

Elaboración de un biofiltro de capas para aguas residuales como solución a la problemática de contaminación en las pozas de oxidación de El Tablazo, Huanchaco

Development of a layered biofilter for wastewater as a solution to the pollution problem in the oxidation ponds of El Tablazo, Huanchaco

Walter Martín Pacheco López , Soleda Janeth Garcia Mendieta ,
Jenifer Cotrina Dominguez , Dean Henriquez Cruz ,
Bailón José Augusto Diez Canseco , Haniel Solis Muñoz 

RESUMEN

Este estudio exploró el uso de biofiltros como alternativa para el manejo de aguas residuales en zonas vulnerables de Perú. El sistema evaluado combinó materiales naturales como rocas, grava y fibra de coco en un diseño de capas. Los análisis realizados permitieron caracterizar el comportamiento del biofiltro frente a diferentes parámetros de calidad del agua. Los hallazgos proporcionan información relevante sobre los mecanismos de tratamiento y los factores que afectan su rendimiento. Aunque se identificaron limitaciones, el estudio demuestra el potencial de esta tecnología como solución complementaria para mejorar la gestión de aguas residuales en contextos con recursos limitados.

Palabras clave: Biofiltro; Aguas Residuales; Contaminación

ABSTRACT

This study explored the use of biofilters as an alternative for wastewater management in vulnerable areas of Peru. The evaluated system combined natural materials like rocks, gravel and coconut fiber in a layered design. The analyses allowed characterization of the biofilter's performance regarding different water quality parameters. The findings provide relevant information about treatment mechanisms and performance-affecting factors. Although limitations were identified, the study demonstrates this technology's potential as a complementary solution to improve wastewater management in resource-limited contexts.

Keywords: Biofilter; Sewage; Pollution

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de lluvias intensas por el cambio climático y la urbanización ha intensificado los desbordamientos de alcantarillado, implicando riesgos sanitarios y ambientales, aumentando hasta en un 99% cuando la infiltración crece del 2% al 30% (Muttill et al., 2023). Según Vorobevskii et al. (2020) la insuficiencia y el mal funcionamiento de los sistemas de drenaje urbano, junto con lluvias intensas, pueden ocasionar que el sistema se sature y se produzcan inundaciones en áreas urbanas. Las inundaciones que se registran en el Perú son efecto de un mal sistema de drenaje de agua en las lluvias intensas, en su mayoría este problema lo sufren ciudades del Norte, como lo son Trujillo, Chiclayo y Piura.

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Ciudad Trujillo, País Perú. hsolism@unitru.edu.pe

En este contexto, el distrito de Huanchaco, ubicado en la provincia de Trujillo, región La Libertad (Perú), ha enfrentado en los últimos años diversos episodios de inundaciones provocadas por lluvias estacionales. Uno de los puntos críticos que ha contribuido a estas emergencias es el sistema de pozas de oxidación de El Tablazo, ubicado en la parte baja del distrito. Estas estructuras, destinadas al tratamiento de aguas residuales, presentan problemas estructurales y de capacidad hidráulica que se evidencian durante épocas de lluvia. Cuando las precipitaciones son intensas, las pozas se saturan, rebosan y colapsan, generando el desborde de aguas negras que se mezclan con el agua pluvial, como se vio a inicio de año y a finales de marzo del presente año.

Justamente el pasado 29 de marzo del 2025 se registró una lluvia que duró aproximadamente 5 horas, ocasionando distintos daños desde infraestructuras hasta personas, y por supuesto que ocasionó inundaciones en la IPRESS de Salaverry y otros lugares; haciendo que se use costales de arena para detener y desviar el flujo de agua (INDECI, 2025). Por otro lado, donde hubo un problema claro fue en las pozas de oxidación del Tablazo, Huanchaco, donde las aguas que están en las pozas rebalsaron por la lluvia, ya que la PTAR el Tablazo tiene capacidad para tratar 80 L/s y sin embargo trabajan con 220 L/s, esto por recibir aguas residuales de diversos distritos que no estuvieron en su plan inicial; produciendo un desborde y flujo de agua sin tratar a la parte más baja, es decir, a los Totorales de Huanchaco. La comunidad afectada pide que se solucione de inmediato este problema puesto que los Totorales son un recurso importantísimo para la economía local. Sedalib, dueños de la PTAR informan que este problema viene sucediendo varias veces, por lo que han solicitado reuniones con la Municipalidad Provincial de Trujillo sin obtener respuesta; ello para discutir sobre las propuestas que necesitan tener activo el SNIP (sistema nacional de inversión pública) para realizar las medidas adecuadas en estos problemas. Del mismo modo, dentro de estas propuestas están el megaproyecto de llevar todas las aguas residuales a la PTAR Covicorti que tiene un costo de aproximadamente 998 000 000 soles, y otra propuesta a corto plazo sería construir emisario terrestre de la PTAR el Tablazo a la orilla de la playa Huanchaco y luego un emisor submarino que lleve el agua tratada a 4km de la orilla, teniendo un costo de 90 000 000 de soles (Sedalib, 2025).

1.1. Antecedentes

La importancia de una gestión proactiva del riesgo en Trujillo trasciende la mera respuesta a emergencias. Se trata de una cuestión de seguridad nacional y de desarrollo sostenible. Cada evento de inundación o huaico no solo destruye bienes materiales, sino que interrumpe cadenas de suministro, paraliza el comercio, afecta la salud pública y erosiona la confianza en las instituciones, frenando el progreso a largo plazo. La capacidad de la ciudad para recuperarse de estos choques recurrentes depende fundamentalmente de la inversión en medidas preventivas que reduzcan la vulnerabilidad antes de que ocurra el desastre (Kom, 2024). La valoración de vidas salvadas y la reducción de impactos en la salud pública son beneficios invaluable. Se utilizará el Valor de la Vida Estadística (VVE) de S/ 3.10 millones por vida salvada en el contexto peruano. Además de las vidas, la prevención reduce la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores o por condiciones insalubres post-inundación, como dengue, paludismo y conjuntivitis. Estos brotes generan costos significativos para el sistema de salud y afectan la productividad laboral.

