

## Research Article

# Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas a escala piloto

## *Proposal for the design of a pilot scale domestic wastewater treatment plant.*

Torres-Cobo, Leyner Eduardo <sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0008-9131-9442>[ltorresc2@unemi.edu.ec](mailto:ltorresc2@unemi.edu.ec)

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, Milagro

Alcázar-Espinoza, Javier Alexander <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-4196-7798>[jalcazare@unemi.edu.ec](mailto:jalcazare@unemi.edu.ec)

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, Milagro

Vera-Guerrero, Danny Isaías <sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0001-7513-6696>[dverag@unemi.edu.ec](mailto:dverag@unemi.edu.ec)

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, Milagro

Verdugo-Arcos, Jesús Armando <sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0006-7103-412X>[jverdugo1@unemi.edu.ec](mailto:jverdugo1@unemi.edu.ec)

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, Milagro

Autor de correspondencia <sup>1</sup>DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/135>

**Resumen:** El diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto en la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), Ecuador, se realizó con el objetivo de mejorar la calidad de los vertidos y permitir la reutilización del agua tratada. Se calculó el caudal y se dimensionaron las bombas y reactores del sistema, utilizando fórmulas específicas para determinar la carga de contaminantes como la DBO5 y la DQO. Además, se evaluó la necesidad de aire para optimizar el tratamiento biológico. El diseño propuesto redujo significativamente los niveles de DBO, DQO, NTK y SST, cumpliendo con los límites establecidos por la legislación ecuatoriana. La planta piloto mejoró la eficiencia del tratamiento de aguas, disminuyendo la carga contaminante en comparación con la tecnología actual. Esto permite la reutilización del agua en actividades no potables, como el riego. El sistema de tratamiento propuesto supera los estándares normativos y demuestra una alta eficiencia en la reducción de contaminantes, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la gestión eficiente de los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas residuales, planta piloto, reutilización de agua, contaminantes, sustentabilidad ambiental.

Check for  
updates**Received:** 16/Sep/2024**Accepted:** 06/Oct/2024**Published:** 31/Ene/2024

**Cita:** Torres-Cobo, L. E., Alcázar-Espinoza, J. A., Vera-Guerrero, D. I., & Verdugo-Arcos, J. A. (2024). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas a escala piloto. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(4), 107–121. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/135>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)

<https://economicsocialresearch.com>[info@editoriagrupo-aea.com](mailto:info@editoriagrupo-aea.com)

**Nota del editor:** Editorial Grupo AEA se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultantes de contenido publicado. La responsabilidad de información publicada recae enteramente en los autores.

© 2024. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons. Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.**



**Abstract:**

The design of a pilot-scale domestic wastewater treatment plant at the State University of Milagro (UNEMI), Ecuador, was carried out with the objective of improving the quality of discharges and allowing the reuse of treated water. The flow rate was calculated and the pumps and reactors of the system were sized, using specific formulas to determine the load of pollutants such as BOD5 and COD. In addition, the air requirement was evaluated to optimize biological treatment. The proposed design significantly reduced the levels of BOD, COD, NTK and TSS, complying with the limits established by Ecuadorian legislation. The pilot plant improved water treatment efficiency, decreasing the pollutant load compared to current technology. This allows for the reuse of water in non-potable activities, such as irrigation. The proposed treatment system exceeds regulatory standards and demonstrates high efficiency in the reduction of contaminants, contributing to environmental sustainability and efficient water resource management.

**Keywords:** Wastewater treatment, pilot plant, water reuse, pollutants, environmental sustainability.

## 1. Introducción

Las aguas residuales son todas aquellas que han sufrido un cambio en sus características intrínsecas debido a algún uso en particular relacionado con las actividades que desarrollan los seres humanos (Osorio et al., 2021) (Polo et al., 2018) (Peña et al., 2018) (López et al., 2021) (Paucar y Iturregui, 2020) (Y. A. Pérez et al., 2022) (Menéndez et al., 2018). Así pues, luego las aguas residuales debido a su estado, el cual presenta las condiciones necesarias para ser considerado de orden nocivo, deberían recibir un tratamiento previo antes de ser vertida en los cauces hídricos.

Las propiedades químicas de las aguas residuales se subdividen en tres partes: materia orgánica, materia inorgánica y gases. Existen indicadores de la calidad del agua y su nivel de contaminación orgánica, como lo son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), en el cual el DBO permite conocer la cantidad suficiente de oxígeno que se necesita para que se oxide la materia orgánica que se encuentra presente en el agua residual con la ayuda de un proceso aerobio (Vargas et al., 2022) (Bazán-Suárez y Chiclla-Salazar, 2023) (Lozada-Vilca et al., 2019). Mientras que el DQO mide la demanda de oxígeno con el cual se logra oxidar la materia orgánica del agua residual con el uso de químicos (Janeiro, 2021) (Morales-Mejía et al., 2021) (A. Pérez et al., 2018).

La Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), ubicada en la provincia de Guayas, ha experimentado un crecimiento acelerado en sus 20 años de trayectoria, con la ampliación de su infraestructura para satisfacer la creciente demanda estudiantil. Sin embargo, este desarrollo ha traído consigo desafíos ambientales, especialmente en

la gestión de aguas residuales generadas en el campus. La disposición inadecuada de estas aguas, que provienen principalmente de los bares y edificios universitarios, representa un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud humana, ya que el vertido sin tratamiento adecuado puede causar daños en la flora y fauna locales, así como exponer a la población a contaminantes químicos y biológicos (Soto-Córdoba et al., 2019) (Alfárez y Nieves, 2019) (Montero-Vega et al., 2020) (Herrera y Naranjo, 2019)

Actualmente, el sistema de tratamiento de aguas residuales de la universidad, basado en un tanque séptico y un filtro anaerobio, no cumple con los estándares exigidos por la legislación ecuatoriana, debido a las limitaciones tecnológicas para depurar adecuadamente el agua generada en el campus. Ante esta situación, se propone la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto, la primera de su tipo en una institución de educación superior pública en la ciudad de Milagro.

Este artículo busca reducir la carga contaminante de las aguas residuales evaluando parámetros como la DBO, DQO y otros complementarios como el Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), cumpliendo con la normativa vigente. La implementación de la planta no solo mejorará la calidad de los vertidos hacia cuerpos hídricos, sino que también permitirá reutilizar el agua tratada en actividades como el riego de jardines y canchas deportivas.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento

La metodología consistió en calcular el caudal (Q) para el diseño del sistema de tratamiento, asegurando que el valor cumpla con la condición de ser  $\leq 0,2$  Kg NTK/m<sup>3</sup>.d. Se utilizó la fórmula de la carga de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) (Espinosa-Rodríguez et al., 2020), despejando para obtener Q, considerando los parámetros de diseño: altura del relleno (500 mm) y diámetro del relleno (200 mm). Al reemplazar los valores en la ecuación, se determinó un caudal de 0,0785 m<sup>3</sup>/d, equivalente a 3,27 litros/hora, cumpliendo con la restricción establecida.

$$BNTK = \frac{Q \cdot [NTK]}{V_{relleno}} \quad O = \frac{V_{relleno} \cdot [BNTK]}{NTK}$$

$$Q = \frac{\left[ \frac{\pi \cdot (\emptyset_{relleno})^2}{4} \cdot H_{relleno} \right] \cdot BNTK}{NTK}$$

$$Q = \frac{\left[ \frac{\pi \cdot (0,2)^2}{4} \cdot 0,5 \right] m^3 \cdot 0,2 \frac{Kg \ NTK}{m^3 \ d}}{0,040 \frac{Kg \ NTK}{m^3}} = 0,0785 \frac{m^3}{d} = 3,27 \frac{l}{h}$$

Para calcular la carga de DBO5 y DQO en la primera etapa del tratamiento consistió en aplicar fórmulas específicas que utilizan el caudal previamente calculado (0,0785 m<sup>3</sup>/d), junto con los valores de DBO5 (0,2 Kg/m<sup>3</sup>) y DQO (0,5 Kg/m<sup>3</sup>), y el volumen del relleno (0,5 m<sup>3</sup>). Tras reemplazar estos valores en las ecuaciones, se determinó que la carga de DBO5 es de 1 Kg/m<sup>3</sup>·d y la carga de DQO es de 2,5 Kg/m<sup>3</sup>·d, cumpliendo con los parámetros establecidos para la operación del sistema.

$$DBO1 = \frac{Q * DBO}{Vr1} = \frac{0,0785 \frac{m^3}{d} * 0,2 \frac{kg}{m^3}}{\left( \left( \frac{\pi * (0,2)^2}{4} \right) * 0,5 \right) m^3}$$

$$DBO1 = \frac{1 \text{ Kg DBO5}}{\frac{m^3}{d}}$$

$$DQO1 = \frac{Q * DQO}{Vr1} = \frac{0,0785 \frac{m^3}{d} * 0,5 \frac{kg}{m^3}}{\left( \left( \frac{\pi * (0,2)^2}{4} \right) * 0,5 \right) m^3}$$

$$DQO1 = \frac{2,5 \text{ Kg DQO}}{\frac{m^3}{d}}$$

Para determinar la carga global de DBO5 y DQO en el sistema consistió en calcular dichas cargas considerando los cuatro reactores en la planta. Se utilizó una fórmula similar a la empleada para la primera etapa, incorporando un factor de multiplicación por 4 para representar el número de reactores. Al reemplazar los valores del caudal (0,0785 m<sup>3</sup>/d), DBO5 (0,2 Kg/m<sup>3</sup>), DQO (0,5 Kg/m<sup>3</sup>) y el volumen del relleno (0,015 m<sup>3</sup>), se obtuvo una carga global de 0,25 Kg DBO5/m<sup>3</sup>·d y 0,625 Kg DQO/m<sup>3</sup>·d, respectivamente.

