

Technical and Sustainable Design of a Domestic Wastewater Treatment Plant in the Santa Clara de Tulpo Village, Mollebamba – La Libertad, Peru

Yober Campos de la Cruz¹, Jair Azugaray Corales¹, Emzon Murga Torres¹, Juan Martell Ortiz¹

¹Escuela de Ingeniería Civil-Universidad César Vallejo, 13001, Trujillo, Perú, ymcampose@ucvvirtual.edu.pe,
jcorales@ucvvirtual.edu.pe, emurgat@ucv.edu.pe, jmartellor@ucvvirtual.edu.pe

Resumen

El presente artículo expone el diseño integral de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) adaptada a las condiciones ambientales, sociales y técnicas del caserío de Santa Clara de Tulpo, ubicado en el distrito de Mollebamba, La Libertad, Perú. Esta investigación responde a la urgente necesidad de dotar de infraestructura de saneamiento a comunidades rurales desatendidas, mitigando los riesgos sanitarios y la degradación ambiental producida por la descarga directa de aguas residuales domésticas sin tratar. Empleando una metodología multidisciplinaria que integró estudios topográficos, análisis de mecánica de suelos, proyecciones poblacionales y diseño hidráulico, se diseñó una PTAR eficiente y sostenible. La infraestructura está compuesta por un tanque Imhoff para la sedimentación primaria, filtros percoladores circulares para el tratamiento biológico secundario, lechos de secado de lodos y pozos de adsorción para el tratamiento terciario. Todos los componentes fueron dimensionados conforme a la Norma Técnica Peruana OS.090. El sistema propuesto alcanza una eficiencia de remoción del 94% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBOs₅), reduciendo la carga contaminante por debajo de los límites regulatorios nacionales. Este trabajo representa un aporte al avance del saneamiento rural y ofrece un modelo replicable para otras comunidades altoandinas [2].

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales, Saneamiento rural, Tanque Imhoff, Diseño hidráulico

Abstract

This paper presents the design of a sustainable wastewater treatment plant (WWTP) for the rural community of Santa Clara de Tulpo, located in the district of Mollebamba, La Libertad, Peru. The proposed system addresses the lack of basic sanitation, which directly impacts public health and environmental quality. The study involved topographic surveying, soil mechanics analysis, hydraulic modeling, and population projections for a 20-year horizon. The plant consists of an Imhoff tank, drying beds, percolating biofilters, and adsorption wells. These units were designed following the Peruvian Technical Standard OS.090. The system achieved an estimated 94% removal of

biochemical oxygen demand (BOD₅), ensuring effluent quality within environmental limits. This work offers a viable and replicable solution for small rural communities lacking proper wastewater treatment infrastructure.

Keywords: Wastewater Treatment, Rural Sanitation, Public Health, Sustainable Infrastructure

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los antecedentes internacionales revisados, se indicó que, según datos arrojados por del Banco Mundial, América Latina genera diariamente más de 225.000 toneladas de residuos sólidos, producto de una población que supera los 4 600 millones de habitantes, a pesar de esta considerable producción de residuos, la administración de aguas residuales presenta un panorama desalentador, menos del 5% de las aguas de alcantarillado pasan por una transformación de tratamiento anteriores de ser liberadas en las estructuras de agua naturales, lo que evidencia una deficiencia significativa en la infraestructura y métodos de purificación de aguas residuales en el territorio.

Según la OMS, el saneamiento y agua dulce es de prioridad para la salud de la humanidad y el avance sostenible, especialmente en zonas rurales donde las poblaciones suelen enfrentar mayores desafíos en este ámbito, ya que muchas de las zonas rurales la falta de interés de las autoridades dejan de lado a las zonas en donde la pobreza aumenta significativamente, esto se debe que estos lugares no cuentan con un plan de saneamiento adecuado o incluso muchos de ellos siguen viviendo sin los servicios básicos de alcantarillado.[1]

