles. La inversión tangible comprendió la implementación del sistema de pretratamiento (Anexo 20), el acondicionamiento de dos lagunas anaerobias y una facultativa (Anexo 21), así como los accesorios y equipos de protección personal (Anexo 22).

Por su parte, la inversión intangible incluyó los costos de capacitación del personal operativo en seguridad, higiene y salud ocupacional (Anexo 23). El resumen general de los costos se muestra en el Anexo 24

Según el OEFA [51], entidad adscrita al MINAM encargada de la fiscalización ambiental, el incumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) puede generar sanciones establecidas en la Resolución N.º 045-2013-OEFA-CD [52] (Anexo 25). La implementación del nuevo sistema permitiría evitar multas estimadas en S/ 1 060 500,00 anuales, garantizando el cumplimiento normativo y la sostenibilidad ambiental.

El proceso administrativo en la Municipalidad de Mórrope inicia con la elaboración del informe técnico por la Gerencia de Infraestructura, seguido de la aprobación del perfil técnico en sesión de consejo y la formulación del expediente por la unidad correspondiente. Posteriormente, la unidad formuladora gestiona el código único de inversiones (CUI) y tramita el financiamiento ante el Ministerio de Vivienda [53]. Según la normativa de gestión pública [54], el Estado obtiene ingresos por tributos e impuestos para destinarlos a bienes y servicios; en ese sentido, la gestión municipal debe orientar sus recursos hacia proyectos que beneficien directamente a la población y promuevan el desarrollo local [55].

En la siguiente tabla se presentan los flujos de caja proyectados del sistema de tratamiento propuesto, donde se evidencia la inversión inicial y los ingresos netos generados durante el periodo evaluado.

Tabla 15. Flujo de caja de propuesta

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos (S/)	–	1 060	1 113	1 169	1 227	1 289
		500,00	525,00	201,25	661,31	044,38
Costos operativos (S/)	–	31 800,00	33 390,00	35 059,50	36 812,48	38 653,10
Depreciación (S/)	–	305	305	305	305	305
		659,58	659,58	659,58	659,58	659,58
Utilidad antes de impuestos (S/)	–	721	772	826	883	942
Impuestos (29,5%) (S/)	–	450,42	805,92	729,20	348,64	799,05
		212	227	243	260	278
		827,88	977,75	885,11	587,85	125,72
Utilidad después de impuestos (S/)	–	508	544	582	622	664
Depreciación (S/)	–	622,55	828,18	844,09	760,79	673,33
		305	305	305	305	305
		659,58	659,58	659,58	659,58	659,58
Inversión (S/)	1 543	–	–	–	–	–
	431,88					
Flujo Neto de Efectivo (FNE) (S/)	–1 543	814	850	888	928	970
	431,88	282,12	487,75	503,66	420,37	332,91

Fuente: Elaboración propia.

Del flujo de caja presentado se observó que los flujos netos de efectivo fueron positivos a partir del primer año, lo cual evidenció la recuperación del capital invertido en un periodo relativamente corto. Con base en estos resultados, se obtuvieron indicadores financieros favorables: VAN de S/ 1 077 622,03, TIR de 47,97 %, PRI de 2,94 años y B/C de 1,46. El VAN positivo indicó que los ingresos actualizados superaron a los costos, evidenciando la rentabilidad y el atractivo financiero del proyecto. Asimismo, el corto PRI y la relación B/C mayor a la unidad demostraron que por cada sol invertido se obtuvo un retorno de 1,46 soles. En conjunto, estos resultados confirmaron que la propuesta de mejora del sistema de lagunaje en el distrito de Mórrope fue técnica y económicamente viable, garantizando el cumplimiento de la normativa ambiental, la optimización de recursos y la mejora sostenible del tratamiento de las aguas residuales.

Discusiones

En lo que se plantea al objetivo número uno, referente a la situación actual de la eficiencia que presenta la planta de gestión de agua residuales de la urbe de Mórrope, problema principal en la presente investigación, relacionado con las cifras de los LMP de los efluentes que no se viene cumpliendo de acuerdo a la normativa DS 003-2010-MINAM. Por ejemplo, en la investigación de Auccatinco [14], en su diagnóstico da a conocer ineficiencia de depuración en la planta de gestión de las aguas remanentes para ello, toma muestras de agua residual sin tratar y tratada; cuantifican también en su diagnóstico el caudal promedio 5,14 l/s y un pH 7,63, entre las causas de la problemática están: manera no adecuada de la remoción de agentes, así mismo, los lodos exhibidos en la PTAR no se extraen habitualmente ocasionando excesiva concentración de materia orgánica y el incremento de generación de aguas remanentes. Por otro lado. López, E. [20], en su diagnóstico encontró como principal problemática DBO5 mg/L 340,0 y DQO 459,0 mg/L, por otro lado, en su diagnóstico presenta un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

De acuerdo al objetivo dos, respecto a la exposición de propuestas de mejora del manejo de las aguas remanentes en el sistema de Lagunaje de Mórrope para aumentar su eficiencia, se propone el empleo de lagunas de estabilización tomando en consideración factores como: disponibilidad del terreno, operatividad y funcionamiento, mantenimiento, costos de inversión y eficiencia de los procesos de tratamiento. Con el propósito de instruir a los operarios tengan conocimiento en la manera de conservar su salud y seguridad, promoviendo las buenas prácticas de seguridad, higiene y salud en el trabajo, se propone capacitaciones en temas de Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, seguridad en PTAR y finalmente precauciones contra infecciones y enfermedades. Con la finalidad de retener los desperdicios sólidos se propone un proceso de pre-tratamiento compuesta por una cámara de rejillas y un canal Parshall. Con el objetivo de la conservación de los equipos y el sistema de lagunaje garantizando un mejor funcionamiento se propone un programa de mantenimiento debidamente establecido los periodos en la que se deberán ejecutar las actividades, se considera también quienes serán los responsables de la operatividad del mantenimiento en el sistema de lagunaje. En base a los logros alcanzados con todas estas propuestas, contrastando los indicadores actuales y después de las propuestas se logra una eficiencia de 66,30%. Valdez [22], de manera similar presenta como propuesta la implementación de estanques de estabilización, en el postproceso aplica los Modelos CFD, permitiendo mitigar el rango de efectos donde hay una considerable variación entre los valores permisibles, asimismo se implementa deflectores en la laguna anaeróbica,

también en el estanque facultativo fijando la velocidad máxima a 1 cm/s. Como resultado de la puesta en práctica de deflectores en el estanque anaeróbica al 70% de su ancho ha inducido un superior suministro del flujo, una remoción de DBO_5 en el efluente de los estanques anaeróbicos después de propuesta de 176 mg/L., remoción de coliformes fecales el monto es $1,1 \times 10^6$ NMP/100 ml., remoción de SST es de 0.20 ml/L/. En las lagunas facultativa remoción de DBO_5 95,79 mg/L, remoción de coliformes fecales en el efluente de los estanques facultativos un valor de $4,87 \times 10^4$ NMP/100 ml., y una remoción en SST parámetro quedado en 0.00 ml/L/h. De manera similar Alvarenga, F. y Mejía, S [19], presentan como propuesta un tratamiento preliminar que consta de: un canal de rejillas, desarenador y trampa de grasas, consecutivo de un tanque homogeneizador, un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) seguido de un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA), para posteriormente concluir con un estanque de maduración. Echevarría et al [16], presenta como propuesta los autores para el aumento de volumen la implementación de un Reactor Anaeróbico Compartimentado (RAC) para la reducción de DBO, DQO y especialmente de SST, también un sistema de pretratamiento maximizado que comprende: rejillas, un tamiz mecánico, un desarenador con una cámara desgrasadora, y lechos destinados al secado de lodos provenientes del RAC, también el mantenimiento y remoción periódica de lodos. Sus resultados posteriores a la implementación del RAC fueron: la eficiencia se elevó del 52 al 67% en la eliminación de DQO, de 55 al 72% en DBO_5 , en SST 62.8 a 80.3%; demostrando que el sistema de pretratamiento y un RAC al sistema de lagunaje para potenciar su competencia de gestión es una alternativa adecuada.

En lo que respecta al tercer objetivo, las inversiones en las propuestas ayudaran a incrementar la eficiencia de la PTAR, aspecto de la evaluación económica como la tasa de referencia TMAR, esta fue determinada por el Gerente de la Municipalidad, institución responsable de la administración de la planta de tratamiento dando cuenta que el retorno esperado de sus inversiones por parte de la entidad es de 20%. El VAN genera la viabilidad del estudio, posterior al cálculo los flujos de ganancia y los costos junto la inversión preliminar suman S/ 1 077 622,03 como beneficio, una tasa interna de retorno TIR, informa un 47,97 % de rentabilidad, superior a una tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta TMAR, mostrando que es viable realizar la propuesta. Finalmente, el costo beneficio presento un resultante donde por cada S/ 1,46 que se emplea, se recuperará S/ 0,46. Esta inversión será recuperada en 2 años 11 meses y 8 días. Asimismo, López [20], el costo total del mejoramiento es de S/877 709,44, asimismo una $\text{VAN} = 361\,364,55$ y un costo beneficio $\text{B/C} = 1,03$ rentable. Por otro lado, Valdez [22], en lo que se refiere al análisis económico de la aplicación de

pantallas deflectoras en el sistema de lagunas de estabilización la inversión es de S/ 3 374 687,68, VAN social asciende al monto de S/. 3 089 436,81 y la TIR social resulta 18,30%, garantizando lo rentable del estudio.

Conclusiones

El desarrollo de la propuesta de mejora del sistema de lagunaje en el tratamiento de las aguas residuales del distrito de Mórrope permitió aumentar la eficiencia del proceso de depuración a un 66.30 %, garantizando el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM. El sistema optimizado logró reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 193.73 mg/L a 31.33 mg/L y los Coliformes Fecales Totales de $22,8512 \times 10^4$ NMP/100 mL a 9199,144 NMP/100 mL. Estos resultados demuestran la efectividad del rediseño técnico en la calidad del efluente final, que ahora cumple con las exigencias del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) para descargas seguras en cuerpos receptores.

El diagnóstico del sistema de tratamiento existente evidenció múltiples deficiencias estructurales y operativas. Entre ellas, se identificó una acumulación excesiva de lodos en las lagunas anaerobias, una aireación insuficiente, la ausencia de un sistema de pretratamiento y deficiencias en el control del flujo hidráulico. Asimismo, el caudal promedio tratado de 18,6 L/s no era constante debido a obstrucciones y filtraciones en las conducciones. Estos factores generaban una pérdida de capacidad del 35 % y un incumplimiento reiterado de los valores de DBO y CFT establecidos por la normativa ambiental. El diagnóstico permitió sustentar técnicamente la necesidad de modernizar la infraestructura, introducir procesos de mantenimiento preventivo y establecer un protocolo de monitoreo continuo.