$$DBO \text{ Global} = \frac{0,25 \text{ Kg DBO5}}{\frac{m^3}{d}}$$

$$DQO \text{ Global} = \frac{0,625 \text{ Kg DQO}}{\frac{m^3}{d}}$$

Para dimensionar las bombas dosificadoras consistió en calcular el caudal requerido para las fases de alimentación y recirculación. Para la alimentación, se multiplicó el caudal calculado (3,27 l/h) por 2, según la normativa, resultando en 6,5 l/h, que se aproximó a 10 l/h por razones comerciales. En la etapa de recirculación, el caudal se multiplicó por 4, considerando los cuatro reactores, y luego por 2 como factor de seguridad, obteniendo un valor final de 40 l/h para proporcionar flexibilidad durante la experimentación.

$$\text{Alimentación} = 2 * 3,27 \frac{l}{h} \geq 6,5 \frac{l}{h} \rightarrow 10 \frac{l}{h}$$

$$\text{Recirculación (Máximo 4Q)} = 3,27 * 4 = 13,08 \frac{l}{h} \rightarrow 2 * 13,08 = 26,2 \frac{l}{h} \rightarrow 40 \frac{l}{h}$$

Para el cálculo del caudal ( $Q_2$ ) se basó en la relación entre las alturas  $H_2$  y  $H_1$ , determinando un factor de 1,40 para ajustar el volumen. Esto permitió calcular  $Q_2$ , resultando en 0,11 m<sup>3</sup>/d o 4,6 l/h. Posteriormente, se dimensionaron los caudales para las bombas: la fase de alimentación se estableció en 10 l/h y la de recirculación en 40 l/h, siguiendo un factor de seguridad de 4 veces el caudal máximo para asegurar flexibilidad operativa en el sistema.

*Calculo para  $H_2 = 70$  cm*

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{70}{50} = 1,40 \rightarrow H_2 = 1,40 H_1$$

$$V_1 = \frac{\pi * (\varnothing 1)^2}{4} * H_1 \text{ YA CALCULADO}$$

$$V_2 = \frac{\pi * (\varnothing 2)^2}{4} * H_2 = \frac{\pi * (\varnothing 2)^2}{4} = 1,40 H_1 = 1,40 V_1$$

*Determinación de caudal para que BNTK, 1era etapa*

$$Q_1 = \frac{\left[ \frac{\pi * (Q_1)^2}{4} * H_1 \right] * NTK}{B [NTK]} \text{ YA CALCULADO}$$

$$Q_2 = \frac{\left[ \frac{\pi * (Q_1)^2}{4} * H_2 \right] * NTK}{B [NTK]} = \frac{\left[ \frac{\pi * (Q_1)^2}{4} * 1,40 H_1 \right] * NTK}{B [NTK]}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{H_1}{1,40 H_1} \rightarrow Q_2 = 1,40 Q_1 = 0,0785 * 1,4 = 0,11 \frac{m^3}{d} = 4,6 \frac{l}{h}$$

$$Q \text{ recirculación} \leq 4Q$$

$$Q \text{ recirculación} \leq 4 * 4,6 = 18,36 \frac{l}{h}$$

### **Bomba 1**

$$\text{Alimentación} \rightarrow 2Q = Q_{max} \rightarrow Q = 10 \frac{l}{h}$$

### **Bomba 2**

$$\text{Recirculación} \rightarrow 4Q_{max} \rightarrow Q = 40 \frac{l}{h}$$

Para calcular los volúmenes del sistema se basó en la fórmula del volumen de un cilindro, utilizando el diámetro del reactor (0,2 m) y la altura del relleno (0,7 m). Para el volumen anóxico, el cálculo dio como resultado 21,99 L al dividir por 1000 para convertir a litros. El volumen aerobio se determinó de manera similar, multiplicando por el número de reactores aerobios (3), obteniendo un total de 65,97 L.

**Volumen anóxico**

$$V_{anoxico} = \frac{\pi * (C1)^2}{4} * \frac{C2}{1000}$$

$$V_{anoxico} = \frac{\pi * (0,2 \text{ m})^2}{4} * \frac{0,7 \text{ m}}{1000}$$

$$V_{anoxico} = 21,99 \text{ L}$$

**Volumen aeróbico total**

$$V_{aerobio} = \frac{\pi * (C1)^2}{4} * \frac{C2 * B8}{1000}$$

$$V_{aerobio} = \frac{\pi * (0,2 \text{ m})^2}{4} * \frac{0,7 \text{ m} * 3}{1000}$$

$$V_{aerobio} = 65,97 \text{ L}$$

Para calcular la Necesidad de Aire para Mezcla/Lavado (NAM-L) se basó en multiplicar la energía requerida para mezcla/lavado ( $A5=2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$ ) por la suma del volumen anóxico (21,99 L) y el volumen aerobio total (65,97 L), dividiendo el resultado por 1000 para convertir a metros cúbicos por hora. El cálculo final determinó que el sistema requiere  $0,18 \text{ m}^3/\text{h}$  de aire para satisfacer las necesidades de mezcla y lavado.