En una investigación realizada por Gómez, la gestión de aguas residuales en estas áreas a menudo se realiza de manera inadecuada, lo que permite riesgos para el ambiente y la salud, la implementación de un PTAR [2-5], se presenta como una solución crucial para optimizar la calidad de vida así mismo proteger los recursos hídricos, esta investigación se centró en analizar los desafíos y las oportunidades que se presentan en la

construcción y operación de las plantas en el contexto peruano, con el objetivo de mejorar a la búsqueda de nuevas soluciones sostenibles en el tratamiento de aguas residuales. [6]

Según Sánchez, en que buscan analizar el contenido de nutrientes y metales en lodos que provienen de una PTAR, buscando estudiar e identificar cuáles son los contenidos de nutrientes ya que los lodos contienen una combinación de materia inorgánica y orgánica, procedentes de aguas domésticas, industriales y comerciales las cuales contienen una diversidad de contaminante, por lo que no son aprovechados en su totalidad.

Según Romero, en su investigación sobre la operación de las PTAR en el municipio de Cundinamarca-Madrid en donde se identificó los procedimientos técnicos que se debe tener para la funcionalidad de la planta, donde se tomó como elemento prioritario el agua para el desarrollo de todo ser vivo, por lo que el cuidado y la importancia debe ser primordial, por lo que el gobierno debe tomar medidas en el control del tratamiento de las aguas residuales que son vertidas a los ríos y llegando hasta los mares lo que genera que los desechos contaminen el medioambiente y ayuden a la transmisión de enfermedades de la población, afectando la salud pública.[4,7]

Para Robayo, la influencia de las plantas de tratamientos en municipalidades muestra la importancia y el impacto que estas tienen en la lucha para mitigar la contaminación ambiental y los efluentes que emiten las fábricas industriales que se encuentran por la zona, para ello se calculó el área de influencia, por lo que Colombia es el tercer país en ser reconocido por su cantidad de recursos hídricos, esto ha generado que el uso del agua sea desmedido principalmente por las actividades mineras, la agricultura y en desarrollo de las ciudades, por lo que la implementación de una PTAR es una de las mejores opciones estratégicas para reducir la contaminación.

Un análisis realizado en el 2020, en el que buscó evaluar los aspectos de sostenibilidad ambiental, social y económica, al tener esta comparación las regulaciones de aguas residuales, en las que se destacan diferencias significativas en la emisión de gases principalmente el efecto invernadero afectado la salud, debido a que las aguas residuales son vertidas al río.[8]

El estudio de Silva, en el que evaluó como los desechos de las plantas afectan la contaminación de los ríos y fuentes de agua receptores, al analizarse plantas de tratamiento que tienen diferentes tamaños de población y diferentes tipos de tratamientos, para lo que recolectó muestras para ver los desechos de cada planta y así analizar los contaminantes como los metales compuestos químicos. [9-11]

Según el estudio realizado en 2022, dice que el agua residual que se desecha al río Chiriaimo genera problemas a las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Chiriaimo, ya que se vierten aguas

residuales directamente al río sin ser tratadas adecuadamente, acorde a su revisión general de la PTAR, evidencio que estos 4 sistemas de tratamiento que se ubican en San José de Oriente y Betania, se encuentran sin funcionar, por lo cual el concluye que no se realizan una depuración adecuada para el agua residual que se vierte cada día y que siguen sin ser tratadas, en cuanto a su prototipo de sistema de PTAR, nos dice que las diferentes de aguas que se tienen son de (0.12m, 0.21m y 0.30m) siendo estas las adecuadas establecidas por la resolución de su país 0.635 del año 2015, ya que se considera que la altura máxima y optima es de 0.30m, entonces este concluye que cumple con lo establecido y esta planta de tratamiento tiene como objetivo depurar más cantidad de agua y pues mediante el diseño esta demostró tener grandes cualidades para remover nutrientes que son contaminantes para el medio ambiente. [12]

La presente investigación se enmarca en este contexto crítico y tiene como objetivo diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para el caserío de Santa Clara de Tulpo, ubicado en el distrito de Mollebamba, provincia de Santiago de Chuco, región La Libertad. Esta comunidad, al igual que muchas otras del país, vierte sus aguas residuales directamente a cursos naturales sin ningún tipo de tratamiento, lo que genera un impacto negativo tanto para el entorno natural como para la salud de sus habitantes. A partir del diagnóstico situacional, se identificó la necesidad urgente de una solución técnica viable, sostenible y adaptable a las condiciones del terreno, la población y los recursos disponibles.