La propuesta de mejora elaborada incluyó la implementación de un sistema de pretratamiento compuesto por cámara de rejillas y canal Parshall, el reacondicionamiento de las dos lagunas anaerobias y una facultativa, además de la instalación de sistemas de drenaje y de control de caudal. El diseño se basó en un caudal de ingreso de 20 L/s, lo que permitió dimensionar adecuadamente los volúmenes y tiempos de retención hidráulica de cada unidad. Con ello, se logró proyectar una remoción total superior al 60 % en DBO y una eficiencia global del sistema al 66.30 %. Asimismo, se incluyó la adquisición de equipos de protección personal, instrumentos de monitoreo y la capacitación técnica del personal, con el fin de garantizar la sostenibilidad operativa del sistema.

Desde el punto de vista económico, la inversión total requerida ascendió a S/ 1 543 431,88, distribuida en componentes tangibles —infraestructura, equipamiento y obras civiles— e intangibles —capacitación y gestión ambiental—. El análisis financiero, considerando una tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) del 20 % y un horizonte de cinco años, demostró la rentabilidad del proyecto. El flujo neto de efectivo (FNE) alcanzó valores positivos desde el primer año, variando de S/ 814 282,12 en el año 1 hasta S/ 970 332,91 en el año 5. Los indicadores de evaluación mostraron un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 1 077 622,03, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 47,97 %, un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 2,94 años y una Relación Beneficio/Costo (B/C) de 1,46.

Recomendaciones

Se recomendó desarrollar futuras investigaciones orientadas a evaluar la eficiencia del sistema de lagunaje bajo diferentes escenarios operativos, incorporando programas de mantenimiento preventivo y monitoreo continuo que analicen la influencia de la limpieza de lodos, la regulación del caudal de ingreso y el control sistemático de parámetros como DBO₅, Coliformes Fecales Totales y oxígeno disuelto, a fin de identificar estrategias que permitan mantener o incrementar eficiencias superiores al 60 %.

Asimismo, se sugirió realizar estudios complementarios sobre el impacto de la capacitación técnica del personal en la operación y mantenimiento del sistema, considerando variables asociadas a la seguridad, el cumplimiento normativo y la gestión ambiental, con el propósito de determinar su contribución a la sostenibilidad operativa del sistema de tratamiento.

Se planteó como línea de investigación futura el análisis de alternativas de financiamiento público y privado para la ampliación del sistema de lagunaje, incorporando proyecciones de crecimiento poblacional y aumento del caudal de aguas residuales, lo que permitiría evaluar la viabilidad técnica y económica de nuevas fases de implementación.

De igual forma, se recomendó profundizar en estudios sobre la calidad del efluente tratado y el comportamiento del cuerpo receptor, mediante el monitoreo estacional y el análisis de la capacidad de asimilación ambiental, generando información técnica que sirva de base para optimizar el diseño hidráulico y biológico del sistema en contextos rurales.

Finalmente, se sugirió investigar la implementación de un sistema de gestión ambiental municipal que incorpore indicadores de desempeño y mecanismos de participación ciudadana, evaluando su efectividad en la sostenibilidad del sistema de tratamiento y en la promoción de tecnologías naturales aplicadas al tratamiento de aguas residuales en zonas rurales.

Referencias

- [1] CEPAL, «¿Cómo va La vida en América Latina? Medición del bienestar para la formulación de políticas públicas,» *Red de Desarrollo Social de América Latina y el Caribe*, 2021.
- [2] M. Y. Sigüencia Sigüencia, J. L. Solano Peláez y J. A. Paucar Camacho, «Análisis sobre la gestión de aguas residuales en la ciudad de Cuenca: Caso ETAPA-EP,» *Polo del Conocimiento*, vol. 7, n° 8, pp. 513-532, 2022.
- [3] A. Silvia y M. Gil, «Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe,» 2020. [En línea]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46792/1/S2000908_es.pdf. [Último acceso: 2 Junio 2023].
- [4] S. Peña, J. Mayorga y R. Montoya, «Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador),» *Revista Redalyc*, 2018. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557606007/html/>. [Último acceso: 2 Junio 2023].
- [5] M. Niquén, A. Vasquez, Y. Hinojosa y R. Saldoya, «Vertimiento de aguas residuales de la ciudad de Tumbes y disminución de la biodiversidad florística,» *Revista Reciamuc*, 2021. [En línea]. Available: <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/688/1054>. [Último acceso: 2 Junio 2023].
- [6] OEFA, «Fiscalización ambiental en aguas residuales,» OEFA, 2016. [En línea]. Available: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827. [Último acceso: 30 Agosto 2022].
- [7] CONAGUA, «www.conagua.gob.mx,» [En línea]. Available: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015b.%20Manual%20Lagunas%20de%20Estabilizaci%C3%B3n%2047.pdf. [Último acceso: 24 Enero 2024].
- [8] J. A. Romero Rojas, *Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas*, Marcombo, 2000.
- [9] U. d. Texas, «Lagunas de Estabilización,» *Revista Ingenierías*, n° 10, pp. 32-35, 2007.

- [10] J. A. Romero Rojas, «Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas,» Marcombo, 2000.
- [11] R. Marín Galvín, *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos*, España: Díaz de Santos, 2000.
- [12] F. Cortés Martínez, A. Treviño Cansino, A. Luévanos Rojas y R. Luévanos Rojas, «Función objetivo en el diseño de la laguna facultativa,» *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 5, n° 3, 2014.
- [13] M. Rigola Lapeña, *Tratamiento de aguas industriales*, Barcelona: Marcombo S.A, 1989.
- [14] R. Auccatinco Hirpahuanca, «Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia Quispicanchi – Cusco,» Cuzco, 2021.
- [15] H. Amador Challco, «Determinación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales en los sistemas del C.P. de Huacoto y de la margen derecha del distrito de Saylla,» Cuzco, 2019.
- [16] I. Echevarria, C. Escalante, O. Saavedra, R. Escalera, G. Heredia y R. Montoya, «Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basadas en lagunas,» *Investigación & Desarrollo*, vol. 21, n° 1, pp. 37-45, 2021.
- [17] L. Coggins, J. Sounness, L. Zheng, M. Ghisalberti y A. Ghadouani, «Impact of Hydrodynamic Reconfiguration with Baffles on Treatment Performance in Waste Stabilisation Ponds: A Full-Scale Experiment,» *Water*, vol. 10, n° 2, p. 109, 2019.
- [18] S. V. Kiara, «Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza,» Uchiza, 2015.
- [19] F. Alavarenga Martínez y S. Mejía Delgado, «Propuesta de mejoramiento del sistema de lagunas de estabilización, utilizado para la disposición del agua residual en el municipio de Zaragoza, departamento de la Libertad,» *La libertad*, 2021.
- [20] E. Lopez Mestanza, «Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Alto, Talara Piura,» Chiclayo, 2019.
- [21] I. Obando Sancarranco y V. Bejar Valdez, «Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la,» Lima, 2022.
- [22] A. Valdez Castañeda, «Evaluación, mejoramiento y optimización hidráulica del sistema de lagunas de estabilización de San José aplicando modelos CFD – Lambayeque, 2017,» Chiclayo, 2019.
- [23] C. N. P. L. Maria Ysabel ROjas Diaz, «Tratamiento de aguas residuales

- domesticas con la especie vetiver (chrysopogon zizanioides) en humedales de flujo subsuperficial,» *Tzhoecoen*, vol. 10, n° 1, pp. 13-24, 2018.
- [24] Sánchez, Ponce, Rubio, Navarro y Olmedo, «Una aproximación práctica a los diseños de investigación cuantitativa,» *Espiral Cuadernos del Profesorado*, vol. 17, n° 35, pp. 117-132, 2023.
- [25] J. Lozada, «Dialnet,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>. [Último acceso: 17 Junio 2024].
- [26] L. Arias Gonzales , «<https://gc.scalahed.com>,» Junio 2021. [En línea]. Available: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf. [Último acceso: 16 Junio 2024].
- [27] INEI, «www.inei.gob.pe,» Octubre 2018. [En línea]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1560/. [Último acceso: 10 Abril 2024].
- [28] Defensoria del pueblo, «www.defensoria.gob.pe/,» 14 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2021/05/Informe-006-2021-bolet%C3%ADn-agua-Lambayeque-sgd.pdf>. [Último acceso: 10 Abril 2024].
- [29] F. Cortez Martinez, A. Treviño Cansino y A. Tomasini Ortiz, Dimensionamiento de lagunasde estabilización, Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017.
- [30] ONU, «www.un.org,» Boletin virtual de la ONU, Junio 2015. [En línea]. Available: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_spa.pdf. [Último acceso: 6 Noviembre 2023].
- [31] M. Valencia Cardenas , S. Ramirez Agudelo y J. Tabarez Muñoz, «repositorio.unal.edu.co,» 2014. [En línea]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21604/MarisolValenciaCardenas.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 25 Octubre 2024].
- [32] MINAM, «www.minam.gob.pe,» 7 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>. [Último acceso: 2 Abril 2024].
- [33] OEFA, «cdn.www.gob.pe,» Abril 2015. [En línea]. Available: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1695328/Informe%20de%20>

- Evaluaci% C3%B3n% 20Anual% 20del% 20Plan% 20Operativo% 20Institucional % 202014.pdf. [Último acceso: 115 Marzo 2024].
- [34] M. Triola, «www.librodigital,» 2018. [En línea]. Available: <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0038.pdf>. [Último acceso: 23 Mayo 2024].
- [35] J. Humanante Cabrera, L. Moreno Alcivar y A. Grijalva Endara, «Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena,» *Manglar*, vol. 9, n° 2, pp. 177-187, 2022.
- [36] ANA, «web2.ana.gob.pe/,» Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://web2.ana.gob.pe/publicaciones/guia-tecnica-para-reuso-municipal-de-aguas-residuales-tratadas-en-el-riego-de-areas>. [Último acceso: 7 Febrero 2024].
- [37] M. Quispe Perez y L. Piñas River, Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad, Mexico: Nosotrica Ediciones, 2020.
- [38] USAID, Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad, Mexico, 2011.
- [39] F. Cortés Martínez y A. Treviño Cansino, Dimensionamiento de lagunas de estabilización /, Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017.
- [40] E. Arriaga, «Métodos de proyección de poblaciones Algunas consideraciones sobre los más usados,» *Revista de Economía y Estadística, Tercera Época*, vol. 11, n° 1-2, pp. 55-68, 1967.
- [41] INEI, «www.inei.gob.pe,» 1987. [En línea]. Available: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/est/lib0844/cap01.pdf>. [Último acceso: 16 Abril 2024].
- [42] J. Contreras Matamoros, «El control de inundaciones y el transporte adecuado de aguas residuales en el residente N° 87 la Isla perteneciente al canton Coronel Marcelino Maridueña provincia del Guayas,» Guayaquil, 2016.
- [43] J. Huamani Condori, «repositorio.continental.edu.pe,» 2021. [En línea]. Available: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10870/1/IV_FIN_108_TE_Huamani_Condori_2021.pdf. [Último acceso: 25 Octubre 2024].
- [44] EL PERUANO, «www.saludarequipa.gob.pe,» [En línea]. Available: https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf.

