

# Depuración de aguas servidas. Estudio de caso en San Isidro de Patulú.

*Treatment of Wastewater: A Case Study in San Isidro de Patulú.*

- <sup>1</sup> Alex Xavier Frías Torres  <https://orcid.org/0000-0002-7433-819X>  
Magister en Sistemas de Gestión Ambiental, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.  
[ax.frias@uta.edu.ec](mailto:ax.frias@uta.edu.ec)
- <sup>2</sup> Danny Germán Muyulema Muyulema  <https://orcid.org/0009-0006-7113-0752>  
Magister en Estructuras Metálicas, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.  
[dg.muyulema@uta.edu.ec](mailto:dg.muyulema@uta.edu.ec)
- <sup>3</sup> Galo Wilfrido Núñez Aldás  <https://orcid.org/0000-0001-7087-1213>  
Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.  
[gw.nunez@uta.edu.ec](mailto:gw.nunez@uta.edu.ec)
- <sup>4</sup> Edgar Patricio Chusin Vega  <https://orcid.org/0009-0008-3258-9987>  
Estudiante, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.  
[echusin5781@uta.edu.ec](mailto:echusin5781@uta.edu.ec)



## Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 14/11/2024

Revisado: 18/12/2024

Aceptado: 15/01/2025

Publicado: 17/02/2025

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v7i1.1.580>

## Cítese:

Frías Torres, A. X., Muyulema Muyulema, D. G., Núñez Aldás, G. W., & Chusin Vega, E. P. (2025). Depuración de aguas servidas. Estudio de caso en San Isidro de Patulú. AlfaPublicaciones, 7(1.1), 30–48. <https://doi.org/10.33262/ap.v7i1.1.580>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

**Palabras claves:**

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), Santa Rosa, San Francisco, límites permisibles, río Guano.

**Resumen:**

El presente estudio tiene como objetivo el diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para las comunidades Santa Rosa y San Francisco de la parroquia San Isidro de Patulú, con el fin de reducir la carga contaminante de las aguas residuales y garantizar su cumplimiento con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa vigente. Se realizó una caracterización del agua residual en la que se identificaron parámetros físico-químicos clave, destacándose la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y el Nitrógeno Total como principales contaminantes que exceden los límites normativos. Con base en estos resultados, se diseñó una línea de tratamiento eficiente que permite una reducción significativa de los contaminantes presentes en el agua residual. La evaluación de la eficiencia del tratamiento implementado demostró que los valores de DQO, DBO5 y Nitrógeno Total fueron reducidos a niveles dentro de los límites permisibles, permitiendo que el agua tratada pueda ser descargada al río Guano. Se diseñó una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que incluye procesos de cribado, seguidos de dos tanques de sedimentación, un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) y un lecho de secado para la gestión de los lodos, garantizando que la descarga final cumpla con los requisitos ambientales establecidos. Este estudio proporciona una base técnica y científica para la implementación de una PTAR funcional y eficiente en la zona de estudio, contribuyendo a la mitigación del impacto ambiental generado por las aguas residuales y promoviendo el uso sostenible de los recursos hídricos.

**Keywords:**

Wastewater Treatment Plant (WWTP), Santa Rosa, San Francisco, permissible limits, Guano River.

**Abstract**

This study aims to design a Wastewater Treatment Plant (WWTP) for the communities of Santa Rosa and San Francisco in the parish of San Isidro de Patulú, with the purpose of reducing the pollutant load of the wastewater and ensuring compliance with the maximum permissible limits established by current regulations. A characterization of the wastewater was conducted, identifying key physico-chemical parameters, with Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen

---

Demand (BOD5), and Total Nitrogen standing out as the main pollutants exceeding regulatory limits. Based on these results, an efficient treatment line was designed, allowing for a significant reduction of the pollutants present in the wastewater. The evaluation of the treatment efficiency demonstrated that COD, BOD5, and Total Nitrogen values were reduced to levels within permissible limits, allowing the treated water to be discharged into the Guano River. A Wastewater Treatment Plant (WWTP) was designed, which includes screening processes, followed by two sedimentation tanks, an upflow anaerobic filter (UAFF), and a drying bed for sludge management, ensuring that the final discharge meets the established environmental requirements. This study provides a technical and scientific basis for the implementation of a functional and efficient WWTP in the study area, contributing to the mitigation of the environmental impact generated by wastewater and promoting the sustainable use of water resources.