La vulnerabilidad ambiental está vinculada a la forma en que los humanos perciben la degradación ecológica, y cómo sus acciones afectan tanto al medio ambiente como a su propia calidad de vida (Guimarães & Dalla Corte, 2024). Arangui, Cerini, Imbert y Rígoli (2023) mencionan que "la vulnerabilidad institucional dificulta la capacidad de las comunidades para gestionar adecuadamente los riesgos, ya que dificulta la implementación de estrategias de prevención y mitigación. Además, las respuestas inadecuadas de las instituciones en momentos de emergencia aumentan los riesgos y complican la recuperación de las comunidades. También, esta vulnerabilidad eleva los riesgos para los propios agentes involucrados, exponiéndolos a afectaciones personales y laborales que podrían evitarse" (p. 45). Adicionalmente, la zona es vulnerable a inundaciones severas, especialmente durante eventos de El Niño, y a deslizamientos de tierra (huaicos) en áreas cercanas con pendientes, exacerbados por lluvias intensas. (Leong, 2025)

El costo promedio de construcción de una vivienda de 100m² en Perú se estima entre S/170,000 y S/230,000 (Munay, 2024). Las reparaciones de viviendas pueden variar considerablemente: una remodelación menor (mejoras estéticas) puede costar entre S/500 y S/1,500 por metro cuadrado, mientras que una remodelación importante (reparaciones estructurales) puede ascender a S/1,500 a S/3,000 por metro cuadrado (Arquitecto, 2023). Un ejemplo específico de reparación de una vivienda mostró un costo directo de S/7,566.51. Considerando que miles de viviendas han sido afectadas o destruidas en eventos pasados en Trujillo, el costo evitado de su reconstrucción o reparación representa un beneficio sustancial. (Richard, 2020)

En febrero de 2024, la ciudad de Piura enfrentó serias inundaciones como consecuencia de las lluvias intensas y la deficiente capacidad del nuevo sistema de drenaje pluvial estas constituyen uno de los principales

factores de riesgo en el departamento de Piura, especialmente durante la temporada de lluvias (noviembre a abril) y en años afectados por el Fenómeno El Niño Costero (Ministerio de Defensa & CENEPRED, 2019). Expertos del Colegio de Ingenieros de Piura denunciaron que el proyecto no contempló los caudales máximos ni las características hidrológicas del entorno, lo que provocó el colapso de la estructura apenas iniciada la temporada de lluvias. Esto generó daños materiales en viviendas y comercios, además de un riesgo sanitario importante por el desborde de aguas servidas y el estancamiento de agua contaminada (Silva D, 2024). Araujo (2025) explica que, entre los riesgos asociados, se tiene en primer lugar las inundaciones. La geografía plana de Piura, junto con suelos arenosos y aluviales que dificultan la absorción del agua, hace que incluso lluvias moderadas pueden causar inundaciones temporales y, en eventos extremos, inundaciones severas que afectan viviendas, calles y servicios básicos. En esta misma línea, la falta de infraestructura adecuada para el drenaje pluvial agrava el riesgo de anegamientos y dificulta la evacuación del agua, especialmente en sectores urbanos densamente poblados. Estas afectaciones traen consigo problemas en los servicios básicos, interrumpiendo el acceso a agua potable y electricidad, complicando la vida diaria de la población (Velasquez et al., 2024). Relacionado a las inundaciones, se tiene que las lluvias excesivas traen consigo el incremento del caudal de los ríos y la activación de quebradas, provocando desbordes y flujos de lodo (huaycos) que afectan áreas urbanas y rurales (Silva, 2025). Asimismo, esta situación trae consigo impacto en la agricultura y recursos hídricos. Las precipitaciones excesivas, seguidas de periodos de sequía (asociados a La Niña), afectan la producción agrícola y la disponibilidad de agua para consumo humano y ganadero (Velasquez et al., 2024).

La quebrada San Idelfonso, por ejemplo, presenta una cuenca de forma semicircular con una pendiente del cauce principal de 6.3%, lo que propicia una respuesta hidrológica rápida a las precipitaciones, generando descargas bruscas. Geomorfológicamente, esta quebrada se modela en roca intrusiva (Cerros El Alto y San Idelfonso) y en roca volcánico-sedimentaria (Cerro Las Cabras). La configuración geológica y geomorfológica de las quebradas de Trujillo, caracterizada por depósitos aluviales erodibles y pendientes pronunciadas en las cuencas altas, crea un entorno naturalmente propenso a la ocurrencia de huaicos. La rápida respuesta de quebradas como San Idelfonso a las lluvias intensas es una consecuencia directa de estas características topográficas y geológicas. (Romero, 2020)

El de Bangkok, Tailandia; que con el fin de mitigar las inundaciones urbanas, se implementó sistemas que se basan en la construcción de grandes depósitos subterráneos que almacenen temporalmente el agua de las lluvias, mediante puntos de captación en cada calle; una vez que la lluvia haya cesado se permite su liberación controlada. (Vietnam Plus, 2020). Otro referente similar es en Tokio, en donde existe una de las estructuras más modernas y avanzadas para prevenir inundaciones, el Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel o conocido de forma más coloquial como G-Cans; este modelo subterráneo busca desviar y almacenar el agua acumulada durante lluvias intensas y tifones, evitando así las inundaciones en las calles. Su estructura cuenta con 5 silos de contención de concreto (65m x 32m c/u) y un conjunto de túneles interconectados a 50 m bajo tierra; operan con un total de 78 bombas y tiene una capacidad de 670 000 metros cúbicos; el agua acumulada desemboca al río Edo (Clarín, 2022). En un estudio realizado por Wu et al. (2023) se ha demostrado que la conservación de los humedales y la restauración o recuperación de los humedales perdidos ha contribuido a mitigar el riesgo de sequía y ha fortalecido la resiliencia de las cuencas hidrográficas ante sus extremos hidrológicos que en su mayoría afecta a agricultores que usan estas aguas superficiales para riego y bebida de animales.