La pregunta central que guía esta investigación es: ¿Qué tipo de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales puede implementarse en Santa Clara de Tulpo para reducir la contaminación de fuentes hídricas y proteger la salud pública local? La propuesta presentada se fundamenta en principios de eficiencia hidráulica, sostenibilidad operativa y adecuación normativa, siguiendo los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), particularmente la Norma Técnica OS.090 sobre drenaje sanitario y plantas de tratamiento. [6,13]

La novedad del presente trabajo radica en su enfoque integral y contextualizado. A diferencia de otras propuestas generalizadas, este diseño toma en cuenta variables específicas del entorno físico (como la topografía, el tipo de suelo y la altitud), así como variables sociales (como el tamaño poblacional proyectado, el nivel de participación comunitaria y la disponibilidad de recursos locales).

II. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, transversal y de tipo aplicado. Esta elección metodológica se sustentó en la necesidad de generar un diseño técnico de infraestructura sanitaria sobre la base de datos empíricos medibles, sin manipular las variables del entorno, y en un contexto real de deficiencia en saneamiento rural. El propósito fue proponer

una solución viable a una problemática existente, utilizando herramientas ingenieriles adaptadas al contexto local.

A. Definición del área de estudio

El área de intervención corresponde al caserío de Santa Clara de Tulpo, ubicado a 3,117 m.s.n.m., en el distrito de Mollebamba, provincia de Santiago de Chuco, región La Libertad, Perú. El sitio propuesto para la construcción de la planta fue seleccionado por su cercanía al núcleo poblacional, su topografía favorable y su disponibilidad legal. Las coordenadas geográficas del terreno se determinaron mediante tecnología GNSS diferencial (RTK), usando equipos CHCNAV i93, lo que permitió un levantamiento topográfico de alta precisión y generación de planos en AutoCAD Civil 3D.

B. Recolección y análisis de datos

La recolección de datos abarcó tanto fuentes primarias como secundarias. Entre las primarias, se realizaron calicatas manuales en tres puntos estratégicos del terreno, a 2 metros de profundidad, para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Las muestras obtenidas fueron analizadas en laboratorio conforme a normas ASTM y NTP, ejecutando ensayos de humedad natural, límites de Atterberg, análisis granulométrico, peso unitario seco, cohesión y clasificación SUCS. La capacidad portante fue calculada empleando el método de Terzaghi, considerando cimentaciones superficiales.

Adicionalmente, se efectuó un análisis demográfico y estadístico basado en información censal (INEI 2007 y 2017), sobre el cual se aplicaron cinco métodos de proyección poblacional: geométrico, logarítmico, aritmético, Malthus y de mínimos cuadrados. El método logarítmico fue seleccionado por su mayor coeficiente de correlación con los datos históricos. Se proyectó una población futura de 1,049 habitantes al año horizonte 2045, tomando como base una tasa de crecimiento moderada.

C. Cálculo del caudal de diseño

Con base en la dotación per cápita de 100 L/hab/día (según RNE OS.070) y un coeficiente de retorno del 80%, se estimó un caudal promedio diario de 1.58 L/s. El caudal máximo horario fue de 2.19 L/s, al cual se sumaron márgenes de escorrentía e infiltración para obtener un caudal total de diseño de 1.694 L/s. Este valor sirvió de base para el dimensionamiento de cada unidad de la planta.

D. Diseño hidráulico y estructural

El diseño de la PTAR se realizó mediante herramientas digitales:

- AutoCAD Civil 3D, para planos topográficos y distribución de unidades.
- Excel técnico, para cálculos hidráulicos y volumétricos.

- S10, para metrados y análisis de costos.
- SAP2000, para análisis estructural de unidades de concreto armado.

Las unidades de tratamiento diseñadas fueron:

- Tanque Imhoff
- Filtros percoladores
- Lecho de secado de lodos
- Pozos de adsorción

Todas las unidades fueron diseñadas conforme a los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana OS.090 – Drenaje Sanitario, asegurando su funcionalidad en contextos rurales y altoandinos.

