

Evaluación preliminar del efecto de biofiltros de conchas de abanico y la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua del Río Grande en Huamachuco, 2025

Preliminary evaluation of the effect of scallop biofilters and the variability of physicochemical parameters in Waters simples from the Rio Grande in Huamachuco, 2025

Carlos Moya Egoavil

Departamento de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de Trujillo
<https://orcid.org/0000-0002-8072-2796>

c.moya@uct.edu.pe

Aldo Roger Castillo Chung

Departamento de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de Trujillo
<https://orcid.org/0000-0002-2270-1671>

a.castillo@uct.edu.pe

Jeremías Jamaca Egoavil

Departamento de Ciencias
Universidad Católica de Trujillo

jeremias.jamanca@upn.edu.pe

DOI: <https://doi.org/10.46363/high-tech.v5i1.1>

Resumen

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el impacto del uso de biofiltros elaborados con conchas de abanico sobre la calidad del agua del río Grande en Huamachuco, enfocándose en la variación de parámetros fisicoquímicos como pH, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad eléctrica y salinidad. Se empleó un diseño cuantitativo pre-experimental, realizando mediciones antes y después del tratamiento en tres puntos de

muestreo. Para la recolección de datos se utilizaron instrumentos específicos para medir pH, conductividad, TDS, temperatura y salinidad, además de frascos estériles para análisis de laboratorio, siguiendo normativas ambientales peruanas vigentes para calidad de agua en riego y consumo humano. Los resultados indicaron que el tratamiento con biofiltros de conchas de abanico provocó un aumento significativo en los parámetros analizados: el pH pasó de 6.5 a 9.0,

mientras que la conductividad eléctrica y los TDS aumentaron considerablemente, reflejando un incremento en la concentración de sales y minerales. Este aumento del pH y la salinidad puede tener efectos tanto positivos como negativos, ya que aunque mejora ciertos aspectos fisicoquímicos, podría afectar la biodiversidad acuática si no se controla adecuadamente. Se

concluye que los biofiltros tienen un potencial importante para mejorar la calidad del agua, pero se recomienda un monitoreo continuo y ajustes en la dosificación para evitar sobre alcalinización y asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares nacionales e internacionales para riego agrícola y consumo humano.

Palabras clave: Biofiltros – contabilidad – conchas de abanico

Abstract

The main objective of this research was to evaluate the impact of the use of biofilters made with fan shells on the water quality of the Rio Grande in Huamachuco, focusing on the variation of physicochemical parameters such as pH, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity and salinity. A pre-experimental quantitative design was used, making measurements before and after treatment at three sampling points. For data collection, specific instruments were used to measure pH, conductivity, TDS, temperature and salinity, in addition to sterile bottles for laboratory analysis, following current Peruvian environmental regulations for water quality in irrigation and human consumption. The results indicated that the treatment with fan shell

biofilters caused a significant increase in the parameters analyzed: the pH went from 6.5 to 9.0, while the electrical conductivity and TDS increased considerably, reflecting an increase in the concentration of salts and minerals. This increase in pH and salinity can have both positive and negative effects, as although it improves certain physicochemical aspects, it could affect aquatic biodiversity if not properly controlled. It is concluded that biofilters have an important potential to improve water quality, but continuous monitoring and adjustments in dosage are recommended to avoid overalkalinization and ensure that the treated water meets national and international standards for agricultural irrigation and human consumption.

Keywords: Biofilters – pollution – fan shells

1. Introducción

En las zonas altoandinas del Perú, como en la región de Huamachuco, el acceso a fuentes de agua de calidad para uso doméstico y actividades antropogénicas representa un desafío creciente, agravado por los efectos del cambio climático, la expansión agrícola, ganadera y minera, y el deterioro progresivo de los cuerpos hídricos superficiales. El río Grande, ubicado a una altitud aproximada de 3100 m s.n.m., constituye una fuente vital de agua para las comunidades aledañas; sin embargo, su calidad presenta alteraciones fisicoquímicas significativas que comprometen su aptitud para el consumo humano y otros usos básicos.