En este estudio se utilizó materiales disponibles localmente como medios filtrantes en una columna de flujo vertical para tratar las aguas residuales, provenientes de la zona local de Indapur, el biofiltro incluye cuatro elementos principales: cultivo, medios filtrantes, vegetación y aditivos, se utilizó rocas de distintos tamaños, grava (2,0–20 mm), arenas de diversas granulometrías, polvo de roca, fibra de coco y una capa superior para capturar CO₂ y regular el pH, depende del ciclo del carbono y permite una reducción efectiva de contaminantes como la DQO y los sólidos suspendidos (Thanke et al., 2019).

Muttill et al. (2023) explican en su investigación que la problemática de los desbordamientos de alcantarillado por lluvias se ha agravado debido a la combinación del cambio climático y la urbanización acelerada estas situaciones representan graves riesgos para la salud pública y la calidad ambiental, al aumentar la carga de nutrientes, microorganismos y metales en los ecosistemas acuáticos, mencionan también que estudios han mostrado que, en algunos casos, los desbordamientos sanitarios aumentan hasta en un 99% cuando la cobertura espacial de infiltración crece del 2% al 30%.

La intensificación de las lluvias debido al cambio climático y al crecimiento urbano ha agravado los desbordamientos de alcantarillado, provocando que aguas residuales mezcladas con escorrentía pluvial se viertan sin tratamiento en cuerpos receptores. En Głogów, Polonia, entre 2013 y 2014, los desbordamientos alcanzaron volúmenes hasta 7 veces mayores que los tratados en planta, y presentaron concentraciones de DBO₅ y DQO

hasta 8 veces por encima de los límites permisibles, afectando la calidad del río Oder representando un riesgo sanitario. La falta de modernización de las redes y de medidas de manejo sostenible agrava esta problemática, que requiere soluciones integrales y preventivas (Vorobevskii et al., 2020).

En Perú, los desbordes del sistema de alcantarillado durante las temporadas de lluvias representan un serio problema, especialmente en ciudades, ya que generalmente la infraestructura es deficiente. Un ejemplo de ello es Trujillo, se ha identificado que la falta de sistemas de drenaje pluviales incrementa la vulnerabilidad de la población frente a inundaciones, afectando tanto la salud como la economía local (Rubio & Guerrero, 2016). En Pucallpa, se ha demostrado que la implementación de aliviaderos de tormenta mejora significativamente el rendimiento hidráulico del sistema, reduciendo el riesgo de desbordes (Sánchez & Pérez, 2023). Asimismo, en Huaraz, se ha propuesto un diseño de alcantarillado pluvial más sostenible, adaptado a las condiciones del cambio climático, como una solución viable para mitigar las consecuencias de las precipitaciones extremas.

Respecto a casos de éxito de aplicación de biofiltros, se tiene el estudio de Zeng et al. (2024), realizado en China, en el que se diseñó un sistema de biofiltro a escala piloto específicamente para tratar aguas residuales con imidacloprid (un insecticida tóxico) en huertos frutales. Este sistema demostró un rendimiento excepcional, con tasas de eliminación superiores al 99 % a diferentes concentraciones de pesticidas. La eficacia de este biofiltro se vio influenciada por factores ambientales, en particular la concentración de imidacloprid en la entrada y la composición de la bio mezcla, que afectaron significativamente la actividad de las bacterias degradadoras de imidacloprid.

1.2. Base teórica

Las pozas de oxidación son conocidas como lagunas de estabilización, estos son sistemas de tratamiento de aguas residuales en donde se depuran el agua con procesos biológicos. Estas estructuras comprenden cuerpos de agua poco profundos donde microorganismos descomponen la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales (Cuellar Quispe & Ramírez Churata, 2020). La practicidad de su diseño y la mecánica de su operación no son trabajos complicados o tediosos, lo que hace que pueda ser implementado en comunidades medianas y pequeñas; sin embargo, la sobrecarga hidráulica podría ser un factor a tomar en cuenta para evitar riesgos como derrames.

Los biofiltros son un método de tratamiento de aguas residuales que utiliza la naturaleza, siendo ecológica y económica. Su funcionamiento se puede basar en dos aspectos: crecimiento de microorganismos y por acción de la gravedad. El crecimiento de microorganismos se cultiva de manera intencional en el medio que se va a degradar, de esta manera se producen biopelículas (Said et al., 2025). Es necesario que el cultivo de estos microorganismos sea en un reactor para poder contener el medio contaminante y todos los participantes. Este reactor puede ser aeróbico como anaeróbico, depende de los microorganismos. Los biofiltros pueden contener diferentes componentes, su conjunción determinará la tipología del biofiltro. Entre los componentes tenemos: microorganismos, lombrices, plantas o la unión de todos estos formando biofiltros híbridos (Conceicao et al., 2025). Los biofiltros que actúan por acción de la gravedad, no necesitan de microorganismos, sino de capas que permitan el filtro continuo del agua residual. Su eficiencia radica en la elección de las capas del filtro (Shahraki et al., 2021).

1.3. Justificación

El desborde de las lagunas de oxidación del Tablazo no es un problema reciente, viene afectado varias veces a los totorales, siendo más seguido por las lluvias presentadas en la Provincia de Trujillo. Ello representa un atentado contra la salud, terrenos y la playa de Huanchaco; puesto que ha generado pérdidas económicas en la población al no poder vender sus totorales y tener ahora sus terrenos con materia fecal proveniente de las lagunas de oxidación. En este informe se explicó la importancia del uso de biotecnología como filtros verdes como propuestas de solución, ya que acompañarán a la gestión ambiental de esta área afectada. De esta forma, se podrá evitar pérdidas económicas en los totorales, puesto que, los sembríos ya no serán afectados y por lo tanto podrán comercializarse. En el aspecto social se consiguió eliminar los brotes infecciosos a causa de las heces de las pozas de oxidación y la playa no sufrirá perjuicios que ponga en peligro a la fauna y flora nativa del mar.

1.4. Objetivos

Redactar una propuesta de solución fiable al problema de los desbordes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Tablazo. Caracterizar, antes y después del biofiltro, las muestras de aguas residuales para determinar el funcionamiento del biofiltro. Determinar la correlación entre las variables analizadas.