Table 1. Resumen de actividades

| Actividad | Herramienta/Técnica | Propósito |
|---------------------------|---|--|
| Levantamiento topográfico | GNSS RTK, AutoCAD Civil 3D | Definir relieve, pendientes y ubicación óptima |
| Estudio de suelos | Calicatas, ensayos ASTM | Determinar tipo de suelo y capacidad portante |
| Proyección poblacional | Métodos estadísticos (INEI, Excel) | Estimar demanda futura del sistema |
| Cálculo de caudales | Dotación normada y coeficiente de retorno | Dimensionar hidráulicamente la planta |
| Diseño de unidades PTAR | Excel, AutoCAD, SAP2000 | Establecer dimensiones y estructura funcional |
| Normativa aplicable | OS.090, E.050, E.060 | Asegurar cumplimiento técnico y legal |

Fuente: De los autores

E. Criterios de selección metodológica

Se optó por esta metodología porque permite obtener un diseño que responde tanto a las condiciones técnicas del terreno como a las necesidades sociales de la población. A diferencia de métodos convencionales centralizados, esta estrategia propone un enfoque descentralizado, con unidades modulares y autosuficientes que requieren un mantenimiento mínimo y no dependen de energía eléctrica, lo cual es esencial en comunidades sin acceso a servicios públicos constantes.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo, el análisis técnico y el proceso de diseño permitieron demostrar la viabilidad y efectividad del sistema propuesto para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad rural de Santa Clara de Tulpo. A continuación, se exponen los hallazgos más relevantes, organizados por áreas temáticas clave.

A. Caracterización topográfica y geotécnica

El levantamiento topográfico reveló una superficie útil de 587.44 m² con pendientes menores al 2%, lo cual es ideal para un sistema de tratamiento por gravedad, eliminando la necesidad de bombeo. El terreno está ubicado a una altitud de 3,117 m.s.n.m. y cumple con condiciones de accesibilidad, lo que facilita tanto la construcción como el mantenimiento de la infraestructura.

Los análisis geotécnicos determinaron que el suelo presenta una textura predominantemente arcillosa de baja plasticidad (CL), con una cohesión media de 0.18 kg/cm² y un peso unitario seco promedio de 1.55 g/cm³. La capacidad portante admisible, calculada según el método de Terzaghi, fue de 0.61 kg/cm² para zapatas corridas, lo que garantiza la estabilidad de las unidades proyectadas. No se detectó presencia de napa freática hasta los 2.0 metros de profundidad.

B. Demanda proyectada y caudal de diseño

A partir de los métodos de proyección poblacional aplicados al caserío, se estimó una población futura de 1,049 habitantes para el año 2045. Considerando una dotación de 100 L/hab/día y un coeficiente de retorno del 80%, el caudal promedio diario se calculó en 1.58 L/s. Con un coeficiente de variación horario de 1.4, el caudal máximo horario ascendió a 2.19 L/s. El caudal total de diseño, considerando infiltración y escorrentía, se estableció en 1.694 L/s.

$$Q_d = PDXR/86400 \dots (1)$$

Donde:

- Q_d : Caudal diario promedio (L/s)
- P : Población proyectada (1,049 habitantes)
- D : Dotación de agua por habitante (L/hab/día), según la norma OS.070 (en este caso, 100 L/hab/día)
- R : Coeficiente de retorno (proporción de agua que retorna como aguas residuales, usualmente 0.80)

Para convertir a litros por segundo, hicimos uso de la ec.

(1)

$$Q_d = \frac{1049 \times 100 * 0.80}{86400}$$

$$= \frac{83.92}{86400} = 0.97 \frac{L}{s}$$

Estos datos permitieron dimensionar un sistema que no solo responde a la demanda actual, sino que prevé una capacidad sostenible para al menos dos décadas.