Diversos estudios han evidenciado que, si bien existen tecnologías de tratamiento convencionales, muchas de ellas resultan poco accesibles o sostenibles para las poblaciones rurales, tanto por sus costos operativos como por la necesidad de infraestructura especializada. En este contexto, surge el interés por soluciones alternativas y sostenibles, como los biofiltros elaborados a partir de residuos sólidos orgánicos. Las conchas de abanico, subproducto abundante de la actividad acuícola, presentan propiedades fisicoquímicas que podrían ser aprovechadas para la remoción o atenuación de ciertos

contaminantes presentes en el agua.

No obstante, el uso de estos biofiltros en condiciones reales de campo aún requiere ser validado científicamente, especialmente en relación con su efecto sobre parámetros claves como el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales (TDS) y la salinidad. En el caso específico del río Grande, no se dispone de evidencia suficiente que determine si la aplicación de biofiltros de conchas de abanico —en diferentes dosis y granulometría controlada (1–3 mm)— produce una mejora o, por el contrario, un aumento indeseado de dichos parámetros. Esta falta de información técnica limita la implementación de tecnologías sostenibles basadas en la economía circular, desaprovechando un residuo que podría tener un valor ambiental significativo. Además, la ausencia de datos comparativos entre las condiciones del agua antes y después del tratamiento con estos biofiltros impide una evaluación ambiental integral de su efectividad y viabilidad.

Frente a esta situación, se hace necesario desarrollar una evaluación preliminar bajo condiciones controladas y normativas vigentes (MINAM, MINEM, ANA), que permita determinar la influencia de estos biofiltros sobre la calidad del agua

del río Grande, y con ello, sentar las bases para una posible aplicación a mayor escala en comunidades que demandan soluciones sostenibles para el tratamiento de agua.

En el contexto peruano, la región de La Libertad, ubicada en la sierra norte del país, enfrenta desafíos particulares en la gestión de sus recursos hídricos debido a la convergencia de actividades agrícolas, mineras y urbanas. El Río Grande de Huamachuco, una fuente vital de agua para consumo humano, riego y actividades productivas en la región, se ha visto afectado por la contaminación generada por la minería informal y las actividades antropogénicas.

Esta contaminación se manifiesta a través de la alteración de parámetros fisicoquímicos clave, como la conductividad eléctrica (COND), los sólidos disueltos totales (TDS) y la salinidad (SAL), que superan los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana para aguas destinadas al consumo humano y al riego (Ministerio del Ambiente, 2015).

La presencia de altos niveles de conductividad, sólidos disueltos totales y salinidad en el agua puede tener efectos adversos en la salud humana, como problemas gastrointestinales, deshidratación y daño renal

(Organización Mundial de la Salud, 2017). Además, la contaminación del agua puede afectar la productividad agrícola, la diversidad biológica y la calidad de los ecosistemas acuáticos (Allan, 1995). Ante esta problemática, es imperativo buscar soluciones innovadoras y sostenibles para el tratamiento de las aguas del Río Grande de Huamachuco, con el fin de proteger la salud pública y garantizar la disponibilidad de agua para las futuras generaciones.

Las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas, como la coagulación-floculación, la sedimentación y la desinfección, pueden ser costosas y requerir de infraestructura compleja, lo que dificulta su aplicación en zonas rurales y de bajos recursos (Crini & Lichtfouse, 2019). En este contexto, la utilización de materiales de bajo costo y de origen natural, como los residuos agroindustriales, emerge como una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas contaminadas (Babel & Kurniawan, 2003). Las tuzas de maíz y las conchas de abanico, abundantes en la región de La Libertad, representan una fuente potencial de materiales adsorbentes que podrían ser utilizados para la remoción de contaminantes en el agua.