---

## 1. Introducción

En la parroquia de San Isidro de Patulú, comunidades como la de Santa Rosa y San Francisco enfrentan importantes desafíos relacionados con la provisión de servicios básicos de saneamiento. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Terán & Cando, 2023) presentan una baja cobertura del alcantarillado alcanzando solo el 23,9% de viviendas. En relación con los residuos líquidos, según el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Isidro de Patulú (GAD Parroquial de San Isidro de Patulú, 2020) plantea que en tres de los seis cantones implementan procesos de tratamiento de aguas residuales, contando con un total de nueve plantas de tratamiento convencionales y cuatro plantas que utilizan digestión anaeróbica.

En función de (Botturi et al., 2021) la disponibilidad de servicios básicos, como el alcantarillado sanitario y el tratamiento de aguas residuales mediante plantas de tratamiento, constituye un indicador clave para evaluar la calidad de vida, la salud pública y la sostenibilidad ambiental.

Además, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024) a nivel global, el 44% de las aguas residuales de origen doméstico fueron descargadas sin haber recibido un tratamiento adecuado para garantizar su seguridad y según estimaciones, aproximadamente una décima parte de la población global ingiere productos cultivados con el uso de aguas residuales. Este estudio es pertinente debido a la creciente preocupación por la contaminación hídrica y sus efectos en la salud humana y el ecosistema. La falta de tratamiento de aguas residuales en las comunidades de Santa Rosa y San Francisco no solo representa un riesgo sanitario, sino que también limita el desarrollo socioeconómico de la zona. Implementar una solución técnica y sostenible es fundamental para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2023) particularmente el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua limpia y saneamiento para todos.

El problema científico central de esta investigación radica en la falta de datos específicos sobre la composición y carga contaminante de las aguas residuales en las comunidades de Santa Rosa y San Francisco, debido a que no existe alcantarillado sanitario lo que dificulta el diseño de sistemas de tratamiento eficientes y adaptados a sus necesidades. Este estudio busca generar información técnica en base a la caracterización del afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Isidro 1 que permitió seleccionar y dimensionar tecnologías adecuadas para el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales. La caracterización de las aguas residuales también forma parte importante de la selección de las tecnologías seleccionadas puesto que influyen sobre los sistemas de saneamiento optimizando su diseño y seguridad (Morales Corozo & Loo Vergara, 2023). Esta caracterización conste del tipo de efluentes de la concentración promedio de contaminantes en las aguas sabiendo que las altas cargas orgánicas requieren de procesos biológicos intensivos para su tratamiento. Esta evaluación se realiza por parámetros químicos como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y de los sólidos suspendidos totales (STT), ya que esto permite que los tanques de sedimentación, reactores biológicos y filtros sean dimensionados adecuadamente (Hur et al., 2010).

De acuerdo con (Osorio Rivera et al., 2021) en el ámbito del tratamiento de aguas residuales, se han realizado investigaciones enfocadas en evaluar la calidad de estas aguas mediante su caracterización, considerando parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos estudios buscan determinar el tipo de tratamiento más adecuado en función de la concentración de dichos parámetros, tomando en cuenta que estas características pueden presentar variaciones significativas.

En Ecuador, (Mena et al., 2017) desarrollaron un prototipo de laboratorio donde replicaron las condiciones del agua residual en su estado original. Su propósito fue diseñar una PTAR para un caudal de 55.21 litros por día, enfatizando la posibilidad de

reutilizar el agua tratada en el riego de áreas verdes. A partir de su estudio, concluyeron que el sistema de lodos activados es el más eficiente para este proceso.

Este estudio se enfoca en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para un caudal de 4.97 l/s destinada a las comunidades de Santa Rosa y San Francisco, en el cantón Guano, provincia de Chimborazo. La iniciativa busca abordar la problemática del manejo inadecuado de aguas residuales en la zona, con el fin de mitigar los impactos ambientales y sanitarios. Además, se pretende promover la reutilización del agua tratada en actividades como la agricultura, optimizando los recursos hídricos y fomentando prácticas sostenibles que beneficien a la población local y su entorno.