C. Diseño técnico de la PTAR

Con base en los parámetros hidráulicos y sanitarios, se diseñaron las siguientes unidades:

Table 2. Resumen de PTAR

| Unidad | Dimensiones | Función principal |
|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Tanque Imhoff | 6.00 m (L) x 3.30 m (A) x 5.60 m (H) | Sedimentación primaria y digestión de lodos |
| Filtros percoladores (2) | 6.00 m (D) x 3.00 m (H) | Tratamiento biológico aeróbico secundario |
| Lecho de secado | 11.98 (L) x 8.72 (A) x 0.25 (H) | Deshidratación de lodos estabilizados |
| Pozos de adsorción (2) | 2.00 m (D) x 2.12 m (P) | Tratamiento terciario por percolación natural |

Fuente: De los autores

El sistema completo fue diseñado según los criterios de la Norma Técnica OS.090 y tiene una eficiencia proyectada de remoción de DBO₅ del 94.05%. Esto representa una reducción de la carga contaminante desde 229.33 mg/L hasta 13.64 mg/L, situándose muy por debajo del límite legal de 50 mg/L, establecido por la normativa peruana para vertimientos.

La investigación proporciona una solución integral, contextualizada y replicable para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de alta montaña. A diferencia de los sistemas convencionales que requieren componentes electromecánicos, esta propuesta funciona por gravedad, no requiere energía eléctrica y utiliza materiales y procesos constructivos de bajo costo.

Además, su diseño modular permite adaptaciones futuras sin rediseñar todo el sistema. Su utilidad se proyecta no solo para Santa Clara de Tulpo, sino también para otras comunidades rurales con condiciones similares de altitud, topografía, y limitaciones presupuestales.

Los resultados obtenidos superan en eficiencia y adecuación técnica a los modelos reportados por Benavides (2024)[2], Gómez (2019) y Barriga (2022)[1], donde la eficiencia promedio de remoción se situó entre 80% y 90%. La implementación de pozos de adsorción como tratamiento terciario es una innovación en este tipo de sistemas, reduciendo la carga final sin necesidad de cloración ni procesos complejos.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman la viabilidad técnica, económica y social del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) adaptada al contexto rural andino, como el del caserío de Santa Clara de

Tulpo. La implementación de tecnologías apropiadas, como el tanque Imhoff y los filtros percoladores, combinadas con pozos de adsorción como solución de tratamiento terciario, permitió proyectar una eficiencia del 94.05% en la remoción de DBO₅, superando ampliamente el umbral mínimo exigido por la normativa peruana.

El logro de una alta eficiencia sin depender de sistemas eléctricos ni de operadores especializados demuestra que es posible diseñar soluciones de saneamiento ambiental sostenibles, incluso en comunidades que presentan severas limitaciones de infraestructura y recursos. Este hallazgo es crucial, ya que una de las barreras más frecuentes para la expansión del saneamiento rural en el Perú es la falta de continuidad operativa y el abandono de sistemas por ser inadecuados para el contexto real. Al responder a esa necesidad, este proyecto plantea un enfoque replicable para otras localidades altoandinas.

Comparando los resultados con trabajos similares, se observa que este diseño presenta ventajas significativas. Por ejemplo, Benavides (2024)[2] propuso una planta en Huamboya basada en biodigestores, que si bien alcanzó una remoción del 90%, requería mantenimiento mensual especializado. Por su parte, Gómez (2019) diseñó una planta en Puno con eficiencia del 85%, pero con dificultades para operar en climas fríos debido al uso de lagunas anaerobias. A diferencia de esos estudios, nuestra propuesta mantiene un rendimiento superior incluso bajo condiciones de baja temperatura ambiental, gracias a la incorporación de unidades cerradas y compactas.