$$NAML = A5 * \frac{B6 * B7}{1000}$$

$$NAML = 2 \frac{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}} * \frac{21,99 \text{ L} * 65,97 \text{ L}}{1000}$$

$$NAML = 0,18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Finalmente, para determinar la necesidad de aire por difusor se basó en la relación entre el caudal de aire adoptado ( $0,18 \text{ m}^3/\text{h}$ ) y el caudal unitario de cada difusor ( $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Este cálculo resultó en 0,035, indicando la cantidad de aire requerida por difusor. Para el caudal de aire adoptado en el sistema, se estableció un valor de  $0,176 \text{ m}^3/\text{h}$ , asegurando que los difusores operen de manera eficiente dentro del sistema de tratamiento.

$$ND = \frac{A6}{B8}$$

$$ND = \frac{0,18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$ND = 0,035$$

$$A6: \text{caudal de aire adoptado} = 0,18 \frac{m^3}{h}$$

$$B8: \text{caudal unitario difusor} = 5 \frac{m^3}{h}$$

La cantidad de difusores viene dada por la relación entre A6 y B8

Para la realización del diseño se usó programas como AutoCAD y AutoCAD Plant, que son habitualmente usados para crear dibujos técnicos, más usados por ingenieros, tecnólogos y personas dedicadas a diseño gráfico

## 2.2. Elaboración del diseño

Contando con un espacio de 25m<sup>2</sup>, se procedió a iniciar con el diseño de la planta de tratamiento de aguas a escala piloto, colocando como primer punto los cimientos que soportaron la estructura metálica de la instalación. Además, se procedió a colocar riostras que fueron el soporte del cercado metálico, cerrando de esa manera contorno de la planta con bloques.

A un lado de los cimientos se agregó el pozo de agua existente en el alma mater, el cual en la actualidad cumple funciones como tratamiento primario de aguas residuales, siendo este el único sistema de tratamiento que tiene UNEMI para aguas residuales. Este pozo sirvió como fuente principal de abastecimiento de aguas residuales que son tratadas con la nueva planta a escala piloto con filtro de lecho fijo aireado. Se colocó encima de las bases o riostras una estructura que será la parte externa la cual estuvo encargada de cubrir toda el área de las instalaciones, principalmente se usó perfiles metálicos como UPN -80.

Se utilizaron diferentes tipos de vigas y perfiles metálicos como son UPN-80, T-30x30mm, L-30x3mm, UPN-170 y placas soportes con espesor de 3mm que anclan las bases de la estructura al concreto.

Se diseñaron los equipos necesarios para el proceso de tratamiento de agua. Las bombas de agua cumplieron dos funciones: succión del agua residual desde el pozo al sistema de tratamiento y recirculación durante el proceso en la planta a escala piloto. El tablero eléctrico controla el funcionamiento de las bombas. Los recipientes, elementos clave del tratamiento biológico secundario, incluyen un mallado especial para atrapar sólidos grandes y evitar atascamientos en los filtros del sistema, un problema común en tratamientos biológicos.

## 3. Resultados

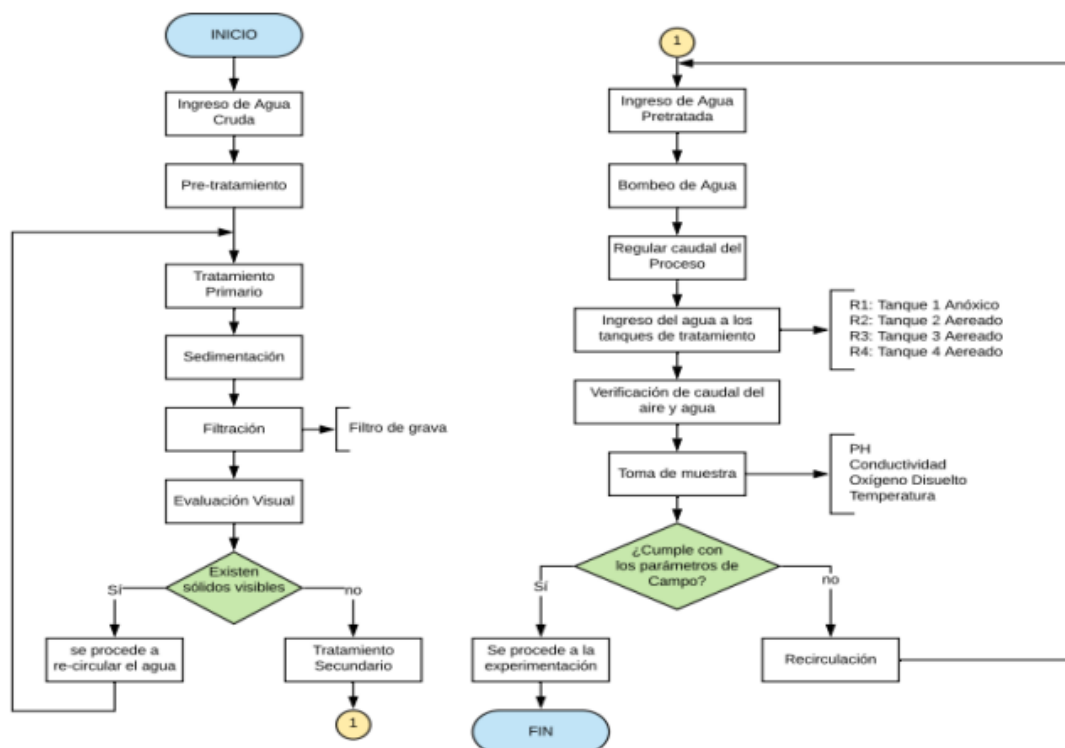
La propuesta tecnológica es la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el campus de la UNEMI. El funcionamiento del sistema para el tratamiento de aguas residuales está representado en el siguiente diagrama de