## 2. Metodología

Este estudio se enmarca en una investigación de tipo aplicada o práctica, cuyo propósito es generar soluciones concretas para mejorar la calidad de vida de las comunidades de Santa Rosa y San Francisco, en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, mediante el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición numérica de los parámetros físico, químicos y microbiológico de las aguas residuales, tales como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST). Estos parámetros permiten caracterizar las aguas residuales y fundamentar el diseño de la planta de tratamiento, asegurando que los resultados sean precisos, confiables y replicables.

La investigación combina dos fuentes principales de datos: documental y de campo. En la fase documental, se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica, normativas ambientales y estudios previos relacionados con el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales. Esta revisión permitió identificar las tecnologías más adecuadas y los estándares de calidad aplicables. Se llevó a cabo la recolección directa de muestras de aguas residuales cercanas a las comunidades de estudio, así como la observación y registro de las condiciones actuales de saneamiento.

Para ello, según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2013) se recolectó una muestra compuesta del agua residual. Esta muestra se obtuvo tomando varias submuestras durante un período de 6 horas, con intervalos de 1 hora, las cuales se almacenaron en un envase de vidrio de 1 litro, un envase de plástico de 1 litro y dos envases de plástico adicionales destinados al análisis bacteriológico. Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio LABCESTTA en la ciudad de Riobamba para su caracterización. Esta norma específica que las muestras deben estar debidamente identificadas con información como la fecha de recolección, el tipo de agua, el lugar de

recolección y el nombre del recolector. Además, para las muestras destinadas a la determinación de parámetros físicos y químicos, se requiere que los envases se llenen completamente, evitando la presencia de aire, mientras que, para el análisis bacteriológico, debe dejarse un espacio de aire en el envase. Finalmente, las muestras se transportaron en un cooler con ice packs para mantener las condiciones adecuadas hasta su llegada al laboratorio.

Estas actividades se realizaron con el fin de obtener datos reales y representativos de la situación local, en base a la tabla 9 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2015) permitieron establecer la línea de tratamiento necesaria para lograr que la calidad del efluente cumpla con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

La población de estudio está conformada por las aguas residuales domésticas generadas en San Isidro de Patulú, ubicada a 2 km de las comunidades de estudio debido a la inexistencia de alcantarillado en el sector. El criterio de selección esta acorde a la similitud de las características económicas, sociales y geográficas identificadas entre las comunidades mencionadas. Los criterios de inclusión consideran muestras de agua provenientes de viviendas conectadas al sistema de alcantarillado y que no hayan sido tratadas previamente. Estos criterios aseguran que los datos obtenidos sean representativos de la problemática específica de las comunidades.

Es importante señalar que la selección del caudal de diseño es un aspecto crítico en el dimensionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), ya que determina la capacidad operativa del sistema y garantiza su eficiencia a lo largo del tiempo. En el caso de las comunidades de Santa Rosa y San Francisco, en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, el caudal de diseño fue de 4.96 l/s obtenido luego del diseño de la red de alcantarillado sanitario.

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó siguiendo los lineamientos técnicos establecidos por la Secretaría del agua (Secretaría del Agua, 2012) en la "Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes".

Para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento, se adoptaron metodologías reconocidas a nivel internacional. En particular, según la (Comisión Nacional del Agua, 2016b) se diseñó el cribado y el sedimentador primario. Luego, en base a la (Comisión Nacional del Agua, 2016a) se usaron los criterios para el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), garantizando eficiencia en la remoción de sólidos y materia orgánica.

Asimismo, se diseñó el lecho de secado de lodos fundamentándose en las especificaciones técnicas descritas en la "Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización" de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005). Esta referencia proporciona criterios específicos para el manejo y disposición final de los lodos generados en el proceso de tratamiento, asegurando una gestión adecuada y sostenible.

En cuanto a los aspectos éticos, este estudio contó con la autorización del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Guano. Se obtuvo el consentimiento informado de los representantes de las comunidades de Santa Rosa y San Francisco, quienes fueron informados detalladamente sobre los objetivos, procedimientos y beneficios de la investigación. Además, se garantizó la confidencialidad de los datos y el respeto a los derechos de las comunidades involucradas, asegurando que la investigación se realice bajo los más altos estándares éticos.

En resumen, esta metodología combina enfoques cuantitativos, técnicas de campo y revisión documental para diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales que responda a las necesidades específicas de las comunidades estudiadas. Los resultados obtenidos no solo contribuirán al mejoramiento de las condiciones de vida en la región, sino que también servirán como base para futuras investigaciones en el campo del saneamiento ambiental.