1.5. Planteamiento del problema

¿De qué manera la implementación de un biofiltro de capas puede contribuir a reducir la contaminación generada por los desbordes de las pozas de oxidación de la PTAR El Tablazo en Huanchaco durante la temporada de lluvias?

1.6. Hipótesis

h_i = La implementación de un biofiltro de capas contribuirá a reducir la contaminación generada por los desbordes de las pozas de oxidación de la PTAR El Tablazo en Huanchaco durante la temporada de lluvias.

h_0 = La implementación de un biofiltro de capas no contribuirá a reducir la contaminación generada por los desbordes de las pozas de oxidación de la PTAR El Tablazo en Huanchaco durante la temporada de lluvias.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 tipo de estudio

Transversal:

El presente estudio es transversal porque la recolección de datos se realiza en un solo momento, en un tiempo único, sin manipulación de variables, y su propósito es describir variables y analizar su incidencia o interrelación en un momento específico (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Cuantitativo:

El presente estudio es cuantitativo porque busca medir variables, probar teorías o hipótesis y analizar datos numéricos mediante procedimientos estadísticos. En este tipo de investigación se utilizan cálculos matemáticos y estadísticos para analizar los datos, que generalmente provienen de instrumentos como encuestas, cuestionarios o pruebas estructuradas que producen información cuantificable (D. Creswell & J. Creswell, 2018).

Relacional:

El presente estudio es relacional porque su objetivo principal es analizar y describir las relaciones o vinculaciones entre dos o más variables, sin necesariamente buscar establecer relaciones causales, lo que permite predecir el comportamiento de una variable a partir de otra, pero sin afirmar que una causa a la otra (Hernández-Sampieri et al., 2014).

2.2 población, muestra y muestreo

2.2.1 Población: La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Tablazo, ubicada en el distrito de Huanchaco.

2.2.2 Muestra: Compuesta por 8 muestras de aguas residuales recolectadas durante dos semanas: 4 tomadas antes y 4 después del biofiltro.

2.2.3 Muestreo: Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia. De acuerdo con Golzar et al. (2022), el muestreo por conveniencia se aplica cuando las unidades de análisis se seleccionan por proximidad y fácil acceso, permitiendo una recolección rápida y económica de datos cuantitativos, aunque introduce sesgos y limita la generalización de resultados. Debido a que las muestras fueron seleccionadas de forma intencional en los puntos de entrada y salida del biofiltro, considerando la disponibilidad de acceso y las condiciones operativas del sistema experimental. Este enfoque permite obtener datos representativos para evaluar la eficiencia del biofiltro en condiciones reales de trabajo.

2.3 RECOLECCIÓN DE DATOS

2.3.1 Técnica que estamos utilizando: Observación estructurada (Guía de observación y ficha de registro de laboratorio)

La técnica utilizada en este estudio es la observación estructurada, la cual se aplica a través de una guía de observación y ficha de registro de laboratorio. La guía de observación será empleada durante el funcionamiento del biofiltro, con el fin de registrar de forma sistemática y estructurada los cambios visuales observados en el agua, tanto antes como después del tratamiento. Se considerarán aspectos como el color, la turbidez y el olor, así como el estado físico del biofiltro. Esta herramienta permitirá documentar el comportamiento del sistema en condiciones reales y ofrecerá una perspectiva complementaria al análisis numérico, facilitando la identificación de patrones visuales relevantes que puedan estar relacionados con la eficiencia del tratamiento.

Por otro lado, las fichas de registro de laboratorio serán utilizadas para anotar los resultados obtenidos del análisis físico-químico de las muestras de agua. Estos análisis se realizan antes y después de que el agua pase

por el biofiltro, y se enfocarán en parámetros como el pH, la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales, la turbidez y el oxígeno disuelto. Los datos obtenidos se registran en fichas diseñadas específicamente para este estudio, que facilitarán el procesamiento estadístico de la información mediante pruebas como el t-test pareado y el ANOVA. Esta técnica es adecuada porque el enfoque de la investigación es cuantitativo, transversal y relacional, lo que implica medir numéricamente los cambios producidos en el agua tratada y compararlos a lo largo del tiempo y entre diferentes condiciones.

2.4 análisis de datos

2.4.1 Análisis descriptivo comparativo con cambio porcentual

Para cada parámetro se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Cambio absoluto} = \text{Después} - \text{Antes}$$

$$\text{Cambio porcentual} = \frac{\text{Después} - \text{Antes}}{\text{Antes}} \times 100$$

A partir de estos datos vamos a determinar cualitativamente los resultados. La clasificamos de la siguiente manera:

- Aumentó significativamente, si el cambio es mayor a 10%
- Disminuyó significativamente
- Mínimo cambio, si el cambio es menor a 1%
- Ningún cambio

La visualización de los datos se realizó en el programa Colab y con el siguiente código:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# Datos
data = {
    'Parámetro': ['Salinidad (%)', 'TDS (mg/L)', 'Conductividad (uS/cm)', 'Temperatura (°C)', 'pH'],
    'Antes': [0.11, 1120, 2260, 23.6, 6.56],
    'Después': [0.18, 1890, 3830, 21.6, 6.58]
}

df = pd.DataFrame(data)
df['Cambio absoluto'] = df['Después'] - df['Antes']
df['Cambio (%)'] = ((df['Después'] - df['Antes']) / df['Antes']) * 100

# Interpretación cualitativa

def interpretar(cambio):
    if abs(cambio) < 1:
        return 'Prácticamente igual'
    elif cambio > 0:
        return 'Aumentó significativamente' if cambio > 10 else 'Aumentó ligeramente'
    else:
        return 'Disminuyó significativamente' if cambio < -10 else 'Disminuyó ligeramente'

df['Interpretación'] = df['Cambio (%)'].apply(interpretar)
```

```
# Mostrar tabla
print(df)

# Gráfico
plt.figure(figsize=(8,5))
plt.bar(df['Parámetro'], df['Cambio (%)'], color=['red' if x > 0 else 'green' for x in df['Cambio (%)']])
plt.axhline(0, color='black', linestyle='--')
plt.ylabel('Cambio porcentual (%)')
plt.title('Cambio porcentual de parámetros luego del biofiltro')
plt.xticks(rotation=45)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Tabla 01. Resultados del multiparámetro antes de la aplicación del Biofiltro