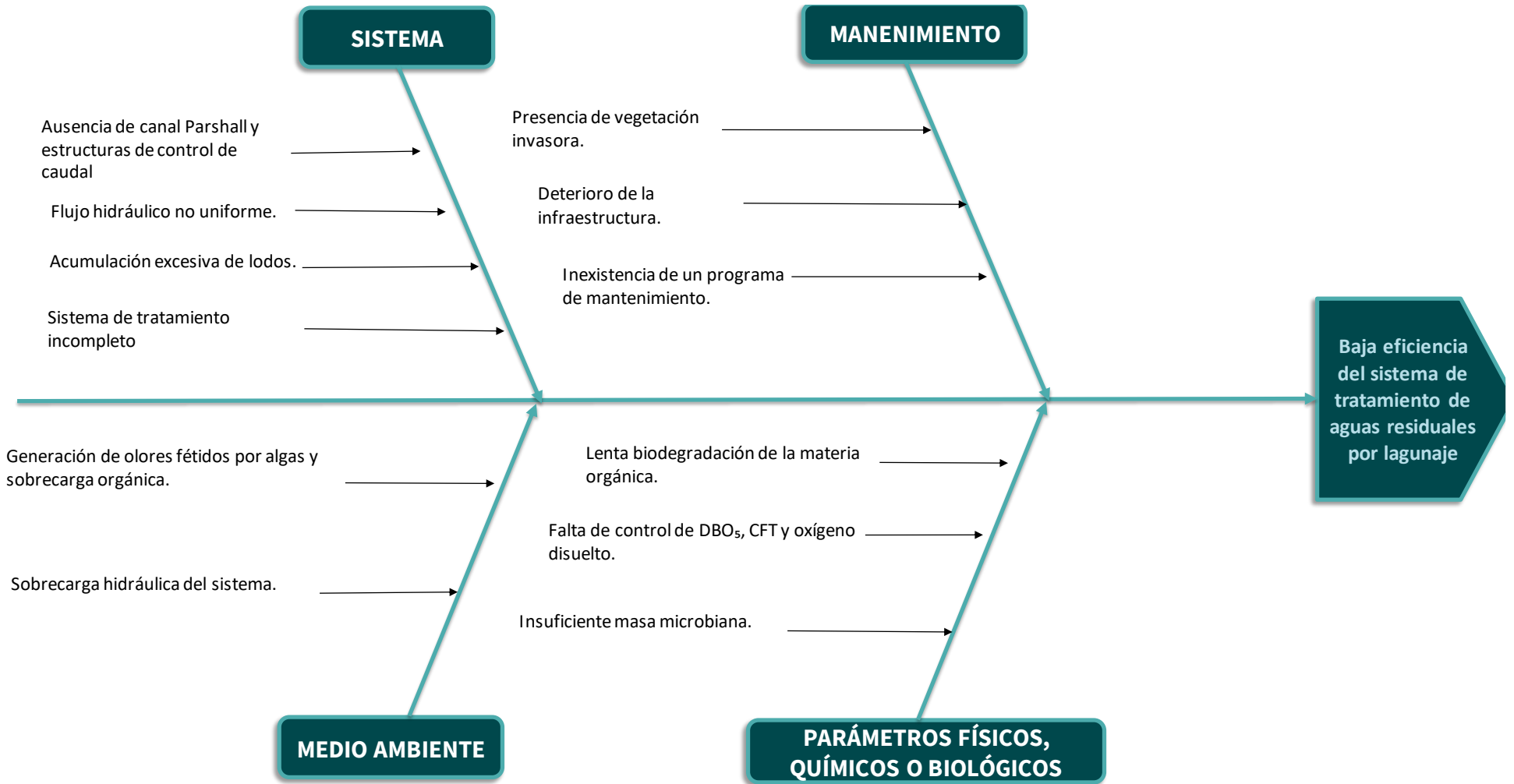
- [Último acceso: 20 Marzo 2024].
- [45] F. Perez De la Cruz, «www.ocw.bib.upct.es,» 2012. [En línea]. Available: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/12612/mod_resource/content/1/Tema%2004%20TRATAMIENTOS%20INICIALES.pdf. [Último acceso: 24 Abril 2024].
- [46] S. M. J. A. Sepulveda Mancipe Belquis Briceida, «Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado y desarenador) de aguas residuales,» Bogota DC, 2017.
- [47] S. De La Cruz Vega, C. Mendoza Flores, F. Arteaga Valdez y C. Toledo Toledo, «Diseño de canaleta Parshall,» *Minerva, multidisciplinary journal of scientific research*, vol. 3, n° 7, pp. 51-77, 2022.
- [48] SENACE, [En línea]. Available: <https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/filebase/senacenormativa/NAT-3-2-14-02-DS-021-2009-VIVIENDA.pdf>. [Último acceso: 26 Abril 2024].
- [49] weatherspark, «www.es.weatherspark.com,» [En línea]. Available: https://es.weatherspark.com/y/18253/Clima-promedio-en-M%C3%B3rrope-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette. [Último acceso: 26 Abril 2024].
- [50] E. Guayacundo Bernal, «Dimensionamiento de un sistema de lagunaje para la,» Colombia, 2021.
- [51] OEFA, La fiscalización ambiental en aguas residuales, Lima, 2014.
- [52] OEFA, «www.oefa.gob.pe,» 12 Noviembre 2013. [En línea]. Available: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13692. [Último acceso: 10 Mayo 2024].
- [53] Municipalidad Distrital de Mórrope, «gob.pe/munimorrope,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/munimorrope>. [Último acceso: 25 Octubre 2024].
- [54] A. Calixtro, «redanticorrupcion.pe,» [En línea]. Available: <https://www.redanticorrupcion.pe/wp-content/uploads/2019/10/Funcionamiento-del-Estado-Estructura-y-Competencias-del-Gobierno-Alberto-Calixtro.pdf>. [Último acceso: 25 Octubre 2024].
- [55] S. Torres Tello, «mef.gob.pe,» 2005. [En línea]. Available: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_public/documentacion/DiagnosticodelaGestionMunicipal.pdf. [Último acceso: 25 Octubre 2024].

- [56] S. Bravo, Á. Vásquez y J. Gamarra, «Eficiencia de consorcios microbianos probióticos en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales,» *Revista UCV*, 2020. [En línea]. Available: <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-hacer/article/view/555>. [Último acceso: 2 Junio 2023].
- [57] L. Marlaine y H. Eric, *Concepts of educational efficiency and effectiveness*, California, 1994.
- [58] R. Marín Galvín, *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos*, España: Díaz de Santos, 2020.
- [59] F. Perez De la Cruz, «www.ocw.bib.upct.es,» 2012. [En línea]. Available: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/12612/mod_resource/content/1/Tema%2004%20TRATAMIENTOS%20INICIALES.pdf. [Último acceso: 24 Abril 2024].

Anexos

Anexo 1

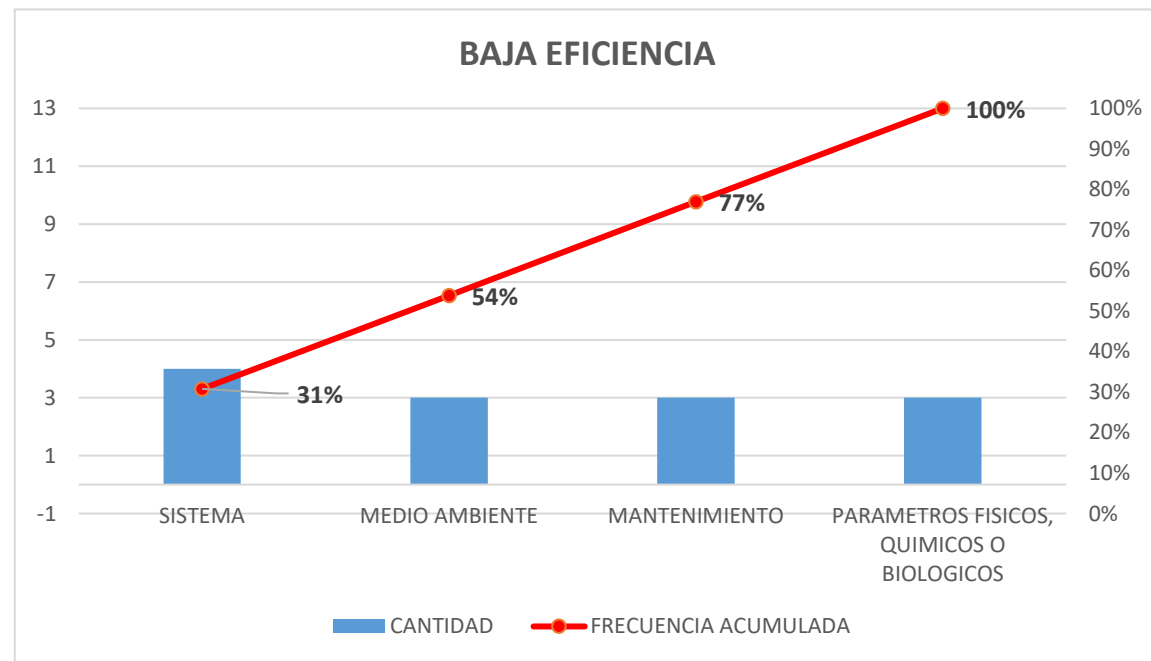
Ishikawa



Anexo 2

Pareto – Matriz de Ishikawa

Nº	CAUSA	CANTIDAD	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA
1	SISTEMA	4	31%	31%
2	MEDIO AMBIENTE	3	23%	54%
3	MANTENIMIENTO	3	23%	77%
4	PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS O BIOLÓGICOS	3	23%	100%
TOTAL=		13	100%	



Anexo 3

Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES		METODOLOGÍA		
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	VI: Mejora del sistema de Lagunaje	VD: Eficiencia	Población:	Tipo:	Técnicas:
¿En qué medida el desarrollo de una propuesta de mejora del sistema de Lagunaje en el tratamiento de las aguas residuales en el distrito de Mórrope aumenta su eficiencia?	Desarrollar una propuesta de mejora del sistema de Lagunaje en el tratamiento de las aguas residuales en el distrito de Mórrope para aumentar su eficiencia	El desarrollo de una propuesta de mejora del sistema de Lagunaje en el tratamiento de las aguas residuales en el distrito de Mórrope aumentará su eficiencia.			Lagunas Facultativas	Aplicada	Observación Entrevista
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica			Muestra:	Diseño:	Instrumentos :
¿Cuál será el diagnóstico del sistema de aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope?	Diagnosticar el sistema de tratamiento de aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope	El diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope brindará las causas de sus problemas.			Aguas residuales	No experimental	Lista de cotejo Cuestionario Guía de entrevista
¿En cuánto mejorará la nueva propuesta del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope para aumentar su eficiencia?	Elaborar la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope para aumentar su eficiencia.	La elaboración de la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope aumentará su eficiencia			Muestreo:	Enfoque: Cuantitativo	
¿Cuál será el beneficio económico de la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope?	Realizar el análisis económico de la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope.	Realizar el análisis económico-financiero de la propuesta de mejora del sistema de tratamiento de las aguas residuales en el sistema de Lagunaje de Mórrope indicará de manera monetaria si la propuesta es factible				Nivel: Descriptiva	

Anexo 4. Lista de cotejo de la EBAR y Laguna Facultativa – tratamiento microbiológico

Mórrope.