### 3. Resultados

La caracterización del agua residual tomada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Isidro 1 proporciona datos fundamentales para el diseño del sistema de tratamiento, permitiendo evaluar la calidad del afluente y su impacto en el medio ambiente. Se identificaron parámetros que cumplen con los límites normativos, lo que sugiere estabilidad en ciertos componentes y una adecuada capacidad de autodepuración en algunos aspectos del agua residual. No obstante, se evidenció que ciertos indicadores asociados a la carga orgánica y al contenido nitrogenado superan los valores permitidos, como se muestra en la Tabla 1, lo que resalta la necesidad de aplicar procesos específicos de tratamiento para su reducción. Esto implica la implementación de tecnologías que optimicen la remoción de contaminantes y garanticen la calidad del efluente final, asegurando su viabilidad para un posible reúso o su disposición en cuerpos hídricos sin comprometer el equilibrio ecológico.

**Tabla 1**

*Caracterización del agua residual de la PTAR San Isidro I*

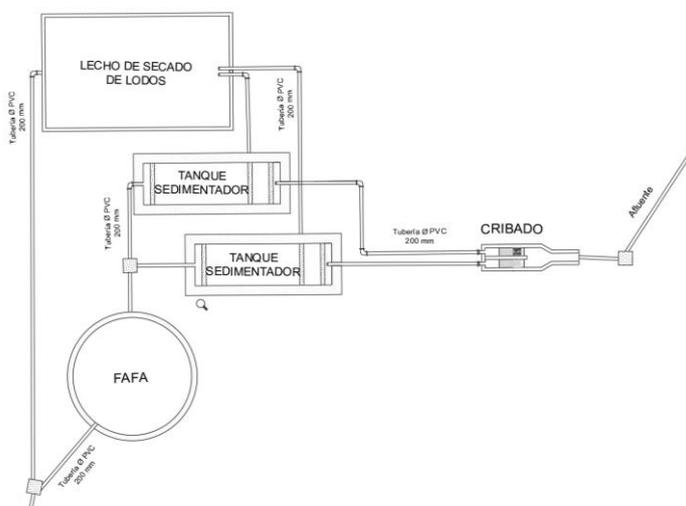
Determinaciones	Unidad	Resultados	Límite máximo permisible	Condición
pH		7.69	6-9	CUMPLE
DQO	mg/l	212	200	NO CUMPLE
DBO5	mg/l	102	100	NO CUMPLE
Sólidos suspendidos	mg/l	45	130	CUMPLE
Nitrógeno Total	mg/l	52.12	50	NO CUMPLE
Tensoactivos	mg/l	0.45	0.5	CUMPLE
Aceites y Grasas	mg/l	19.90	30	CUMPLE
Sólidos totales	mg/l	856	1600	CUMPLE
Cloruros	mg/l	<10	1000	CUMPLE
Fluoruros	mg/l	0.82	5	CUMPLE

Fuente: Tomado de Laboratorio LABCESSTA (2024).

Considerando lo expuesto anteriormente, la propuesta de tratamiento contempla una serie de etapas que incluyen un proceso de cribado, la incorporación de dos tanques de sedimentación, un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) y un lecho de secado de lodos, como se observa en la Figura 1.

**Figura 1**

*Propuesta de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*



Fuente: Elaboración propia.

Como parte del pretratamiento, se diseñó una criba con el propósito de evitar obstrucciones en las etapas posteriores causadas por sólidos gruesos y materiales fibrosos. El canal de aproximación se dimensionó con una velocidad de 0.44 m/s, valor que se encuentra dentro del rango recomendado. Al asumir un ancho de canal de 0.30 m, se determinó un tirante de 0.14 m y se adoptó un borde libre de 0.50 m. Para la reja de cribado, se seleccionaron barras rectangulares de 9 mm de espesor, espaciadas a 25 mm, lo que resultó en un total de 9 barras dispuestas con una inclinación de 45°, como se muestra en la Tabla 2.