diagrama de flujo, donde se encontrará que sus procesos siguen una secuencia, si pasan la valoración de la existencia de sólidos, se realiza la recirculación del agua a la estación de tratamiento primario, caso contrario se continúa con el proceso, de tratamiento secundario; para continuar se prosigue con otro cuestionamiento, si cumple o no los parámetros de campo, cuando la respuesta es SI se produce la experimentación, de NO ser así se realiza recirculación del agua.

**Figura 1**

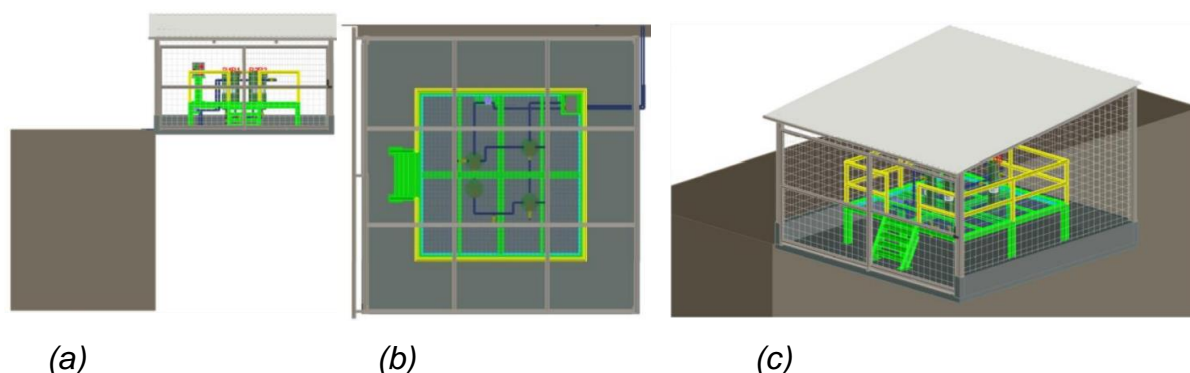
*Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales*



*Nota:* Autores (2024).

**Figura 2**

*Vista (a) frontal, (b) superior, e (c) isométrica de la planta de tratamiento*



*Nota:* En las Figuras 2a, 2b y 2c, se exhiben tres diferentes tipos de vista del diseño de la planta de tratamiento de agua a escala piloto.

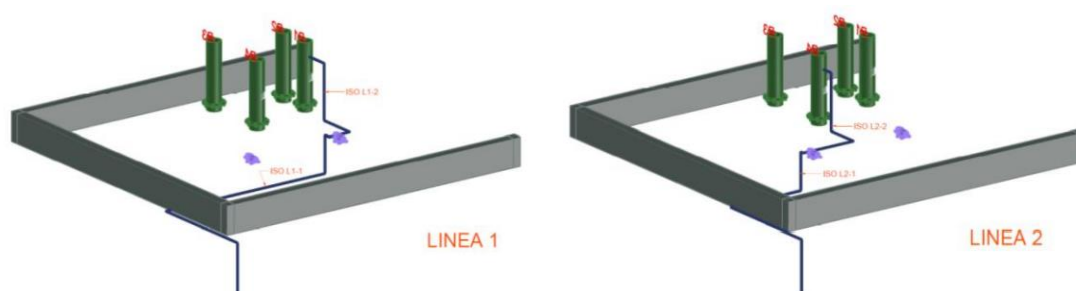


En la Figuras 2a se observa una vista isométrica de la Línea 1 de ductería, la cual consta de 2 conexiones la primera va desde la toma de agua cruda del tanque séptico hacia la entrada de la bomba P1(ISO L1-1) y la segunda va desde la salida de la bomba P1 hacia la conexión al reactor R1 (ISO L1-2).

Mientras que en el Figura 2b se puede observar la vista isométrica de la línea 2 de ductería, la cual consta de 2 conexiones la primera va desde la toma de agua cruda del tanque séptico hacia la entrada de la bomba P2(ISO L2-1) y la segunda va desde la salida de la bomba P2 hacia la conexión al reactor R1 (ISO L2-2).