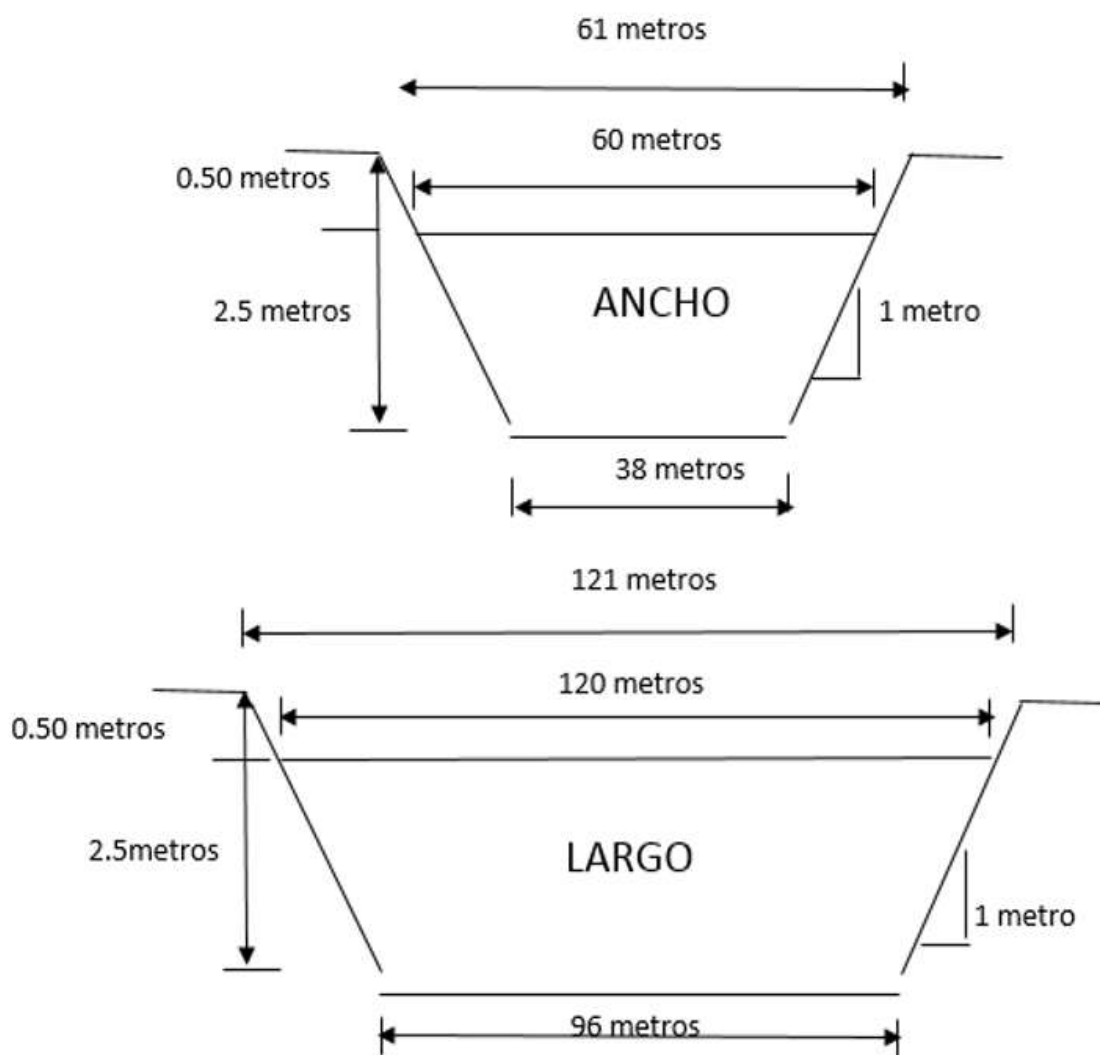
Instrucciones: Se presentan a continuación una serie de preguntas en las cuales se debe de marcar solo una alternativa, las respuestas son dicotómicas y se presentan a continuación:

Tratamiento Preliminar	Si	No
1. ¿La EBAR, cuenta con rejilla de alcantarillado para retener los residuos sólidos?	X	
2. ¿La rejilla de alcantarillado se encuentra en óptimas condiciones? (Físico – mecánicas roto, corroído, otros)		X
3. ¿La rejilla de alcantarillado retiene completamente los residuos sólidos? (Sobrepasa la capacidad mínima del 30%).		X
4. ¿Cuenta con desarenador para el tratamiento de aguas residuales?		X
5. ¿La laguna de Morrope cuenta con un sistema de bombeo?	X	
6. ¿El sistema de bombeo cuenta con el espacio e iluminación suficiente para la operación y mantenimiento?		X
7. ¿Cuenta con caudales máximos y mínimos dentro del horizonte de planeación del proyecto?		X
8. ¿La estación de bombeo cuenta con los servicios básicos para el operador?		X
9. ¿Se han realizado recientemente mantenimientos preventivos en el sistema de bombeo?		X
10. ¿El sistema de bombeo cuenta con un sistema de respaldo en caso de fallas o emergencias? (Apagones)		X
11. ¿El sistema de bombeo cuenta con alguna señal de alerta o alarma en caso de un mal funcionamiento?		X
Lagunas		X
12. ¿Cuenta con sistema de Lagunaje?	X	
13. ¿La profundidad de la Laguna oscila entre 1 y 2 metros?	X	
14. ¿La laguna está excavada en la tierra e impermeabilizada? (cuenta con geomembrana)		X
15. ¿La laguna presenta tres zonas bien definidas? (superficial, fondo y zona intermedia)	X	
16. ¿Las bacterias y algas coexisten simbióticamente en la zona superficial?	X	
17. ¿Los sólidos se acumulan y son descompuestos en el fondo de la laguna? (Lodo)	X	
18. ¿La descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas en la zona intermedia?	X	
19. ¿La laguna acumula materiales flotantes en la superficie? (botellas, trapos, etc.)	X	
20. ¿La Laguna tiene presencia de color rosa o rojizo? (producto de bacterias de azufre)	X	
21. ¿Considera que la Laguna emana olores desagradables?	X	
22. ¿La Laguna presenta anomalías de flujo? (localización deficiente de entradas y salida de aguas residuales)	X	
23. ¿Existe presencia de insectos o mosquitos? (por el crecimiento de plantas acuáticas)	X	
24. ¿Existe la presencia de crecimiento de plantas acuáticas y malas hierbas en los taludes?	X	

Elaboración Propia.

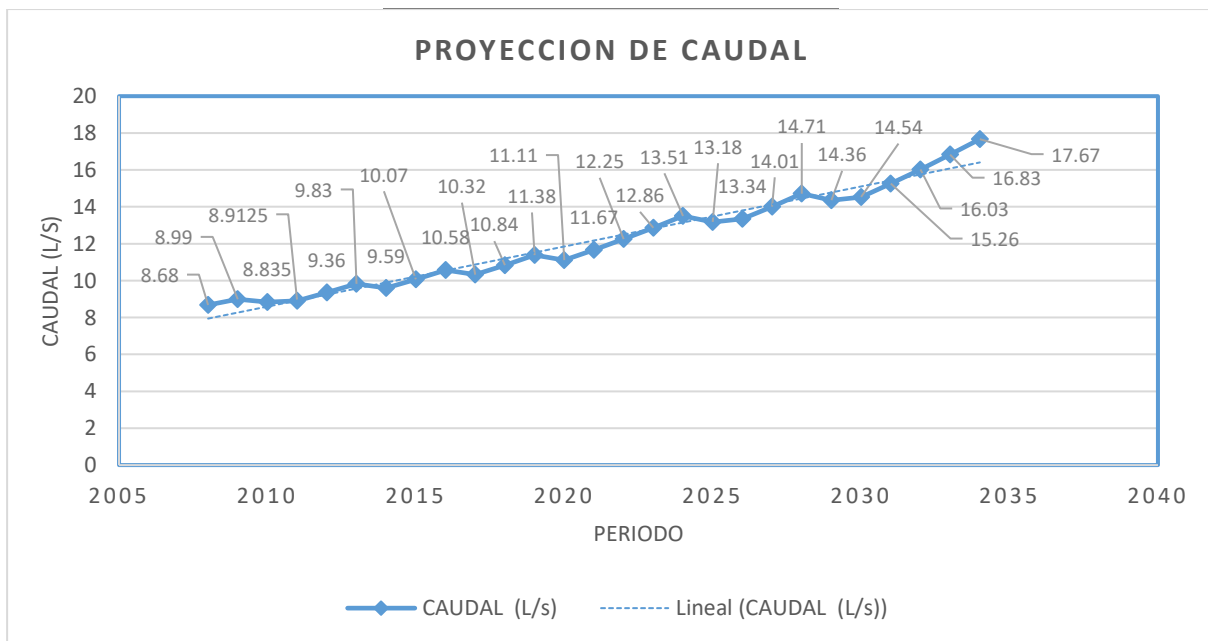
Anexo 5. Esquema actual de las lagunas facultativas

Laguna facultativa primaria y secundaria



Anexo 6. Proyecciones del caudal con su respectivo gráfico

AÑO	CAUDAL (L/s)
2008	8,68
2009	8,99
2010	8,835
2011	8,9125
2012	9,36
2013	9,83
2014	9,59
2015	10,07
2016	10,58
2017	10,32
2018	10,84
2019	11,38
2020	11,11
2021	11,67
2022	12,25
2023	12,86
2024	13,51
2025	13,18
2026	13,34
2027	14,01
2028	14,71
2029	14,36
2030	14,54
2031	15,26
2032	16,03
2033	16,83
2034	17,67



Anexo 7. Informe Actual de la Planta de Tratamiento de las aguas residuales (PTAR) distrito de Mórrope



INSTITUTO DE DESARROLLO SOCIAL SOSTENIBLE - ECOSISTEMA
"Cuidando el medio ambiente para una seguridad alimentaria"

INFORME N° 002/2020- ONG'D INDES/ L - MORROPE

A : JUAN C. LLAUCE DAMIAN
 Gerente de la Municipalidad de distrital de Mórrope

CC : Ingº RODOLFO BANCES INOÑAN
 Sub-Gerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad distrital de Mórrope

DE : EDWING M. MINCHAN OLIVARES
 Gerencia de Medio Ambiente Ong - Indes

ASUNTO : ADJUNTO INFORME RESPECTO AL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES (PTAR) DEL DISTRITO DE MORROPE, SITUADO EN LA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE", DE ACUERDO AL INSTRUMENTO DE GESTION AMBIENTAL.

FECHA : Mórrope 11 de Marzo del 2020.