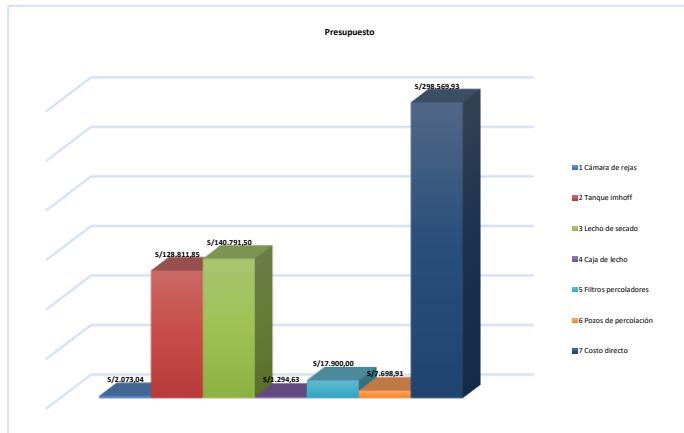
Desde una perspectiva práctica, los resultados permiten establecer un modelo base para gobiernos locales, ONGs y programas estatales de saneamiento rural. La simplicidad operativa del sistema facilita su transferencia tecnológica y social a comunidades sin acceso constante a electricidad o personal capacitado. Además, el bajo costo de operación y mantenimiento lo convierte en una alternativa viable dentro de presupuestos municipales reducidos. La modularidad del diseño ofrece la posibilidad de escalamiento en función del crecimiento poblacional futuro, sin necesidad de rediseñar por completo el sistema.

En términos teóricos, este estudio contribuye al cuerpo de conocimiento sobre ingeniería sanitaria rural, aportando evidencia de que es posible alcanzar altos estándares de tratamiento sin recurrir a tecnologías de alto costo ni a soluciones convencionales de carácter urbano. Asimismo, promueve el enfoque de “ingeniería contextualizada”, una corriente que defiende el diseño basado en las características ambientales, sociales y culturales del lugar, más allá de la simple aplicación de normas técnicas.

Este trabajo también respalda la idea de que la descentralización de sistemas de saneamiento puede ser más eficiente y sostenible en entornos dispersos y rurales, desafiando la lógica tradicional de macro infraestructuras.

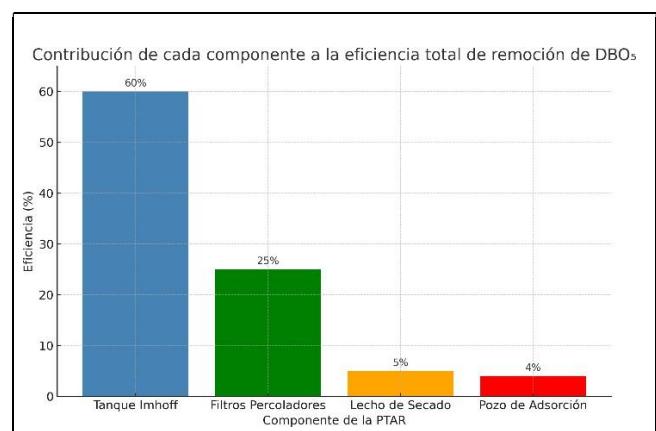
centralizadas. Esto abre nuevas líneas de investigación sobre tecnologías apropiadas para saneamiento rural y plantea la necesidad de actualizar ciertos marcos normativos para incorporar soluciones alternativas validadas técnicamente.

Gráfico 1. Presupuesto de la PTAR.



Fuente: de los autores

Gráfico 2. Eficiencia de cada componente de la PTAR.



Fuente: de los autores

V. CONCLUSIONES

La presente investigación logró diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) adaptada a las condiciones técnicas, ambientales y sociales del caserío de Santa Clara de Tulpo, resolviendo de forma integral el problema identificado en la introducción: la ausencia total de infraestructura de saneamiento y la descarga directa de aguas residuales en cuerpos naturales. La propuesta responde a esta problemática con una solución de bajo costo, eficiente y sostenible, adecuada para contextos rurales altoandinos.

Entre los principales logros del estudio se destacan:

- El diseño de una PTAR con tecnología no convencional, basada en flujo por gravedad, sin necesidad de energía eléctrica, compuesta por un tanque Imhoff, filtros percoladores, lechos de secado y pozos de adsorción.

- La estimación precisa de la demanda futura, basada en proyecciones poblacionales a 20 años, que permitió dimensionar las unidades para una población de 1,049 habitantes y un caudal de diseño de 1.694 L/s.
- La obtención de una eficiencia proyectada de remoción de DBO₅ del 94.05%, lo que sitúa al sistema por debajo de los límites permisibles de vertimiento según normativa nacional, garantizando así la protección del recurso hídrico y la salud pública.