Parámetro	Antes del Biofiltro
Salinidad (%)	0.11
TDS (mg/L)	1120
Conductividad (µS/cm)	2260
Temperatura (°C)	23.6
pH	6.56

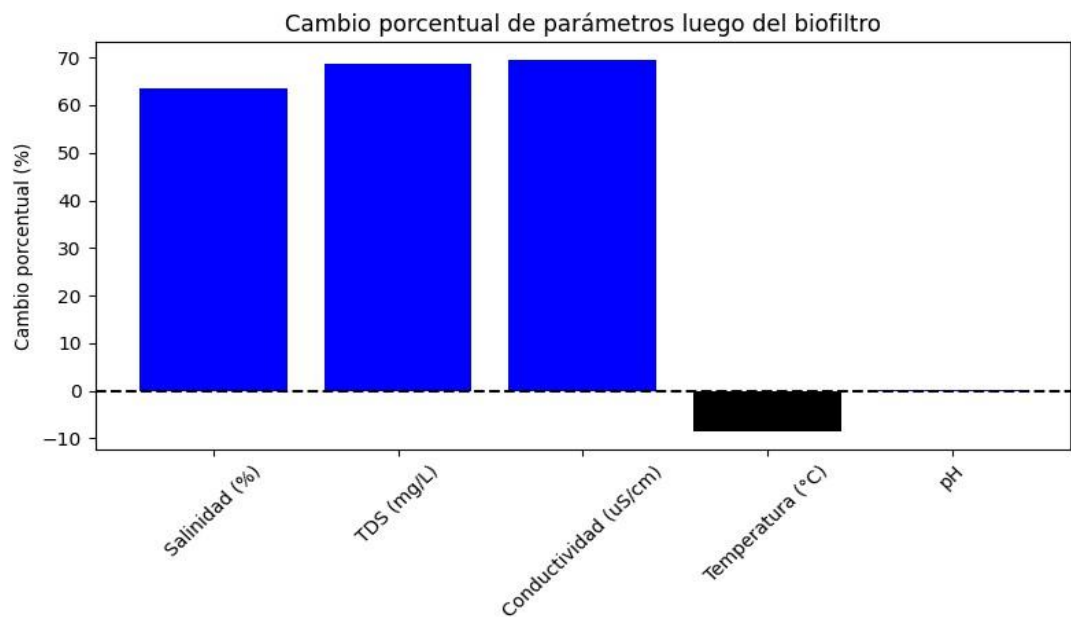
Nota: La Tabla 01 muestra los valores obtenidos del análisis multiparamétrico del agua antes de la implementación del biofiltro. Estos parámetros sirven como línea base para evaluar la eficiencia del tratamiento en la mejora de la calidad del efluente.

Tabla 02. Resultados del multiparámetro luego de la aplicación del Biofiltro

Parámetro	Después del Biofiltro
Salinidad (%)	0.10
TDS (mg/L)	1800
Conductividad (µS/cm)	3038
Temperatura (°C)	21.6
pH	6.59

Nota: La Tabla 02 presenta los resultados obtenidos luego de aplicar el sistema de biofiltración. Al compararlos con los valores de la Tabla 01, se observa una leve disminución en la salinidad y la temperatura, así como una ligera mejora en el pH. Sin embargo, el incremento en la conductividad y los sólidos disueltos totales (TDS) sugiere una posible liberación de iones o compuestos durante el proceso, lo que debe ser evaluado en conjunto con otros indicadores de calidad. Estos resultados forman parte del análisis comparativo para determinar la eficacia del tratamiento implementado.

Figura 01. Cambio porcentual (%) de los parámetros del biofiltro



Nota: La gráfica muestra que el biofiltro generó cambios en los parámetros del agua, pero no todos fueron favorables. TDS y conductividad aumentaron, lo que indica una mayor presencia de iones disueltos tras el tratamiento. La temperatura disminuyó levemente y el pH se mantuvo estable.

Tabla 03. Cambios en Parámetros Medidos en el Agua

Parámetro	Antes	Después	Cambio absoluto	Cambio (%)
Salinidad (%)	0.11	0.18	0.07	63.64
TDS (mg/L)	1120	1800	620	60.71
Conductividad (µS/cm)	2260	3830	1570	69.47
Temperatura (°C)	23.6	21.6	-2	-8.47
pH	6.56	6.58	0.02	0.3

Nota:

- Salinidad: Aumentó significativamente
- TDS: Aumentó significativamente
- Conductividad: Aumentó significativamente
- Temperatura: Disminuyó ligeramente
- pH: Prácticamente igual

Los resultados del análisis multiparámetro mostraron cambios importantes en algunas variables tras la aplicación del biofiltro. Por ejemplo, la salinidad presentó una leve elevación de salinidad (de 0.11% a 0.18%), también en el contenido de sólidos disueltos totales (TDS) y la conductividad eléctrica aumentaron (de 1120 mg/L a 1800 mg/L y de 2260 a 3830 µS/cm, respectivamente). Esto puede deberse a la lixiviación de minerales presentes en los materiales filtrantes utilizados, como arena, grava y polvo de roca, tal como se ha reportado en biofiltros contruidos con materiales locales de origen mineral (Thanke et al., 2019). Aunque estos valores parecen contradictorios, es importante resaltar que no necesariamente indican una disminución en la calidad del tratamiento, ya que estos parámetros reflejan la presencia de iones, no de materia orgánica ni microbiológica.

En cambio, los parámetros como el pH y la temperatura se mantuvieron estables, lo cual es una buena señal de equilibrio en el sistema. El pH se ajustó de 6.56 a 6.59, lo cual se encuentra dentro de un rango aceptable para aguas tratadas con procesos biológicos (Shahraki et al., 2021). La ligera reducción de temperatura también puede estar asociada al efecto de la filtración en profundidad y a la sombra natural del biofiltro. Cabe

destacar que, aunque no se reportan aquí los resultados de DBO o sólidos suspendidos, estudios similares han demostrado que los biofiltros multicapa pueden reducir eficientemente contaminantes orgánicos sin necesidad de productos químicos (Conceicao et al., 2025). Por tanto, los resultados sugieren que el biofiltro implementado tiene potencial como tecnología natural de bajo costo, aunque se recomienda una caracterización complementaria centrada en parámetros de calidad orgánica para validar plenamente su eficiencia.