: A través del presente me dirijo a Usted, y a la vez para comunicarle que le adjunto "Informe respecto al Estado Actual de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Mórrope, situado en la Provincia y Departamento de Lambayeque. Esto de acuerdo al Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM: "Decreto Supremo que Aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Establecen Disposiciones Complementarias; D.S.N° 003-2010-MINAM: "Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales", y el Decreto Supremo N° 010-2019- VIVIENDA-MVCS sobre: "Valores Máximos Admisibles (VMA) para las Descargas de Aguas Residuales No Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario", donde se informa los siguientes:

- a) La problemática generada por el vertimiento de aguas residuales al río Túcume – Mórrope se presenta desde el año 2008. Año en que fue ejecutado el proyecto denominado: Ampliación y Mejoramiento de los Servicios de agua potable y desagüe del pueblo de Mórrope" a cargo del CONSORCIO GRAU II".
- b) Existe un contrato entre la municipalidad y el sr. José Benito Olivos Santamaría donde el referido se compromete a reutilizar las aguas servidas debidamente tratadas por la municipalidad en su terreno de cultivo, fundo "La Lora" 10 has., fundo "San Miguel" 07 has. y fundo "Tinajones" 04 has. sembrando cultivos de tallo alto recomendados para este tipo de aguas, contrato que se realizó en el año que se ejecuta la obra.
- c) Con fecha 03 de Enero del 2018, se solicita 01 especialista para que realice la inscripción en el Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva-RUPAP, para el proceso de Adecuación Progresiva, formulación e implementación del proyecto de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del distrito de Mórrope, acogiendo al nuevo Decreto Legislativo 1285, cuyo objetivo es modificar el artículo 79 de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos además establecer un plazo de adecuación progresiva de los prestadores de saneamiento a lo establecido en los artículos 79,80,81 y 82 de la Ley N°

Anexo 8 RESULTADOS DE CARACTERIZACION – 2017

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



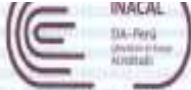
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA-Perú
Instituto Peruano de Acreditación
Registro N° LE – 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0917563

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	Municipalidad Distrital de Mórrope. PTAR	Municipalidad Distrital de Mórrope. PTAR	Municipalidad Distrital de Mórrope. PTAR	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0917563-01	0917563-02	0917563-03	-	-	-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Vertimiento Aguas Arriba 50M.	Vertimiento 0M	Vertimiento aguas abajo 50M	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
pH a 25°C	pH	NA	8.11	7.05	8.06	-	-	-
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	<LCM	191.5	5.3	-	-	-
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	<LCM	213.4	<LCM	-	-	-
(*) Sólidos Suspendidos Total	mg/L	2.5	14.5	51.0	17.5	-	-	-
(**) Aceites y Grasas	mg/L	2.5	<LCM	524.8	3.2	-	-	-

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
(*) Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	35x10 ²	54x10 ⁴	22x10 ³	-	-	-

Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química

Bigo. Enver Zulueta Santa Cruz
 Analista Responsable de Biología

IE 0917563

Cliente: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE MORROPE
 Localización: CALLE BOLOGNESI N° 402
 Atención: Hugo Walter Santamaría Suciupe

ENSAYOS			Municipalidad Distrital de Morrope PTAR	Municipalidad Distrital de Morrope PTAR	Municipalidad Distrital de Morrope PTAR	-	-	-	LMP (D.S-003-2010- MINAM)
Parámetro	Unidad	LCM							
Aceites y Grasas	mg/L	2.5	<LCM	524.8	3.2	-	-	-	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	<LCM	191.5	5.325	-	-	-	100
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	<LCM	213.4	<LCM	-	-	-	200
Sólidos Suspendidos Total	mg/L	2.5	14.5	51.0	17.5	-	-	-	150
* pH a 25°C	pH	NA	8.11	7.05	8.06	-	-	-	6.5 - 8.5
(*) Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.6	35x10 ³	54x10 ⁴	22x10 ³	-	-	-	10,000

INTERPRETACIÓN

- Los resultados de la muestra Municipalidad Distrital de Morrope.PTAR (Vertimiento aguas arriba 50Mt.), cumple los parámetros analizados, según D.S. N° 003-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales).
- Los resultados de la muestra Municipalidad Distrital de Morrope.PTAR (Vertimiento DMT.), no cumple los parámetros Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Coliformes Termotolerantes, según D.S. N° 003-2010-MINAM. (Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales).
- Los resultados de la muestra Municipalidad Distrital de Morrope.PTAR (Vertimiento aguas abajo 50Mt.), no cumple el parámetro de Coliformes Termotolerantes, según D.S. N° 003-2010-MINAM. (Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales).

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

 Rgo. Ronald A. Caceda Cuba
 RESPONSABLE DE LA CALIDAD
 CSP-4295

Cajamarca, 11 de Setiembre de 2017.

Anexo 9. RESULTADOS DE CARACTERIZACION - 2017



GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

GERENCIA REGIONAL DE RECURSOS NATURALES
Y GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

"AÑO DEL DIALOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL"

Cajamarca, 15 JUN 2018

OFICIO N° 119 2018-GR-CAJ/GR.RENAMA/LRA.

SEÑOR:

Hugo Walter Santamaría Súclope,
Jefe de Logística – Municipalidad de Morropo**PRESENTE****ASUNTO:** Solicitar realizar tramite de Pago de informe de Ensayo N° 0518289.

De mi consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, asimismo manifiestarle según resolución de superintendencia n.° 071 -2018/SUNAT, manifiesta que el porcentaje de detracción a partir del 1 de Abril del 2018 ha cambiado del 10% al 12% por lo que se solicita realizar el pago de la Factura E001 – 812 la cual fue generada según Orden de Servicio de la Municipalidad de Morropo N° 521, la cual corresponde al Informe de Ensayo N° 0518289; dichos documentos se adjuntos a la presente, no olvidar realizar el pago de detracción según se indica en el cuadro adjunto y enviar el comprobante del mismo:

Deposito:	CLIENTE	DIC	FACTURA	VALOR DE VENTA	IVV	DETRACCION (12%)	IVV MENUS DETRACCION	SALDO EFECTIVO DEPOSITADO
E001-812	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE MORROPÓ	20159667290	1344.38	1886.78	337.62	281.33	76.28	2803.05
Total			1344.38	1886.78	337.62	281.33	76.28	2803.05

Por lo que el cheque a girar sería por el importe de S/2063.05 (Dos mil Sesenta y Tres con 05/100 Soles) y el Deposito de Detracción sería S/ 281.33 (Docientos Ochenta y Uno con 33/100 Soles).

Agradeciendo de antemano la atención que brinde al presente, aprovecho la ocasión para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Hugo Walter Santamaría Súclope
Bigo, Juan V. Díaz Sáenz
RESPONSABLE

CC:
Archivo
IVIS/aud



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0518289

ENSAYOS			QUIMICOS					
Código Cliente			AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	-	-
Código Laboratorio			0518289-01	0518289-02	0518289-03	0518289-04	-	-
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra			LAGUNAS DE OXIDACION DISTRITO MORROPPE	LAGUNAS DE OXIDACION DISTRITO MORROPPE	LAGUNAS DE OXIDACION CP CRUZ DEL MEDANO	LAGUNAS DE OXIDACION CP CRUZ DEL MEDANO	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Temperatura (T°) campo	°C	N.A	23.4	24.1	24.5	25.0	-	-
Potencial de Hidrógeno (pH) campo	pH	N.A	7.73	8.00	7.12	7.96	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	730.0	43.0	130.0	120.0	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	627.0	101.0	334.5	249.5	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	1205	149.4	526.5	420.9	-	-
(*)Aceites y Grasas	mg/L	2.5	4.1	<LCM	4.0	<LCM	-	-
Coliformas Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	54 x 10 ⁸	24 x 10 ⁸	35 x 10 ⁸	11 x 10 ⁸	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
pH en campo	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4030-H+ B, 22 nd Ed. 2012. pH Value: Electronic Method
Temperatura en campo	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 22 nd Ed. 2012. Temperature: Laboratory and Field Methods
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D, 22 nd Ed. 2012. Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM, Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM, Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Coliformas Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 8211 A,B,C,E, 22 nd Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del método. Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA. NA: No aplica. ND: No determinado.

Anexo 10. RESULTADOS DE CARACTERIZACION - 2022



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D A
CON REGISTRO N° LE-064



INFORME DE ENSAYO N° IE 0322173B-I ⁽¹⁾

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE MORROPE		
Dirección	-		
Persona de contacto	Edwing Minchan Olivares/M&S AGROINDUSTRIA Y COMERCIO EIRL	Correo electrónico	eminchano@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	21.03.22	Hora de Muestreo	16:10 a 18:10
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	04		
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos-Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Lambayeque		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-240	Cadena de Custodia	CC - 173 - 22
Fecha y Hora de Recepción	22.03.22	14:40	Inicio de Ensayo 22.03.22 14:50
Reporte Resultado	06.04.22	17:00	

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Eddler Neyra Jalco
Responsable de Laboratorio



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - D A
CON REGISTRO Nº LE-084



INFORME DE ENSAYO Nº IE 0322173B-I ⁽¹⁾

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			EFLUENTE	AFLUENTE	-	-	-	-
Código Laboratorio			0322173-03	0322173-04	-	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	-	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Morape	Morape	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
pH a 25°C	pH	NA	7.51	7.47	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.6000	83.0	48.6	-	-	-	-
(¹) Temperatura (T)	°C	N.A.	18.48	18.47	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6000	46.4	68.0	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	6.3000	198.6	292.4	-	-	-	-
Acetas y Grasas	mg/L	1.7000	8.8	13.0	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método; valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Procedimiento aprobado por INACAL
Código de Registro: LE-084
Fecha de Emisión: 11/01/2014

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.0	17 x 10 ⁴	18 x 10 ⁶	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8 x 10⁴ y <1, significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrode Method.
Temperatura	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017. Temperature: Laboratory and Field Methods
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D, 23rd Ed. 2017. Solids: Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method
Acetas y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. 8, 2010: n-Hexane Extractable Material (HEM), Oil and Grease and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM: Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E, 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group: Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES


(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulados por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realice el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tergiversaciones o modificaciones.

Anexo 11.

	PERÚ	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento	Viceministerio de Construcción y Saneamiento	Dirección General de Asuntos Ambientales
---	------	--	--	--

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Lima, 11 JUL. 2018

OFICIO N° 3013 -2018-VIVIENDA-VMCS-DGAA

Señor
GUSTAVO CAJUSOL CHAPOÑÁN
Alcalde
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE MORROPE
Calle Bolognesi N° 402- Morrope
Lambayeque. -

Asunto : Inscripción del proyecto Ampliación y mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Morrope en el Registro Único de Adecuación Progresiva – RUPAP

Referencia : Hoja de Trámite N° 00096531-2018

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y, a la vez, comunicarle que esta Dirección General ha emitido la Constancia de Inscripción en el Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva – RUPAP N° 323, para la adecuación del proyecto Ampliación y mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Morrope, con el punto de reúso descrito con código N° V-PY-168-2. Cabe señalar que la inscripción en el RUPAP tiene eficacia desde el 07 de julio de 2018, fecha en que se registró su solicitud.

En ese sentido, se remite la Constancia de Inscripción en el Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva – RUPAP, al amparo de lo establecido en el párrafo 16.3 del artículo 16 del Reglamento de los artículos 4 y 5 del Decreto Legislativo N° 1285, que modifica el artículo 79 de la ley N° 29338, de Recurso Hídricos y establece disposiciones para la Adecuación progresiva a la autorización de vertimiento y/o reúsos y a los instrumentos de gestión ambiental, aprobado mediante Decreto Supremo N° 010-2017-VIVIENDA.