### Figura 3

(a) Vista isométrica de la línea 1 de ductería. (b) vista isométrica de la línea 2 de ductería en el sistema de tratamiento de aguas residuales

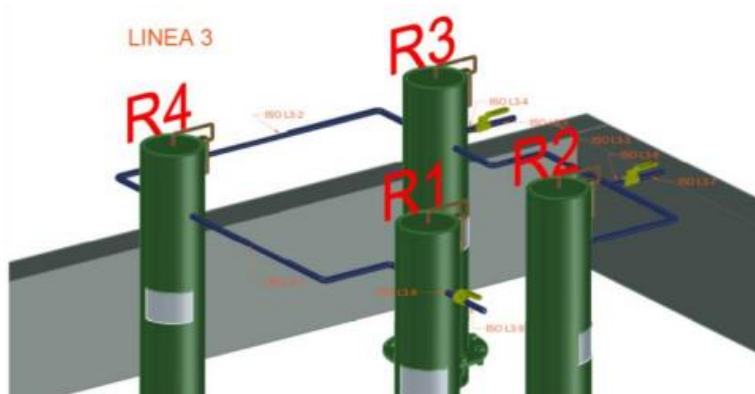


Nota: Autores (2024).

La Figura 4 muestra la línea 3 de ductería la cual consta de 9 conexiones: ISO L3-1: Conexión entre reactores R1 y R4. ISO L3-2: Conexión entre reactores R3 y R4. ISO L3-3: Conexión entre reactores R2 y R3. ISO L3-4: Conexión entre salida de reactor R3 y válvula. ISO L3-5: Conexión desde salida de válvula (Toma de muestra P3). ISO L3-6: Bifurcación entre conexión de reactores R2 y R3 a válvula. ISO L3-7: Conexión desde salida de válvula (Toma de muestra P2). ISO L3-8: Conexión entre salida de reactor R1 y válvula. ISO L3-9: Conexión desde salida de válvula (Toma de muestra P1).

### Figura 4

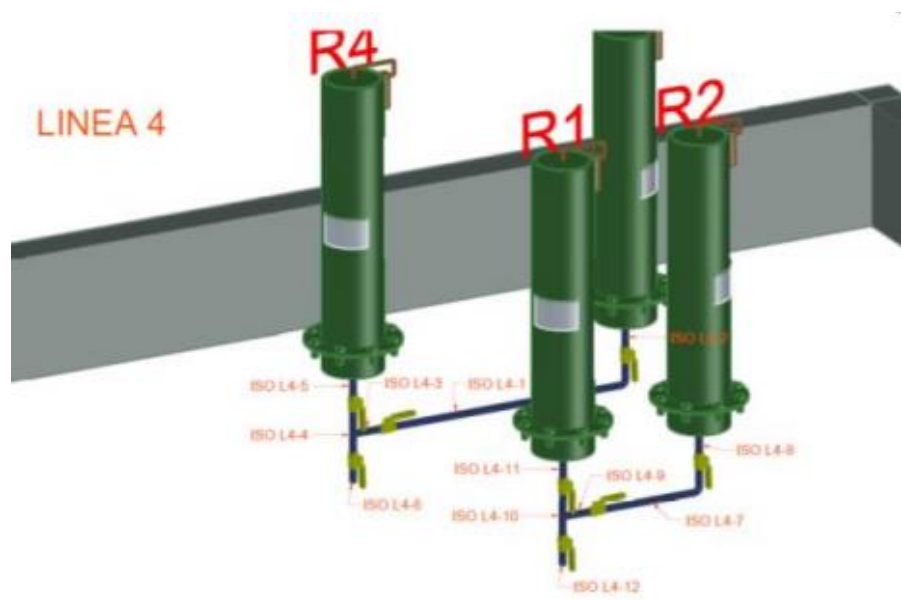
Línea 3 de ductería en el sistema de tratamiento de aguas residuales



Nota: Autores (2024).

Finalmente, en la Figura 5 se visualiza la línea 4 de ductería la cual posee 12 conexiones: ISO L4-1: Conexión intermedia entre reactores R3 y R4. ISO L4-2: Conexión entre salida de reactor R3 y válvula. ISO L4-3: Bifurcación conexión de reactor R4 y válvula. ISO L4-4: Conexión intermedia de reactor R4. ISO L4-5: Conexión entre salida de reactor R4 y válvula. ISO L4-6: Conexión desde salida de válvula (punto de purga 1). ISO L4-7: Conexión intermedia entre reactores R1 y R2. ISO L4-8: Conexión entre salida de reactor R2 y válvula. ISO L4-9: Bifurcación conexión de reactor R1 y válvula. ISO L4-10: Conexión intermedia de reactor R1. ISO L4-11: Conexión entre salida de reactor R1 y válvula. ISO L4-12: Conexión desde salida de válvula (punto de purga 2).

**Figura 5**  
*Línea 4 de ductería en el sistema de tratamiento de aguas residuales*



*Nota:* Autores (2024).