La ligera reducción de temperatura observada de 23.6 a 21.6°C podría estar relacionada con el intercambio térmico con el ambiente y con las reacciones biológicas internas, especialmente la respiración aeróbica de bacterias, que si bien generan calor, también pueden facilitar procesos endotérmicos de descomposición y evaporación, disipando energía hacia el entorno (Muguirrima et al., 2024). Asimismo, como son cambios menores estos podrían estar relacionados con procesos físicos o por la interacción del agua con el ambiente del biofiltro.

4. CONCLUSIONES

La propuesta para la problemática de contaminación por el desborde de aguas residuales de las lagunas de oxidación del Tablazo en Huanchaco se presentó y se explicó su aplicación en este contexto, demostrando, al menos considerando este modelo, no ser adecuada para combatir este problema.

La caracterización del agua mediante el biofiltro se concretó evaluando parámetros de calidad de agua como el pH, temperatura, sales y conductividad eléctrica. Esto condujo a comparar los datos antes y después de pasar por el biofiltro, para así tener una muestra de su efectividad ante los contaminantes provenientes de las aguas residuales.

La elaboración de un biofiltro de capas debería contribuir a reducir la contaminación generada por los desbordes de las pozas de oxidación de la PTAR El Tablazo en Huanchaco durante la temporada de lluvias. Lo que significa un cambio significativo en la calidad del agua y por tanto un beneficio para los pobladores del Tablazo.

5. ASPECTOS ÉTICOS

Las muestras de agua residual utilizadas en este estudio fueron recolectadas bajo condiciones controladas, sin intervenir en actividades humanas que requieran consentimiento informado ni afectar el medio ambiente. La recolección se realizó únicamente con fines de análisis físico-químico, sin implicar riesgos biológicos ni experimentación en seres humanos o animales.

Todos los análisis de laboratorio fueron realizados en instalaciones autorizadas de la Universidad, cumpliendo con las normas institucionales de bioseguridad, gestión adecuada de residuos y control de calidad en los procedimientos analíticos. Se garantizó la trazabilidad y confidencialidad de los datos obtenidos, así como el manejo ético de la información generada durante la investigación.

Este trabajo cumple con los principios éticos establecidos por la institución para investigaciones que involucran muestras ambientales.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arquitecto. (2023). ¿Cuánto cuesta una remodelación de casa? URBAN Arquitectos. <https://urban.com.pe/blog/cuanto-cuesta-una-remodelacion-de-casa/#:~:text=Aqu%C3%AD%20hay%20una%20estimaci%C3%B3n%20aproximada,S%2F%203%2C000%20por%20metro%20cuadrado>
- Arangui, A., Cerini, L., Imbert, L., & Rígoli, A. (2023). Vulnerabilidad institucional: Formación y cuidado de los equipos de intervención, como medios para gestionar riesgos. *Revista de Estudios en Seguridad y Gestión de Riesgos*, 7(1). <https://www.revistareder.com/ojs/index.php/reder/article/view/106/120>
- Araujo Navarro, W. (2025). Piura y Castilla enfrentan un problema recurrente: las inundaciones. Su ubicación en una superficie mayormente plana, la presencia del río Piura y la composición arenosa y aluvial de sus suelos las hacen particularmente vulnerables. Universidad de Piura. <https://www.udep.edu.pe/hoy/2025/03/zonas-inundables-un-riesgo-latente-en-piura-y-castilla/>

- Clarín. (2022). El templo subterráneo que protege a Tokio de las inundaciones. https://www.clarin.com/internacional/templo-subterraneo-protege-tokio-inundaciones_0_QikXJiTGaL.html
- Conceicao, K. C., Freitas, L. S., & Villamar-Ayala, C. A. (2025). Behavior space-temporal of biofilters based on hazelnut shells/sawdust treating pharmaceutical and personal care products from domestic wastewater. *The Science Of The Total Environment*, 969, 178891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178891>
- Creswell, D., & Creswell, J. W. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE.
- Cuellar Quispe, X. B., & Ramírez Churata, T. L. (2020). Aprovechamiento y utilización de las lagunas de oxidación existentes para la evacuación de aguas residuales con fines de regadío de áreas verdes, Puno. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/115847>
- Da Silva Lanna, M. C., Viancelli, A., Michelon, W., Carvalho, S. V. C., De Almeida Dos Reis, D., De Salles, L. A. F., Sant'Anna, I. H., Resende, L. T., De Souza Ferreira, C., Chagas, I. A. D., Hernández, M., Treichel, H., Rodríguez-Lázaro, D., & Fongaro, G. (2019). Household-based biodigesters promote reduction of enteric virus and bacteria in vulnerable and poverty rural area. *Environmental Pollution*, 252, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.104>
- Golzar, J., Noor, S. y Tayikistán, O. (2022). Muestreo por conveniencia. *Revista Internacional de Educación y Estudios Lingüísticos*, vol 1, n°2, 72-77. <https://doi.org/10.22034/ijels.2022.162981>
- Guimarães, V. M. B., & Dalla Corte, T. (2024). De la vulnerabilidad ambiental a la vulnerabilidad ecológica: Transición de paradigmas. *Veredas do Direito*, 21, e212698. <https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2698-esp>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M., P. (2014). *Metodología de la investigación - Sexta Edición*. McGraw-Hill.
- INDECI. (2025). REPORTE COMPLEMENTARIO N.º 4398 - 2/4/2025 / COEN - INDECI /(Reporte N.º 6). <https://portal.indec.gov.pe/wp-content/uploads/2025/03/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N.%C2%BA-4398-2ABR2025-LLUVIAS-INTENSAS-EN-LA-PROVINCIA-DE-TRUJILLO-LA-LIBERTAD-6.pdf>
- Kom, A. (2024). Desafíos Urbanos: Protección Contra Inundaciones en Ciudades Peruanas - Centinel Consulting | Consultora en Gestión del Riesgo de Desastres - GRD. <https://www.centinel.com.pe/desafios-urbanos-proteccion-contrainundaciones-en-ciudades-peruanas/>
- Leong, W. (2025). Internet of things for enhancing public safety, disaster response, and emergency management. 2024 IEEE 6th Eurasia Conference on IoT, Communication and Engineering, 61.
- Miranda, B. (2017). «Sólo tuvimos tiempo para sacar a los bebés»: los estragos provocados por los deslaves e inundaciones que dejaron sin casa a casi 100.000 personas en Perú. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-39324366>
- Muguirrima, P. V. M., Chirinza, N. P., Zepa, F. L., & Mendieta Pino, C. A. (2024). Tratamiento de efluentes domésticos mediante métodos de biofiltración sostenibles. *Desalinización y tratamiento de agua*, 317, 100266. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100266>
- Munay, C. (2024). Presupuesto para construir una casa | Ciudad Munay. Ciudad Munay. <https://ciudadmunay.com/blog/presupuesto-para-construir-una-casa/#:~:text=los%20costos%20adicionales.,%C2%BFCu%C3%A1nto%20es%20el%20presupuesto%20para%20construir%20una%20casa%20de%20100m2,acabados%20y%20materiales%20que%20elijas>
- Muttill, N., Nasrin, T., & Sharma, A. K. (2023). Impacts of Extreme Rainfalls on Sewer Overflows and WSUD-Based Mitigation Strategies: A Review. *Water*, 15(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/w15030429>
- Richard. (2020). Presupuesto de reparacion.pdf. Scribd. <https://es.scribd.com/document/488493539/Presupuesto-de-reparacion-pdf>
- Romero, A. (2020). La Quebrada San Ildefonso. Scribd. <https://es.scribd.com/document/393713753/La-Quebrada-San-Ildefonso>