De acuerdo con la (Comisión Nacional del Agua, 2016b) el diseño de cribado con limpieza manual presenta varias ventajas en el tratamiento de aguas residuales. En primer lugar, es una opción de bajo costo en términos de inversión inicial y mantenimiento, ya que no requiere sistemas automatizados complejos. Además, permite una mayor flexibilidad en la operación, ya que los operadores pueden ajustar la frecuencia de limpieza según las condiciones específicas del flujo y la cantidad de sólidos presentes, lo que garantiza una mayor eficiencia en la remoción de materiales gruesos. Este tipo de diseño también facilita la inspección directa y la identificación de posibles problemas en el sistema de cribado, permitiendo intervenciones rápidas y oportunas. Finalmente, la limpieza manual reduce la posibilidad de obstrucciones o fallos mecánicos que podrían ocurrir en sistemas automatizados, lo que aumenta la confiabilidad del proceso.

**Tabla 2**
*Resultados del diseño del cribado*

Parámetro de diseño	Valores
Ancho del canal	0.3 m
$\beta$	2.42 (Barra rectangular)
Espesor de la barra	9 mm
Separación entre barras	25 mm
Velocidad en las barras	0.44 m/s
Ángulo de inclinación de las barras	45 °
Coefficiente de rugosidad del canal	0.013 (Hormigón)
Eficiencia de las barras	73.53 %
Área útil del canal	0.0314 m <sup>2</sup>
Área del canal	0.0428 m <sup>2</sup>
Tirante máximo del canal	0.1426 m
Radio hidráulico del canal	0.0731 m
Pendiente del canal	0.11 %

**Tabla 2**
*Resultados del diseño del cribado (continuación)*

Parámetro de diseño	Valores
Velocidad del canal	0.44 m/s ( <i>Cumple 0.4 m/s a 0.75 m/s</i> )
Número de barras	9
Pérdida de energía en la rejilla	0.01835 m
Pérdida de carga total en la rejilla	0.008041 m
Velocidad de las rejillas con 50% de obstrucción	1.2 m/s
Pérdida de carga total con 50% de obstrucción	0.07864 m
Borde Libre	0.50 m
Altura útil de la reja	0.64 m
Altura asumida	0.7 m
Longitud de la reja	1 m
Proyección horizontal de la reja	0.7 m

Fuente: Elaboración propia.

En el tratamiento primario, cuyo objetivo es la remoción de sólidos sedimentables, tanto orgánicos como inorgánicos, se optó por un sedimentador primario. Se diseñaron dos tanques sedimentadores, cuyo cálculo hidráulico se basó en una carga superficial de 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día. Esto permitió establecer un ancho de 1.6 m y, considerando una relación largo-ancho de 3, se determinó una longitud de 4.8 m. El volumen total del sedimentador es de 11.52 m<sup>3</sup>. Además, se verificó que el tiempo de retención hidráulica de 1.29 horas se encuentra dentro de los rangos permisibles. Con una eficiencia de remoción del 30% para la DBO<sub>5</sub> y del 50% para los sólidos suspendidos, se proyecta que el afluente tendrá concentraciones de 71.40 mg/l y 22.50 mg/l, respectivamente, como se muestra en la Tabla 3.

En el sedimentador primario, la relación entre la velocidad de arrastre de 0.227 m/s y la velocidad horizontal a flujo máximo de 0.00393 m/s es fundamental para optimizar el proceso de sedimentación y garantizar una eficiente remoción de sólidos suspendidos. La velocidad de arrastre, que se refiere a la velocidad a la cual el agua fluye a través del sedimentador, influye directamente en la capacidad del sistema para movilizar los sólidos hacia el fondo del tanque, facilitando su posterior remoción. En contraste, la velocidad horizontal a flujo máximo es la velocidad del agua en la dirección del flujo principal del sedimentador, y su valor relativamente bajo asegura un tiempo adecuado de sedimentación para los sólidos, evitando la re-suspensión de los mismos. La combinación de estas dos velocidades garantiza un balance adecuado entre la eficiencia

de la remoción de sólidos y la minimización de la re-suspensión, lo que resulta en un desempeño óptimo del sedimentador primario en el tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 3**
*Resultados del diseño del sedimentador primario*