La Tabla 1 presenta un análisis comparativo entre la tecnología actual, los valores máximos permisibles según la normativa ecuatoriana vigente y los valores a obtener con la implementación de la tecnología propuesta; donde se evalúa el DBO, DQO, NTK y SST. Adicionalmente se detalla un factor de eficiencia del tratamiento propuesta frente al actual.

**Tabla 1**  
*Comparación de Parámetros de Calidad del Agua y Eficiencia del Tratamiento de Aguas Residuales*

Tecnología actual	Cumplimiento de normativa vigente	Tecnología a implementar	Factor de eficiencia
DBO = 140 mg/l	DBO= 100 mg/l	DBO= 30 mg/l	4,67
DQO= 357 mg/l	DQO= 200 mg/l	DQO= 69 mg/l	5,17

NTK= 90 mg/l	NTK= 50mg/l	NTK= 37 mg/l	2,43
SST= 25mg/l	SST= 130mg/l	SST= 15 mg/l	1,67

Nota: Autores (2024).

Estos resultados demuestran que la propuesta de tecnología para la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas no solo cumple con los requisitos de la normativa ecuatoriana, sino que mejora considerablemente la eficiencia del tratamiento en todos los parámetros evaluados. La reducción en los valores de DBO, DQO, NTK y SST indica un tratamiento más efectivo del agua residual, lo que resultaría en una menor carga contaminante al medio ambiente y contribuiría a la sostenibilidad del sistema hídrico.

4. Discusión

Los resultados presentados en este estudio muestran una mejora significativa en la reducción de contaminantes en aguas residuales a través de la implementación de una planta de tratamiento a escala piloto. En particular, la tecnología propuesta ha demostrado una alta eficiencia en la eliminación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Estas mejoras son consistentes con la normativa ecuatoriana vigente y los valores permisibles para estos parámetros. La reducción significativa de la DBO (30 mg/l) y la DQO (69 mg/l) respecto a los niveles de la tecnología actual refuerza la efectividad del sistema propuesto para tratar aguas residuales domésticas (DBO = 140 mg/l; DQO = 357 mg/l). Esta reducción es crucial no solo para cumplir con las normativas locales, sino también para mitigar la carga contaminante que afecta los cuerpos hídricos y, por ende, la biodiversidad y la salud humana, como también lo destacaron Mieles-Giler et al. (2024) en su estudio sobre la degradación ambiental en hábitats naturales.

El diseño presentado en esta investigación, basado en un sistema de recirculación, maximiza la eficiencia del tratamiento al asegurar que el agua que no cumple con los parámetros de calidad sea sometida nuevamente al proceso. Esta innovación, alineada con los principios de biotecnología ambiental, fomenta la reutilización de agua tratada para actividades no potables, como el riego de áreas verdes en campus universitarios, lo cual no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino también al aprovechamiento de recursos hídricos, como sugieren Chicaiza-Ortiz et al. (2023) en su análisis sobre aplicaciones biotecnológicas. Además, la integración de tecnologías de tratamiento como los reactores biológicos y las bombas dosificadoras para la recirculación destacan la importancia de aplicar enfoques avanzados en la gestión de aguas residuales, un enfoque que ha sido ampliamente discutido por Herrera-Feijoo et al. (2023), quienes resaltan la utilidad de herramientas bibliométricas para evaluar tendencias tecnológicas emergentes en el campo de la biotecnología ambiental.

Un aspecto fundamental de esta propuesta es el análisis comparativo entre la tecnología actual y la tecnología implementada. Como se observa en la Tabla 1 del documento, los parámetros de eficiencia del tratamiento propuesto superan significativamente los valores de la tecnología en uso. Esta superioridad se explica no solo por la incorporación de un sistema de tratamiento más robusto, sino también por la optimización del dimensionamiento de las bombas y los reactores, lo que permitió un proceso más eficiente de eliminación de contaminantes, como también se ha documentado en otras plantas de tratamiento a nivel internacional (Chicaiza-Ortiz et al., 2023). Estos avances resultan en una mayor protección de los recursos hídricos locales, evitando problemas como la eutrofización de cuerpos de agua, lo que concuerda con estudios que demuestran que tecnologías avanzadas de tratamiento pueden prevenir alteraciones ecológicas significativas (Mieles-Giler et al., 2024).

## 5. Conclusiones

La implementación de la tecnología propuesta en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas demuestra una mejora significativa en la eficiencia del tratamiento en comparación con la tecnología actual. Esto se evidencia en la reducción sustancial de los parámetros clave como la DBO, la DQO, el NTK y los SST, cumpliendo con los valores máximos permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana vigente.

Los resultados obtenidos con la tecnología propuesta no solo cumplen con los requisitos de la normativa ecuatoriana, sino que los superan ampliamente, reduciendo los niveles de contaminantes en el agua tratada. Esto implica una disminución en la carga contaminante liberada al medio ambiente, lo que contribuye a la preservación de la calidad del agua en el ecosistema circundante.