Es propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración.

Atentamente.


SEGUNDO FAUSTO RONCAL VERGARA
Director General
Dirección General de Asuntos Ambientales
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE MORROPE
SECRETARÍA GENERAL
MESA DE TRÁMITE DOCUMENTARIO

RECIBIDO

Exp. N° 58098 Foto: _____

Fecha: 19-07-18

Hora: _____

Firma: _____

Municipalidad Distrital de Morrope
Área de Asesoría Técnica para la Gestión de Recursos Hídricos y Saneamiento

RECIBIDO

Fecha: 25-07-18

Hora: 3:00 pm

Firma: [Firma]

Se adjunta:
Constancia de Inscripción en el Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva – RUPAP N° 323

Con copia:

- Autoridad Nacional del Agua – ANA
- Calle Diecisiete N° 355 - Urb. El Palomar, San Isidro
- Archivo

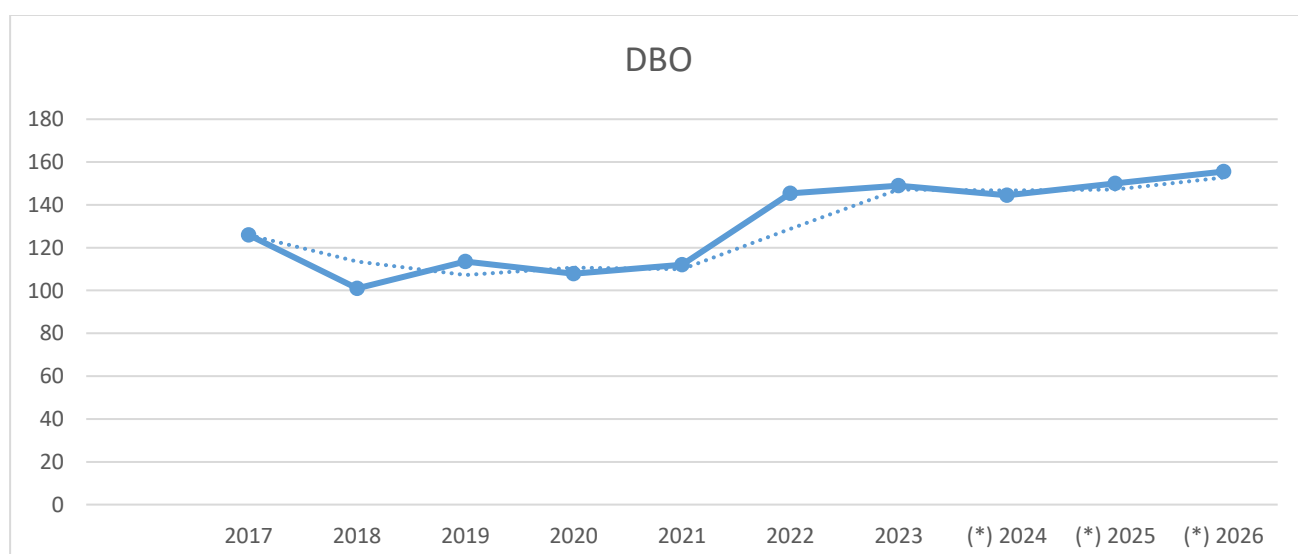
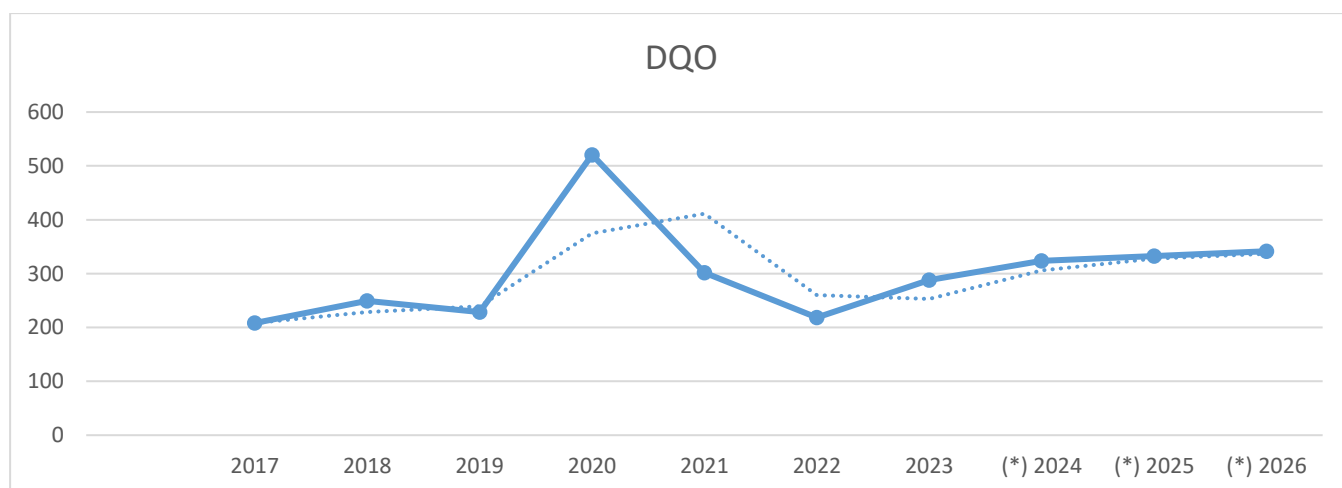
www.vivienda.gob.pe
medio.ambiente@vivienda.gob.pe

Av. Paseo de la República N°3361
Edificio Petropetro, San Isidro
Lima 27 – Perú.

SFRV/RGQ/est

Anexo 12. cálculo de la caracterización de parámetros para los periodos 2019, 2021, 2023, 2024, 2025 y 2026

AÑO	SST	DBO	DQO	ACEITE Y GRASAS	COLIFORMES FECALES
2017	102	126	208,3	4,08	11x10 ⁴
2018	43	101	249,4	4	24x10 ⁴
2019	72,50	113,50	228,85	4,04	17,5x10 ⁴
2020	68,88	107,83	520,75	3,84	16,6250x10 ⁴
2021	71,59	112,08	301,83	3,99	17,2813x10 ⁴
2022	48,60	145,40	218,50	8,80	17x10 ⁴
2023	67,76	148,91	287,94	10,00	17,2344x10 ⁴
2024	54,56	144,41	323,66	9,44	18,5893x10 ⁴
2025	51,26	149,98	332,60	10,41	18,6780x10 ⁴
2026	47,96	155,56	341,53	11,39	18,7668x10 ⁴



Anexo 13. Tabla. Estimación de remoción de planta de tratamiento en aguas residuales, periodos 2017-2024

PARAMETRO ANALIZADO	PERIODOS																D.S 003-2010-MINAM-LMP
	2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	151	102	730	43	440,5	72,5	418,4	68,88	434,9	71,59	83,5	48,6	376,4	73,58	287,5	54,56	150
Demanda bioquímica de oxígeno -DBO (mg/L)	191,5	126	627	101	409,25	113,50	388,79	107,83	404,13	112,08	169	145,4	165,52	148,91	193,73	144,41	100
Demanda química de oxígeno -DQO (mg/L)	213,14	208,3	1 205	249,4	709	228,85	532,8	520,75	665	301,83	232,4	218,5	592,9	290,25	471,4	324,99	200
Grasas y Aceites (mg/L)	14,8	4,08	4,1	4,0	9,45	4,04	8,98	3,84	9,33	3,99	13	8,8	12,72	10,00	11,98	9,44	20
Coliformes Fecales totales (NMP/100mL)	27x10 ⁴	11x10 ⁴	28x10 ⁴	24x10 ⁴	27,5x10 ⁴	17,5x10 ⁴	26,1250x10 ⁴	16,6250x10 ⁴	27,1563x10 ⁴	17,2813x10 ⁴	18x10 ⁴	17x10 ⁴	25,6302x10 ⁴	17,2344x10 ⁴	22,8512x10 ⁴	18,5893x10 ⁴	10 000

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14. Matriz de Leopold

ZONA:				LAGUNAS DE OXIDACION DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE MORROPE - ANEXO DE SAN MANUEL										Fecha de Elaboración: Setiembre del 2022		
				ACTIVIDADES										Fecha de actualización:		
FACTORES				PROCESO DE PRETRATAMIENTO		EBAR-ANAEROBIA			LAGUNAS	ACUMULACION Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS				Impacto ambiental positivo	Impacto ambiental negativo	PROMEDIO
				Caudal de ingreso de las aguas residuales	Manejo y Disposicion de residuos solidos	Preparación de Microorganismos eficaces	Aplicación de Microorganismos eficaces	Bombeo de aguas residuales	Maduración	Efluentes	Manejo y disposición de residuos solidos	Arrastres de solidos	Limpieza y Mantenimiento			
I M P A C T O	ABIOTICO	Suelo	Contaminacion del suelo	0	-54.00	-2	-9	-54	-54	-48	-54	-36	-48		9	-35.9
			Degradación del suelo	0	-20	-2	-25	-40	-42	-42	-60	-24	-60		9	-31.5
			Calidad del suelo	-1	-18	-20	-24	-48	-48	-48	-48	-24	-30		10	-30.9
		Agua	Aguas subterranas	-20					-24						2	-22
			Calidad del agua	-36	-56	-4	0	0	-48	-42	-24	-42	-42		8	-29.4
	Atmosfera	Nivel de olores	-42	-63	-25	-36	-42	-54	-54	-42	-42	-42		10	-44.2	
		Calidad del aire (Material particulado)														
				-20	-30	-30	-36	-30	-36		-30	-24	-30		9	-29.6
	A M B I E N T A L	BIOTICO	Flora	Arbustos	0	-12	-1	-20	-30	-36	-24	-18	-42		8	-27.4
				Cultivos	-18	-48	-2	-30	-36	-42	-54	-42	-30	-36		10
Fauna			Aves	-9	-12	-4	-20	-12	-24	-24	-18	-24	-24		9	-16.3
			Ganado vacuno	-27	-64	0	-20	-16	-42	-48	-30	-24	-24		9	-29.5
		Ganado caprino	-48	-63	0			-48	-56	-30	-24	-24		9	-32.9	
		Cerdos	-56	-72	0	-24	-12	-48	-72	-30	-24	-24		9	-40.8	
Cadenas troficas		-72	-24	-6	-36	-16	-15	-28	-36	-30	-35		10	-29.8		
Paisaje		Calidad de vida	-12	-48	-6	-24	-30	-30	-30	-48	-42	-42		10	-31.2	
			CALIDAD AMBIENTAL POSITIVO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			CALIDAD AMBIENTAL NEGATIVO	15	14	14		7	12	11	3	2	8			
			PROMEDIO	-24.1	-41.7	-7.3	-23.4	-28.2	-40.5	-42.4	-39.5	-28.7	-35.9			

Anexo 15. Sistema de pretratamiento conformada por: una cámara de rejas y un canal parshall

CRITERIO	CAMARA DE REJAS	CANAL PARSHALL
Descripción	Es un proceso mecánico que consiste en la separación de partículas sólidas basado según el tamaño de éstas. Al considerarse un proceso simple se necesita poca inversión.	El canal Parshall es un elemento primario de caudal con una amplia gama de aplicaciones para medir el caudal en canales abiertos. Es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado, es un medidor de régimen crítico.
Objetivo	Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior	Puede ser usado para medir el flujo en ríos, canales de irrigación o de desagüe, salidas de alcantarillas, aguas residuales, etc.
Diseño, instalación, operación y mantenimiento.	Las rejas están formadas por barrotes metálicos y se disponen transversalmente en el canal de entrada a la planta, antes del desarenador. La ubicación de las rejillas, tendrá que tener cierta inclinación, en relación al piso del canal en donde se pretender colocar. La instalación, operación y funcionamiento, es simple y no complicada.	Para el diseño del canal es necesario saber si el sitio de la ubicación esta influenciado por la operación de compuertas sobre el canal o sobre los canales laterales.
Ventajas	Debido a su diseño, existe una mejor prevención frente a bloqueos de sólidos de gran tamaño. No ofrece residuos que necesitan un tratamiento especializado, ya que lo es una separación de sólidos	Es una solución que con las condiciones adecuadas requiere de poco mantenimiento, ya que midiendo únicamente el nivel de la lámina de agua obtendremos el caudal.
Desventajas	El mantenimiento de la cámara de rejas debe ser permanente para evitar que el agua residual cruda pase por el bypass y afecte a las demás unidades de tratamiento.	Tienen unas medidas predeterminadas y en función de estas medidas se obtiene una relación nivel / caudal. El problema reside en que con el tiempo y dependiendo de la construcción de los canales parshall éstos pueden deteriorarse y no dar las prestaciones iniciales.