Los beneficios de la solución propuesta incluyen: facilidad de operación, bajos costos de mantenimiento, compatibilidad con las capacidades locales, replicabilidad en otras comunidades rurales con condiciones similares y alineamiento con los principios de sostenibilidad ambiental. Además, su diseño modular y escalable permite futuras ampliaciones sin rediseñar el sistema completo.

Como líneas futuras de investigación se recomienda:

- Desarrollar estudios piloto en campo para validar el desempeño real de la planta.
- Incluir evaluaciones económicas de ciclo de vida que comparan el sistema con otras tecnologías rurales.
- Investigar el uso de soluciones híbridas, como humedales construidos, que podrían integrarse como tratamiento terciario complementario.
- Proponer modificaciones normativas que reconozcan formalmente este tipo de soluciones descentralizadas como válidas para proyectos de saneamiento rural en el Perú.

VI. CONFLICTO DE INTERES

no existen conflictos de interés de ningún tipo en el desarrollo de esta investigación. El presente trabajo se realizó de manera independiente, sin recibir financiamiento específico de entidades privadas, gubernamentales o comerciales, y con criterios exclusivamente técnicos y académicos para garantizar la objetividad e integridad de los resultados presentados.

VII. REFERENCIAS

- [1] De la Salud, A. M. (2011). Agua potable, saneamiento y salud. In Agua potable, saneamiento y salud.
- [2] Rosales Cante, J. C., & Sánchez Chavez, G. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para comunidades rurales.
- [3] K. Benavides, “Optimización de sistemas de saneamiento rural para comunidades altoandinas,” Universidad Técnica de Ambato, Tesis de Maestría, Ambato, Ecuador, 2024. [Online]. Available: <http://www.uta.edu.ec/repo/benavides2024>
- [4] F. Romero, D. Díaz, and J. Ortega, “Análisis comparativo de eficiencia en plantas de tratamiento rural en Cundinamarca,” Ciencia y Ambiente, vol. 10, no. 1, pp. 113–127, 2023. <https://doi.org/10.24265/ciencia.10.1.113>
- [5] A. Gómez and L. Ruiz, “Gestión de aguas residuales en comunidades rurales de la sierra peruana,” Revista Ambiental Andina, vol. 7, no. 2, e84357, 2021. <https://doi.org/10.15446/raa.v7n2.84357>

- [6] De la Construcción, C. P. (2016). Reglamento nacional de edificaciones. Apoyo Grafico.
- [7] Salazar-Rodríguez, A., & Hernández-Diego, C. (2019). Evaluación de la eficiencia del sistema de gestión Integral de residuos sólidos urbanos en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo. Quivera Revista de Estudios Territoriales, 20(2), 73-102.
- [8] Magaña Ricardo, N. (2009). Reutilización del agua residual tratada en la cervecería del Valle sa.
- [9] Molina Aponte, M., & Caviedes Vargas, F. (2023). Propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas por lodos activados en el centro poblado La Salada, municipio de Tocaima, año 2023 (Doctoral dissertation).
- [10] Cueva Quinga, S. F., & Eras Calvopiña, D. F. (2021). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la población de la cabecera cantonal de Puerto Quito, cantón Puerto Quito, provincia de Pichincha (Bachelor's thesis).
- [11] Ponluisa, J. D. P., López, L. L., Intriago, A. C. Y., & Peñaherrera, C. P. N. (2024). Evaluación de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de “El Corazón” del Cantón Pangui, Ecuador: Evaluation of the El Corazón Wastewater Treatment Plant–Pangui Canton, Ecuador. Revista Científica FINIBUS-Ingeniería, Industria y Arquitectura, 7(14), 155-164.
- [12] VESGA ARIZA, D. S. (2023). Estudio de los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Betulia Santander y su posible aprovechamiento.
- [13] Larrota, L. S., García, L. U., Torres, L. M. G., & Mejía, C. A. Z. (2019). Analysis of the efficiency of UASB reactors in a municipal wastewater treatment plant. DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 86(209), 319-326.