- Rubio Herrera, G. S., & Guerrero Padilla, A. M. (2016). Vulnerabilidad en sistemas de agua potable y alcantarillado ante inundaciones en el distrito de Trujillo, Perú. *REBIOL*, 35(2), 19-28. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/1072>
- Said, N. I., Mahasti, N., Widayat, W., Hernaningsih, T., Yudo, S., Chandrawaty, D., Fani, A. M., Shoiful, A., Fuad, N. M., Luvita, V., Nugroho, R., Primeia, S., Ikbali, N., Arifudin, N., Nugraha, Y. W., Setiyono, N., & Septian, A. (2025). Application of large-scale honeycomb biofilter as pretreatment system to improve the quality of raw city water: Efficiency and economic analysis. *Journal Of Water Process Engineering*, 71, 107213. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107213>
- Sánchez Gutiérrez, A. B., & Pérez Nascimento, K. (2023). Análisis y evaluación del comportamiento hidráulico con aliviaderos de tormentas en el sistema de alcantarillado sanitario del casco urbano de la ciudad de Pucallpa. Universidad Nacional de Ucayali. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/e3e4a39b-3bc8-43dc-8491-6a5933768892>
- Sedalip. (2025). PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN - AGUA RESIDUALES PTAR EL TABLAZO - SEDALIB. <https://www.youtube.com/watch?v=7Tb0XLqHb7w>
- Shahraki, Z. M., Wang, M., Walker, H. W., Russo, F., Gobler, C., Heufelder, G., & Mao, X. (2021). A mechanistic understanding of the nitrification sand layer performance in a nitrogen removing biofilter (NRB) treating onsite wastewater. *Ecological Engineering*, 168, 106271. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106271>
- Silva, D. (2024). Escándalo en Piura por tubería de drenaje pluvial: Denuncian que infraestructura carece de solución para el problema de las inundaciones. *infobae*. <https://www.infobae.com/peru/2024/02/04/escandalo-en-piura-por-tuberia-de-drenaje-pluvial-denuncian-que-infraestructura-carece-de-solucion-para-el-problema-de-las-inundaciones/>
- Silva, R. (2025, 2 de marzo). Tumbes y Piura con inundaciones por lluvias intensas:Cuál es la situación en Lambayeque, La Libertad y Áncash. *Infobae*. <https://www.infobae.com/peru/2025/03/02/tumbes-y-piura-con-inundaciones-por-lluvias-intensas-cual-es-la-situacion-en-lambayeque-la-libertad-y-ancash/>
- Velásquez-Hidalgo, O., Yabar-Torres, G., Tavera-Huarache, H., Gómez-Avalos, J., Villena-Mavila, M., Rodríguez-Flores, J., & Aguilar-Palacios, G. (2024). IMPACTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PIURA. CASO CANCHAQUE. *Scientia*, 27(27), Article 27. <https://doi.org/10.31381/scientia.v27i27.7189>
- Vietnam Plus. (2020). Construye Tailandia bancos de agua en Bangkok para prevenir inundaciones. <https://es.vietnamplus.vn/construye-tailandia-bancos-de-agua-en-bangkok-paraprevenir-inundaciones-post107327.vnp>
- Vorobeviskii, I., Al Janabi, F., Schneebeck, F., Bellera, J., & Krebs, P. (2020). Urban Floods: Linking the Overloading of a Storm Water Sewer System to Precipitation Parameters. *Hydrology*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/hydrology7020035>
- Wu, Y., Sun, J., Hu, B., Zhang, G., & Rousseau, A. N. (2023). Wetland-based solutions against extreme flood and severe drought: Efficiency evaluation of risk mitigation. *Climate Risk Management*, 40, 100505. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100505>
- Zeng, J., Yuan, Q., Xu, W., Li, H., Li, M., Lei, X., Wang, W., Lin, Q., Li, X., Xu, R., & Lyu, X. (2024). Research on a Biofilter for a Typical Application Scenario in China: Treatment of Pesticide Residue Wastewater in Orchards. *Agronomy*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050934>