Parámetro de diseño	Valores
Número de sedimentadores	2
Carga superficial	40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Diámetro de la partícula	0.2 mm
Densidad relativa de la partícula	2.65
Factor de fricción	0.02
Pendiente fondo del sedimentador	10%
Pendiente canal de limpieza	5%
Área del sedimentador	5.36 m <sup>2</sup>
Ancho	1.34 m
Ancho asumido	1.6 m
Longitud calculada	4.8 m
Volumen del sedimentador	11.52 m <sup>3</sup>
Comprobación del tiempo de retención	1.55 h ( <i>Cumple rango 1.5 h a 2.5 h</i> )
Velocidad de arrastre	0.227 m/s ( <i>Cumple &lt; 1.5 m/s</i> )
Velocidad horizontal a flujo máximo	0.00393 m/s ( <i>Cumple Va &gt; VL</i> )
Comprobación relación S	3 ( <i>Cumple rango de 3-10</i> )
Comprobación relación D	3.2 ( <i>Cumple &lt; 30</i> )
Borde libre	0.50 m
Altura natas	0.10 m
Remoción de DBO <sub>5</sub> y SS	$So_{DBO5} = 71.40 \text{ mg/L}$ $So_{SS} = 22.50 \text{ mg/L}$
Velocidad de paso en orificios	0.15 m/s ( <i>Cumple rango de 0.1-0.2 m/s</i> )
Área total de orificios	0.0166 m <sup>2</sup>
Diámetro asumido de orificios	0.05 m
Área del orificio	0.00196 m <sup>2</sup>
Número de orificios calculada	8.43
Número de orificios adoptada	9
Altura de pantalla para los orificios	1.8 m

Fuente: Elaboración propia.

Para el tratamiento secundario, se propuso la implementación de un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA), una tecnología que se caracteriza por su alta eficiencia en la remoción de materia orgánica, su capacidad para adaptarse a variaciones en los caudales de entrada y su bajo costo operativo. En su diseño, se asumió una carga hidráulica de  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ , lo que permitió calcular un diámetro de 5.25 metros para el sistema. Al considerar una carga orgánica de  $0.40 \text{ kg DBO}/\text{m}^3/\text{día}$ , se determinó un volumen de tratamiento necesario de  $38.29 \text{ m}^3$ , como se muestra en la Tabla 4. Además, con un lecho filtrante compuesto por grava y una altura de 1.80 metros, se obtuvo un volumen total para el filtro de  $47.62 \text{ m}^3$ , lo que excede ligeramente el volumen requerido. El tiempo de retención hidráulica dentro del tanque es de 5.33 horas, lo que se encuentra dentro del rango recomendado para este tipo de procesos, y se logró una eficiencia en la remoción de materia orgánica del 62.31%. Este sistema, por su bajo costo y capacidad de adaptación, representa una opción viable para el tratamiento eficiente de aguas residuales en diferentes contextos operativos.

**Tabla 4**
*Resultados del diseño del FAFA*

Parámetro de diseño	Valores
Carga hidráulica	$10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$
Carga orgánica volumétrica	$0.40 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^3/\text{d}$
Área del filtro	$21.44 \text{ m}^2$
Diámetro del filtro	5.22 m
Diámetro del filtro asumido	5.25 m
Volumen del lecho filtrante	$38.29 \text{ m}^3$
Altura del medio filtrante	1.79 m
Altura asumida del medio filtrante	1.8 m
Altura del falso fondo del filtro	0.30 m
Altura del bloque de HS	0.10 m
Borde libre	0.50 m
Volumen real del filtro	$47.62 \text{ m}^3$ (Mayor a $104.39 \text{ m}^3$ )
Carga orgánica volumétrica calculada	$0.32 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^3/\text{d}$ (Cumple rango entre 0.15 a 0.5)
Tiempo de retención calculado	5.33 h (Cumple rango entre 5 y 10 h)
Eficiencia de remoción	62.31 %
Concentración del DBO5 en el efluente	26.91 mg/l

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la deshidratación de lodos estabilizados, se seleccionó la opción más económica, el lecho de secado de lodos. Se calculó la carga de sólidos en función del contenido de sólidos en el agua residual, asumiendo una densidad de lodos de 1.03 kg/l y un período de secado de 55 días. Esto resultó en un volumen de lodos a extraer de 12.24 m<sup>3</sup>. Considerando una profundidad de aplicación de 25 cm y dos divisiones, el área unitaria por lecho es de 24.48 m<sup>2</sup>, por lo que se adoptó un ancho de 4 m y una longitud de 6.6 m. Además, según (Tilley et al., 2014) la capacidad de eliminación de nitrógeno es reducida, alcanzando generalmente un máximo del 15% en relación con el nitrógeno total, en este caso se consideró el 10%, como se muestra en la Tabla 5.