La reducción de contaminantes en el agua tratada, en especial la baja en DBO y DQO, refleja una disminución en la cantidad de materia orgánica e inorgánica, lo cual es crucial para evitar la eutrofización de cuerpos de agua receptores; esto favorece la sostenibilidad a largo plazo del sistema hídrico y la protección de los recursos naturales.

El sistema propuesto incluye un proceso de recirculación para asegurar que el agua que no cumple con los parámetros de calidad sea re-tratada. Este enfoque no solo optimiza la eficiencia del sistema, sino que también garantiza la calidad del agua al final del proceso, aumentando la confiabilidad de la planta de tratamiento.

Este estudio sugiere optimizar continuamente el proceso de tratamiento mediante el monitoreo constante de los parámetros de calidad del agua y la recirculación adecuada, así como evaluar la posibilidad de implementar tecnologías complementarias que aumenten la eficiencia del sistema. Las futuras líneas de investigación podrían enfocarse en la integración de tecnologías avanzadas, como el uso de membranas o la oxidación avanzada, para mejorar la eliminación de

contaminantes emergentes; además, sería relevante explorar la viabilidad de escalar el sistema a nivel industrial y su adaptación a diferentes tipos de aguas residuales en contextos urbanos y rurales.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias Bibliográficas

- Alfárez, L. E., y Nieves, N. (2019). Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado. *Caribeña de Ciencias Sociales*, junio. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html/hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1906tratamiento-aguas-residuales>
- Bazán-Suárez, D., y Chiclla-Salazar, A. (2023). Efecto de *Pseudomonas putida* en la variación de la demanda bioquímica de oxígeno en los efluentes de la PTAR-Collique, Lima. *South Sustainability*, 4(1), e071. <https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e071>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). Guía de biología ambiental. In *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 6–71). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.16>
- Espinosa-Rodríguez, M. Á., Delgado-Delgado, R., y Hidalgo-Millán, A. (2020). Evaluación de un proceso anóxico-aerobio-reactor biológico de membrana con alto contenido de nitrógeno. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(2), 303-320. <https://doi.org/10.20937/rica.53111>
- Herrera, G. C. G., y Naranjo, S. I. L. (2019). Evaluación del impacto ambiental de los sistemas de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales en Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(3.2.1), 73-87. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.1.783>
- Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biología ambiental. In *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>
- Janeiro, M. (2021). Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO). *Mente y Materia*, 3(1), 21-23.

- López, M. Á., Castellanos, O. P., Lango, F., Castañeda, M. del R., Montoya, J., Sosa, C. A., y Ortiz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>
- Lozada-Vilca, R. A., Ramos-Ninaja, E., Choqueneira-Ccama, R. M., Argota-Pérez, G., y Iannacone, J. (2019). Reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en las aguas residuales mediante lumbifiltración. *Paideia XXI*, 9(1), 63-68. <https://doi.org/10.31381/paideia.v9i1.2264>
- Menéndez, C., y Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3), 97-107.
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>
- Montero-Vega, F. S., Molina-Cedeño, C. S., Pillco-Herrera, B. M., Sarduy-Pereira, L. B., y Diéguez-Santana, K. (2020). Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(1), 23-39. <https://doi.org/10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39>
- Morales-Mejía, J. C., Vargas-Martínez, M. G., y Camps, J. M. (2021). La demanda química de oxígeno con el procedimiento APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a microescala. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(1), 113-132. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-04>
- Osorio, M. A., Carrillo, W. E., Negrete, J. H., Llor, X. A., y Riera, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(3), 228-245.
- Paucar, F., y Iturregui, P. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), e004. <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-004>
- Peña, S., Mayorga, J., y Montoya, R. (2018). Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador). 39(2), 160-173.
- Pérez, A., Andrade, E., Farías, T., Zambrano, R., Montesdeoca, R., y Andrade, J. (2018). Ozonización De Residuos Líquidos Textiles Para Remoción De Sólidos Suspendedos Totales, Demandas Química Y Bioquímica De Oxígeno, Grasas Y Aceites. *European Scientific Journal*, 14. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p40>
- Pérez, Y. A., Cortés, D. A. G., y Haza, U. J. J. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: Una revisión: *Ecosistemas*, 31(1), 2279. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2279>
- Polo, J. F., Torrecillas, A. S., y Martínez, Á. R. (2018). Tratamientos biológicos de aguas residuales. En *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Universidad



Politécnica de Valencia = Universitat Politècnica de València.  
<https://producciocientifica.uv.es/documentos/601df5a5ecc73607262a1d01>

Soto-Córdoba, S. M., Gaviria-Montoya, L., y Pino-Gomez, M. (2019). Estudio de caso: disposición de las aguas residuales domésticas en zonas rurales de Costa Rica. *Ambiente y Sociedad*, 22, e01562.

Vargas, Y. E. P., Suárez, M. A. C., y Valle, D. A. C. (2022). Estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas residuales de las empresas de jeans de la ciudad de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales. *Conciencia Digital*, 5(3.1), 406-423. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.1.2320>