Anexo 16. Diseño del canal Parshall

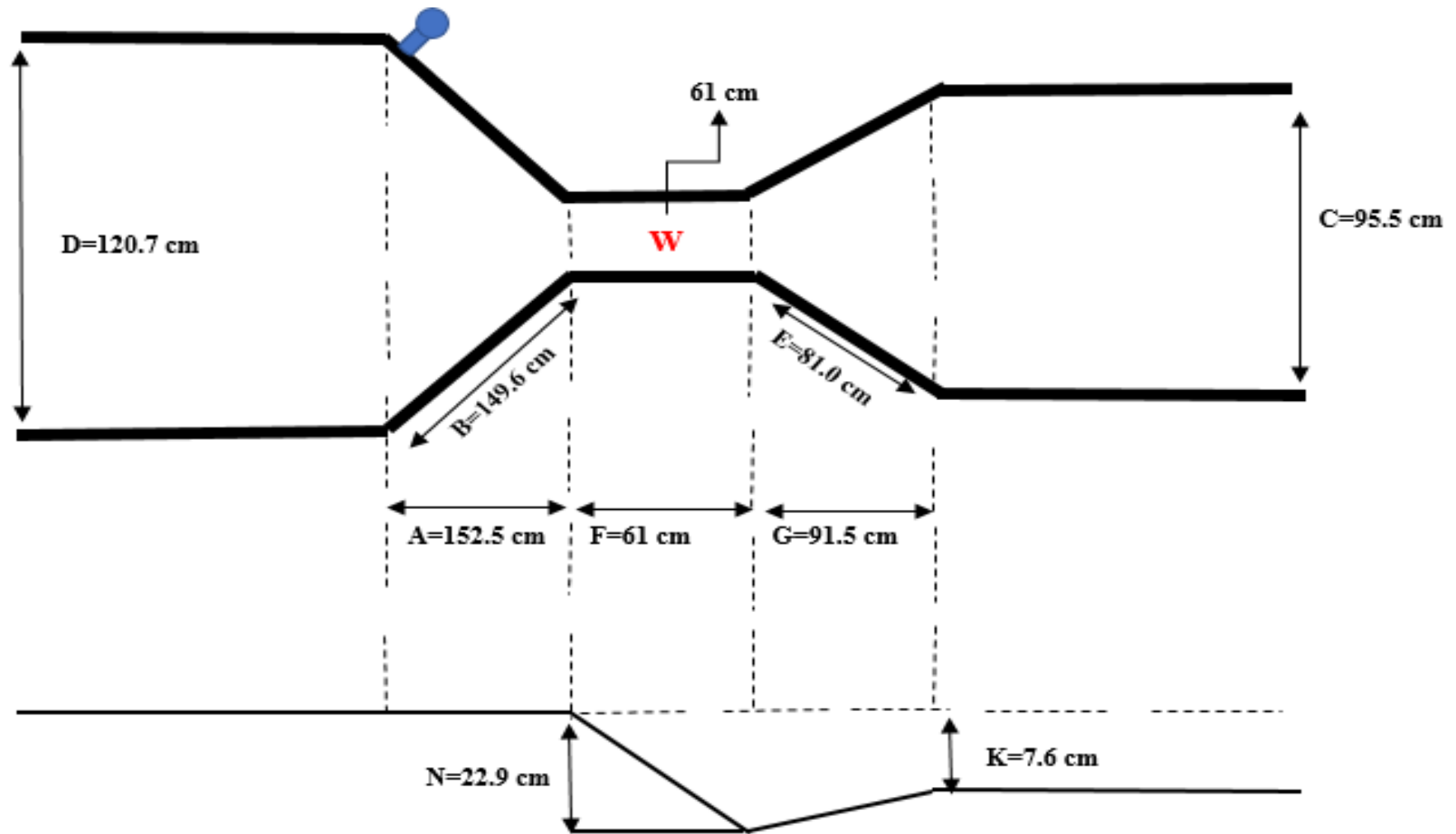
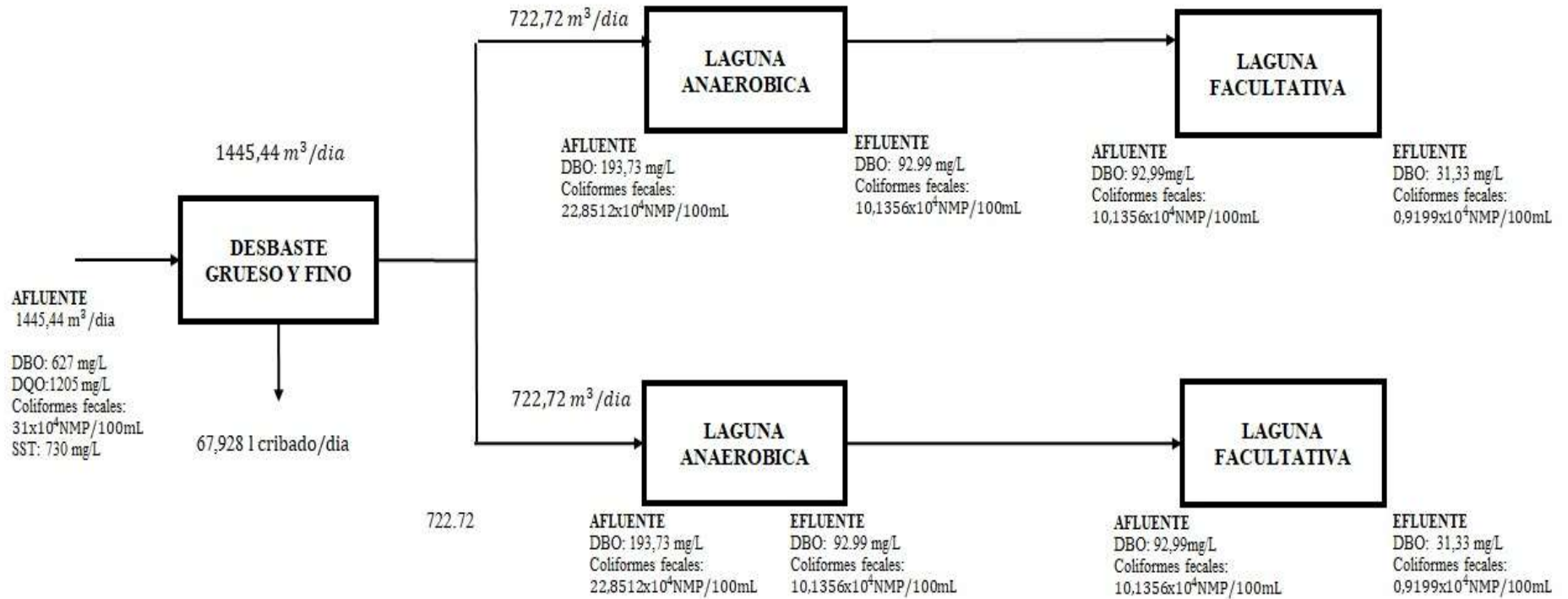


Figura: Diseño del canal Parshall.

Anexo 17. Balance de materia del sistema de tratamiento propuesto



Anexo 18. Programa anual de mantenimiento

Concepto	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Setiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Pretratamiento	[Celda grisada]																																															
Rejillas finas	[Celda verde]																																															
Canal Parshall	[Celda naranja]																																															
EBAR	[Celda grisada]																																															
Sistema de bombeo	[Celda roja]																																															
Instalaciones-Estructura	[Celda marrón]																																															
Tablero eléctrico	[Celda celeste]																																															
Sistema de lagunaje	[Celda grisada]																																															
Bordes y Taludes	[Celda marrón]																																															
Camino	[Celda marrón]																																															

Fuente: Elaboración propia

Verde	[Celda verde]	Mantenimiento semanal
Naranja	[Celda naranja]	Mantenimiento mensual
Rojo	[Celda roja]	Mantenimiento bimestral
Celeste	[Celda celeste]	Mantenimiento trimestral
Marrón	[Celda marrón]	Mantenimiento anual

Anexo 19. Programa anual de capacitaciones

Tema	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Dirigido a:	Costo	Objetivo	Duración
Ley N.ª 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo				X									Operarios	1 200,00	Conocer las responsabilidades del empleador y operario	2 horas
Seguridad en PTAR								X					Operarios	1 000,00	Conocer la manipulación de equipos y materiales	2 horas
Precauciones contra infecciones y enfermedades												X	Operarios	1 200,00	Conocer las posibles enfermedades expuestas en el sistema de lagunaje	2 horas
													Total=			6 horas

Anexo 20. Costos tangibles -Presupuesto de costos de sistema de pretratamiento

Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Trabajos preliminares				
Limpieza de terreno	m ²		8000,00	1,16 9280,00
Trazo y nivelación	m ²		7800,00	2,71 21138,00
Cámara de rejas				
Rejas de fierro galvanizado	m		5 70,00	350,00
Excavación	m ³		2 46,72	93,44
Concreto con cemento Portland Tipo IV	m ³		2 561,02	1122,04
Encofrado y desencofrado	m ²		2 64,71	129,42
Tarrajeo con impermeabilizante	m ²		2,5 42,29	105,73
Acero estructural	und.		6 6,73	40,38
Rejillas de desbaste	und		3 746,27	2238,81
Rejillas canal By pass	und		3 746,27	2238,81
Medidor Parshall				
Excavación	m ³		5 46,72	233,60
Concreto con cemento Portland Tipo V	m ³		3 561,02	1683,06
Encofrado y desencofrado	m ²		3 64,71	194,13
Acero estructural	und.		22 6,73	148,06
Tarrajeo con impermeabilizante	m ²		5 42,29	211,45
Distribuidor de caudales				
Plancha móvil para compuerta	m ²		1 350,00	350
Concreto con cemento Portland tipo V	m ³		0,5 561,02	280,51
Concreto f'c=100 kg/cm ² pisolado	m ²		1 32,15	32,15
Encofrado y desencofrado	m ²		1,5 64,71	97,065
Acceso a lagunas				
Rampa de acceso general a las lagunas	m		4 144,24	576,96
Plataforma para acceso	m ²		1 2,61	2,61
Enrocado de superficie de acceso	m ³		3 59,43	178,29
Total=				40724,51