De acuerdo con (Alzate Lina, 2021) el diseño de lecho de secado de lodos ofrece varias ventajas económicas significativas en el tratamiento de aguas residuales. En primer lugar, este sistema reduce los costos operativos asociados con el tratamiento de lodos al aprovechar la energía solar para el proceso de secado, disminuyendo la necesidad de energía eléctrica o combustibles fósiles, lo que contribuye a la sostenibilidad económica a largo plazo. Además, el lecho de secado de lodos reduce el volumen y el peso de los lodos, lo que facilita su manejo y disposición final, resultando en menores costos de transporte y disposición en vertederos.

**Tabla 5**

*Resultados del diseño del lecho de secados de lodos*

Parámetro de diseño	Ecuación
Gravedad específica	1.03 kg/l
Contenido de sólidos	8%
Profundidad de aplicación	25 cm
Periodo de aplicación	5 h
Periodo de secado	55 días
Periodo de remoción de lodo seco	14 días
Periodo de preparación y mantenimiento	2 días
Ancho del lecho	4 m
Carga de sólidos	9.65 kg/d
Masa de sólidos	18.34 kg/d
Volumen diario de lodos digeridos	222.56 l/d
Volumen de lodos a extraer	12.24 m <sup>3</sup>
Área del lecho de secado	48.96 m <sup>2</sup>
Número de divisiones	2
Área unitaria por lecho	24.48 m <sup>2</sup>

**Tabla 5**
*Resultados del diseño del lecho de secados de lodos (continuación)*

Parámetro de diseño	Ecuación
Longitud del lecho	6.12 m
Longitud de lecho asumido	6.6 m

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6, se observa los resultados obtenidos, evidenciando la efectividad de la línea de tratamiento implementada en la PTAR. Los datos reflejan una disminución considerable en la concentración de los contaminantes presentes en el agua residual, lo que indica que el proceso de depuración cumple con los estándares establecidos para su posible reutilización o descarga segura en el medio ambiente.

**Tabla 6**
*Resultados del afluente y efluente*

Determinaciones	Unidad	Resultados	Agua residual tratada	Límite máximo permisible	Condición
DQO	mg/l	212	79.90	200	CUMPLE
DBO5	mg/l	102	26.91	100	CUMPLE
Nitrógeno Total	mg/l	52.12	46.91	50	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

- Se desarrolló un diseño optimizado para la planta de tratamiento de aguas residuales, integrando un proceso de pretratamiento a través de un sistema de cribado. A continuación, se estableció un tratamiento primario compuesto por dos unidades de sedimentación. En la fase secundaria, se aplicó un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) como método de depuración biológica, concluyendo con un lecho de secado de lodos que contribuye a la eficiencia en la eliminación de contaminantes y el adecuado tratamiento del agua residual.
- En el presente estudio los resultados de la caracterización del agua residual provenientes de las comunidades estudiadas evidencian una alta carga contaminante, con parámetros críticos como 212 mg/l de DQO y 102 mg/l de DBO5, con una reducción del 62.31% y 73.62%, respectivamente. Además, el Nitrógeno Total se espera una remoción del 10%. El diseño implementado ha demostrado una significativa reducción en la concentración de estos contaminantes en el efluente, logrando cumplir con los límites máximos

permisibles establecidos por la normativa ambiental, lo que indica la efectividad del sistema de tratamiento propuesto.

- La investigación ha permitido identificar y seleccionar tecnologías adecuadas para el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales, basándose en metodologías reconocidas internacionalmente y en directrices de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). Este enfoque no solo optimiza el proceso de tratamiento, sino que también adapta la infraestructura a las realidades específicas de las comunidades, mejorando así su viabilidad y sostenibilidad.
- De esta forma, los resultados obtenidos abren la puerta a futuras investigaciones sobre el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales, sugiriendo la necesidad de estudios adicionales que evalúen la operación a largo plazo de la Planta Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), así como el impacto social y ambiental de su implementación. Además, se recomienda la exploración de innovaciones en tecnologías de tratamiento que puedan mejorar aún más la eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas. Asimismo, se recomienda la capacitación de personal local en el manejo y operación de dichas unidades de tratamientos para asegurar su sostenibilidad en el tiempo.
- Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de investigar más a fondo el desempeño a largo plazo del sistema de tratamiento, así como su impacto social y ambiental en las comunidades beneficiadas. Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales que evalúen la efectividad de diferentes tecnologías de tratamiento en función de las variaciones estacionales de la calidad del agua.