ANEXOS

Figura 1. Mapa temático de acumulación del desborde en el sector “El Tablazo de Huanchaco”

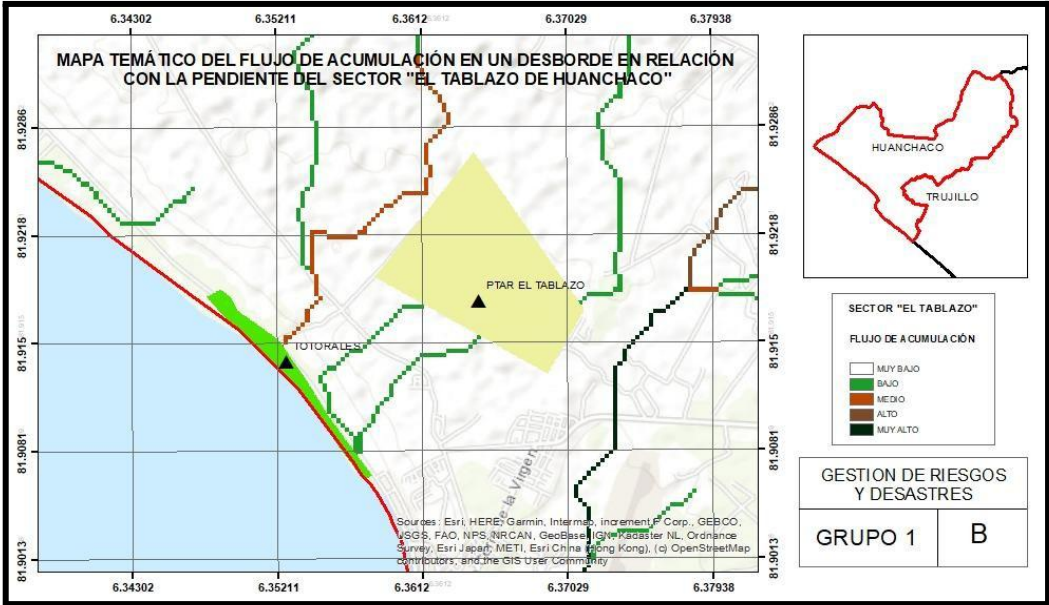


Figura 2. Sensores IoT. Reaizado en la tarea académica 7.

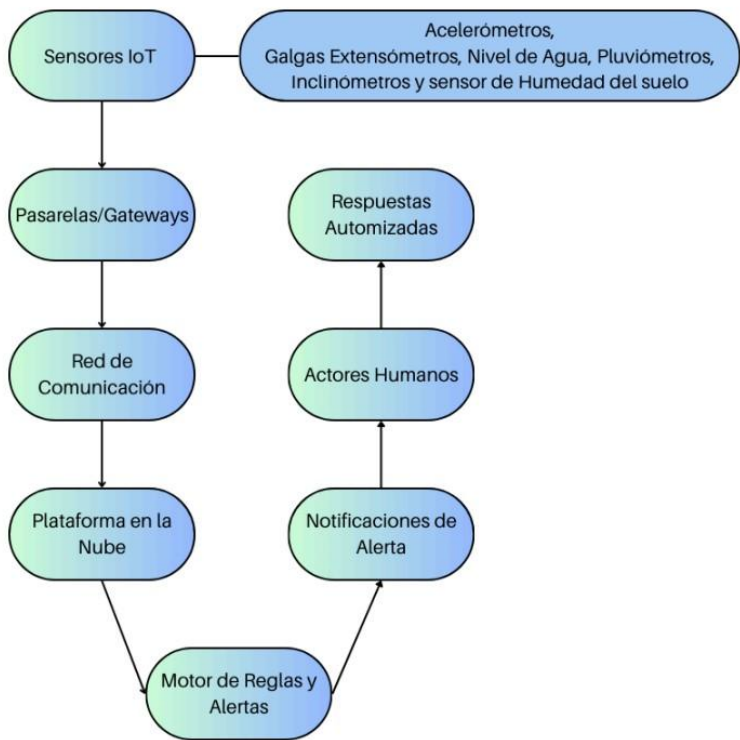


Figura 3. Procedimiento de recuperación ante inundaciones. Reaizado en la tarea académica 13.



Figura 4. Interfaz de propuesta de respuesta ante una emergencia de inundaciones. Reaizado en la tarea académica 12.

Pantalla principal (Dashboard de usuario):

FloodGuard Huanchaco

[X]

[Icono Menú] Mapa interactivo (Huanchaco y alrededores)

[Mapa con zonas inundadas y afectadas]

- Zonas inundadas (en azul oscuro)

- Rutas seguras (líneas verdes punteadas)

- Recursos en campo (íconos de rescatistas, botes, ambulancias, drones de monitoreo)

[Botón grande: Reportar Inundación]

Alertas recientes:

- 12:30 pm: Inundación activa en zona El Tablazo

- 12:45 pm: Ruta de evacuación habilitada en sector Norte

- 1:00 pm: Nivel del agua: 60 cm y en aumento

Recomendaciones:

- Evite transitar por zonas azules

- Refúgiese en zonas altas y seguras

- Manténgase informado por esta app

Menú lateral (Desplegable):

FloodGuard Huanchaco

1. Inicio

2. Reportar Inundación

3. Estado de Emergencia

4. Rutas de Evacuación

5. Recursos y Contactos

6. Configuración

7. Ayuda

Pantalla para autoridades (Dashboard avanzado):

Reportar nueva inundación

Ubicación: [Auto-geolocalización o manual]

Descripción: [Campo de texto]

Foto/Video: [Botón para adjuntar archivo]

Nivel del agua: [Selector o campo numérico]

Necesidad urgente: [Opcional: botes, alimentos]

[Enviar reporte]

Figura 5. Colocando cada capa dentro del tubo (biofiltro) **Figura 6.** Primer lavado del biofiltro



Figura 7. Preparando la primera muestra para el biofiltro **Figura 8.** Muestra de agua luego del biofiltro



Figura 9. Resultados del multiparámetros a la muestra antes del biofiltro



Figura 10. Resultados del multiparámetros a la muestra después del biofiltro