Anexo 21. Costos tangibles-Presupuesto de costos de estructura de sistema de lagunaje

Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Estructura de laguna Anaeróbica				
Excavación	m ³	1398,68	26,72	37372,62
Concreto con cemento porland tipo V	m ³	4,00	561,02	2244,08
Concreto f'c=100 kg/cm ² pisolado	m ²	8,00	32,15	257,20
Encofrado y desencofrado	m ²	8,00	64,71	517,68
Tarrajeo con impermeabilizante	m ²	274,33	32,29	8858,08
Impermeabilización de fondo c/geomembranan de HDPE de 1,5 mm, tipo simple	m ²	274,33	14,97	4106,71
Impermeabilización de talud c/geomembranan de HDPE de 1,5 mm, tipo simple	m ²	566,32	14,97	8477,81
Eliminación de material excedente	m ³	69,93	23,36	1633,65
Estructura de laguna Facultativa				
Excavación	m ³	11176,61985	26,72	298639,28
Concreto con cemento porland tipo V	m ³	4,00	561,02	2244,08
Concreto f'c=100 kg/cm ² pisolado	m ²	8,00	32,15	257,20
Encofrado y desencofrado	m ²	8,00	64,71	517,68
Tarrajeo con impermeabilizante	m ²	7056,3599	32,29	227849,86
Impermeabilización de fondo c/geomembranan de HDPE de 1,5 mm, tipo simple	m ²	7056,3599	14,97	105633,71
Impermeabilización de talud c/geomembranan de HDPE de 1,5 mm, tipo simple	m ²	762,21	14,97	11410,28
Eliminación de material excedente	m ³	558,83	23,36	13054,29
Total=				723074,22

Anexo 22. Costos tangibles-Accesorios y equipos de protección personal

Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Accesorios				
Tubo Desagüe 8"x 6 m	8		159,50	1276
Codo Desagüe 4"x 90°	8		5,50	44
Tee PVC desagüe 4 sp	8		8,00	64
Equipo de protección personal				
Botas de seguridad	6		23,00	138,00
Respirador contra vapores orgánicos	6		35,00	210,00
Mamelucos	6		30,00	180,00
Lentes de seguridad	6		3,50	21,00
Casco de seguridad	6		5,50	33,00
Zapatos de seguridad	6		25,00	150,00
			Total=	2116,00

Anexo 23. Costos intangibles-Capacitación a personal

Descripción	Und.	Precio S/.	Parcial S/.
Ley N. º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo	1	1200	1200
Seguridad en PTAR	1	1000	1000
Precauciones contra infecciones y enfermedades	1	1200	1200
			Total= 3400

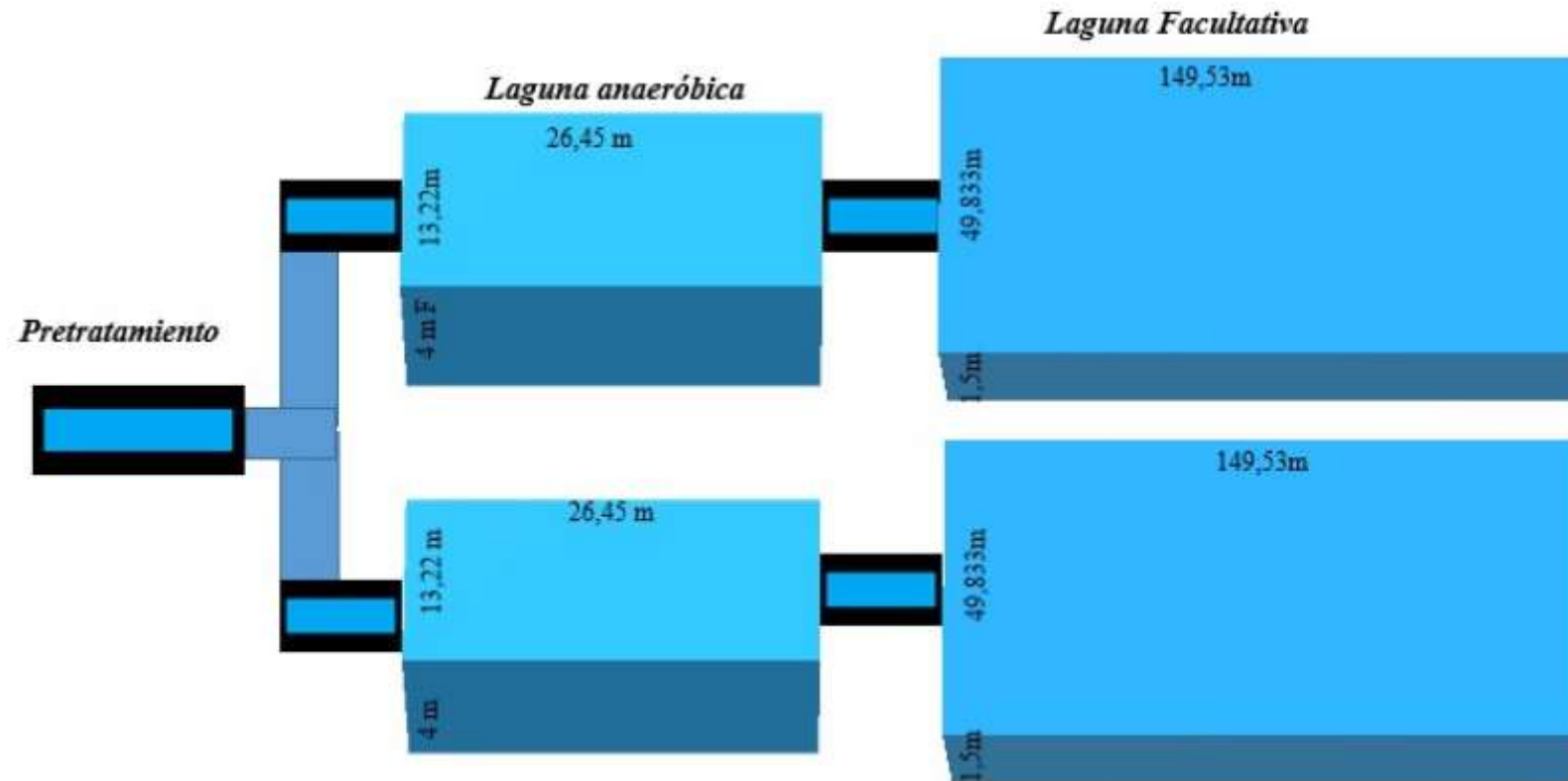
Anexo 24. Resumen del costo de inversión de las propuestas

Inversión	Cantidad	Elemento	Inversión
Costos Tangibles			
	1	Trabajos preliminares	60836,00
	1	Cámara de reja	6318,63
Sistema de Pretratamiento	1	Medidor Parshall	12351,50
	1	Distribuidor de caudales	1519,45
	1	Acceso a lagunas	757,86
Estructura de sistema de lagunaje	1	Laguna Anaeróbica	126935,67
	1	Laguna Facultativa	1319212,77
Accesorios y equipos de protección personal	1	Accesorios	2768,00
	1	Equipos de Protección	732,00
Mediciones de Parámetros	2	Mediciones de parámetros fisicoquímicos	12000,00
Costo de inversión Total=			1543431,88

Anexo 25. Tipificación de infracciones y escala de sanciones vinculados al incumplimiento de los límites máximos

CUADRO DE TIPIFICACIÓN DE INFRACCIONES Y ESCALA DE SANCIONES RELACIONADOS AL INCUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES				
LEYENDA				
Ley General del Ambiente:		Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente		
Ley del SINEFA:		Ley N° 29325 - Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental		
INFRACCIÓN	BASE NORMATIVA REFERENCIAL	CALIFICACIÓN DE LA GRAVEDAD DE LA INFRACCIÓN	SANCION MONETARIA	
1	Excederse hasta en 10% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que no califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	LEVE	De 3 a 300 UIT
2	Excederse hasta en 10% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 5 a 500 UIT
3	Excederse en más del 10% y hasta en 25% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que no califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 10 a 1 000 UIT
4	Excederse en más del 10% y hasta en 25% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 15 a 1 500 UIT
5	Excederse en más del 25% y hasta en 50% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que no califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 20 a 2 000 UIT
6	Excederse en más del 25% y hasta en 50% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 25 a 2 500 UIT
7	Excederse en más del 50% y hasta en 100% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que no califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 30 a 3 000 UIT
8	Excederse en más del 50% y hasta en 100% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 35 a 3 500 UIT
9	Excederse en más del 100% y hasta en 200% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que no califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 40 a 4 000 UIT
10	Excederse en más del 100% y hasta en 200% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 45 a 4 500 UIT
11	Excederse en más del 200% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que no califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 50 a 5 000 UIT
12	Excederse en más del 200% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que califican como de mayor riesgo ambiental.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	GRAVE	De 55 a 5 500 UIT
13	Exceder los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, generando daño real a la flora o la fauna.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	MUY GRAVE	De 100 a 10 000 UIT
14	Exceder los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, generando daño real a la vida o la salud humanas.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	MUY GRAVE	De 150 a 15 000 UIT
15	Exceder los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, generando daño real a la flora o la fauna, y sin contar con el título habilitante correspondiente.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	MUY GRAVE	De 200 a 20 000 UIT
16	Exceder los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, generando daño real a la vida o la salud humanas, y sin contar con el título habilitante correspondiente.	Artículo 117° de la Ley General del Ambiente y Artículo 17° de la Ley del SINEFA.	MUY GRAVE	De 250 a 25 000 UIT
<p>Nota 1: Lo dispuesto en la presente norma tiene por finalidad garantizar la aplicación efectiva de los principios de proporcionalidad, razonabilidad, gradualidad y no confiscatoriedad.</p> <p>Nota 2: Para efectos de la presente norma se considera parámetros de mayor riesgo ambiental los siguientes: cadmio, mercurio, plomo, arsénico, cianuro, dióxido de azufre, monóxido de carbono e hidrocarburos. La lista de parámetros detallada en el párrafo precedente podrá ser ampliada por Resolución de Consejo Directivo del OEFA.</p> <p>Nota 3: Para efectos de la presente norma se considera como Título Habilitante al acto administrativo que autoriza al administrado a descargar efluentes o emisiones hacia el ambiente, o que regula dichas descargas.</p>				

Anexo 26. Esquema de dimensionamiento de las lagunas propuestas.



Anexo 27. flujograma del proceso administrativo de ejecución de un proyecto.