## 5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

## 6. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

## 7. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

## 8. Referencias bibliográficas

Alzate Lina. (2021). *Evaluación del dimensionamiento de los lechos de secado en diferentes Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Oriente Antioqueño*. Universidad de Antioquia.

[https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/21603/5/AlzateLina\\_2021\\_DimensionamientoLechosSecado.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/21603/5/AlzateLina_2021_DimensionamientoLechosSecado.pdf)

Botturi, A., Ozbayram, E. G., Tondera, K., Gilbert, N. I., Rouault, P., Caradot, N., Gutierrez, O., Daneshgar, S., Frison, N., Akyol, Ç., Foglia, A., Eusebi, A. L., & Fatone, F. (2021). Combined sewer overflows: A critical review on best practice and innovative solutions to mitigate impacts on environment and human health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(15), 1585–1618. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1757957>

Comisión Nacional del Agua. (2016a). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaeróbicos y Filtros Ascendentes*. Comisión Nacional del Agua.

[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Filtros%20anaerobios%20de%20flujo%20ascendente.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Filtros%20anaerobios%20de%20flujo%20ascendente.pdf)

Comisión Nacional del Agua. (2016b). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento Primario y Tratamiento Primario*. Comisión Nacional del Agua.

[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20%20Pretratamiento%20y%20Tratamiento%20primario..pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20%20Pretratamiento%20y%20Tratamiento%20primario..pdf)

Morales Corozo, J. P., & Loor Vergara, K. (2023). Diseño de biofiltro para eliminación de contaminantes de aguas residuales de la comunidad Ballagán, Ecuador: Design of a filter for the elimination of pollutants from wastewater in the Ballagan community, Ecuador. *Revista Científica Ecociencia*, 10(2), 92–106. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.102.801>

GAD Parroquial de San Isidro de Patulú. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2023*. GAD Parroquial de San Isidro de Patulú

[https://gpsanisidro.gob.ec/media/gpsanisidro/rendicion\\_archivos/PDYOT2023.pdf](https://gpsanisidro.gob.ec/media/gpsanisidro/rendicion_archivos/PDYOT2023.pdf)

Hur, J., Lee, B.-M., Lee, T.-H., & Park, D.-H. (2010). Estimation of Biological Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand for Combined Sewer Systems Using Synchronous Fluorescence Spectra. *Sensors*, 10(4), 2460–2471.

<https://www.mdpi.com/1424-8220/10/4/2460>

Terán, C., & Cando, C. (2024). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales – Gestión de Agua Potable y Saneamiento 2023*. INEC.

[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios/2023/Agua\\_potable\\_alcantarillado/Documento\\_Metodologico\\_APA\\_2023\\_ACT2.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios/2023/Agua_potable_alcantarillado/Documento_Metodologico_APA_2023_ACT2.pdf)

INEN. (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. INEN. <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>

Mena, M. E. C., Guadalupe, C. S. A., Vallejo, M. V. P., Córdova, G. B. M., Bernal, C. M. V., Suárez, J. G. B., & Mena, A. P. C. (2017). Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Para Su Reutilización En Riego En Áreas Verdes. *European Scientific Journal*, 13(18), 94. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n18p94>

Naciones Unidas. (2023). Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos: Agua y saneamiento. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

OMS. (2024). *Saneamiento*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

OPS. (2005). *Guía Para El Diseño De Tanques Sépticos, Tanques Imhoff Y Lagunas De Estabilización*. Organización Panamericana de la Salud. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADA%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADA%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf)

Osorio-Rivera, M. A., Carrillo-Barahona, W. E., Negrete-Costales, J. H., Loor-Lalvay, X. A., & Riera-Guachichullca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(3), 228–245. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>

Secretaría del Agua. (2012). Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural. Secretaría del Agua. <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/norma-co-10-7-602-area-rural.pdf>

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R. & Zurbrügg, C. (2014). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/TILLEY%20et%20al](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al)

%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnología%20C3%ADas%20de%20saneamiento.pdf

Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2015). *Ministerio del Ambiente*. Decreto Legislativo 387 (4 noviembre 2015), Registro Oficial 3. [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015.pdf)



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



## Indexaciones