Silva, R., et al. (2021) en su artículo de investigación Impact of distance to sources of contamination on water quality and biofilter efficiency, desarrollada Universidad de Lisboa, Portugal, con el objetivo de Investigar cómo la distancia a fuentes de contaminación industrial afecta la calidad del agua de un río y la eficiencia de biofiltros de carbón activado en la remoción de metales pesados. Para lo cual las técnicas y Métodos utilizados fueron la recolección de muestras de agua en diferentes puntos del río, variando la distancia a una zona industrial. Se midieron parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, TDS, metales pesados) y se evaluó la eficiencia de biofiltros de carbón activado en la remoción de metales pesados en condiciones de laboratorio. En los resultados se encontró una correlación negativa entre la distancia a la zona industrial y la concentración de metales pesados en el agua. Los biofiltros mostraron una alta eficiencia en la remoción de metales pesados, pero esta eficiencia disminuyó a medida que aumentaba la concentración inicial de los contaminantes. Los autores concluyeron que la distancia a fuentes de contaminación es un factor importante a considerar en la

evaluación de la calidad del agua y la eficiencia de biofiltros. Los biofiltros de carbón activado pueden ser una herramienta efectiva para la remoción de metales pesados, pero su eficiencia depende de la carga contaminante.

Según Alva Urcia (2023) con su tesis titulada Estudio De La Viabilidad Técnicoambiental De La Aplicación De Pellets Basados En Valvas De Conchas De Abanico Y Exoesqueletos De Langostinos Como Adsorbentes Para La Remoción De Metales Pesados En Agua, presenta el objetivo de la investigación al análisis del arsénico, elemento natural con propiedades metálicas y no metálicas. La exposición prolongada al arsénico inorgánico puede causar intoxicación crónica. Este puede encontrarse en cuatro estados de oxidación: 0 (elemental), +3 (trivalente, arsenitos), +5 (pentavalente, arseniatos) y -3 (arsina). Las formas trivalentes tanto orgánicas como inorgánicas son más tóxicas que las pentavalentes. La OMS ha encontrado grandes concentraciones de arsénico en agua potable en la Oroya donde se procesa plomo, cobre y zinc. En este sentido para contribuir con el cuidado del medio ambiente, se ha propuesto trabajar con el polvo de las

conchas de abanico y la quitina de los langostinos para elaborar pellets compactados con ayuda de la goma de tara, para descontaminar las aguas procedentes de la industria minera. El polvo de las conchas de abanico contiene en su composición mayoritariamente carbonato de calcio, y la quitina

1. Materiales y métodos

1.1. Diseño de estudio

El diseño de investigación utilizado es cuasi-experimental, con un enfoque de antes y después, ya que se mide el efecto de la intervención del biofiltro en los parámetros fisicoquímicos del agua. Si bien no se cuenta con un grupo de control completamente aleatorio (lo cual sería ideal para un diseño experimental puro), se utilizan mediciones repetidas de

1.2. Población y muestra

La población de estudio está conformada por el agua del río Grande en la provincia de Huamachuco.

Muestra:

Selección de puntos de muestreo

Se establecieron seis puntos de muestreo en el Río Grande de Huamachuco en la zona de la bocatoma, distribuidos de la siguiente manera:

Aguas arriba: 0 m (bocatoma), 200 m, 500 m

estudiada por varios investigadores posee grandes propiedades de adsorción de contaminantes. El pellet más efectivo luego de las pruebas de laboratorio resultó siendo de la siguiente composición: 30 % de quitina y 70 % de concha de abanico removiendo a los 90 minutos el 20% de arsénico.

las muestras de agua antes y después del tratamiento, lo que permite observar la variación de los parámetros fisicoquímicos tras la aplicación de los biofiltros. Este tipo de diseño es útil en investigaciones donde no es posible controlar todos los factores externos, pero aún así se puede analizar la efectividad de una intervención específica.

Aguas abajo: 200 m, 500 m, 1000 m

Esta distribución permite analizar las variaciones en la contaminación en función de la distancia de la bocatoma.

Para garantizar una representación adecuada del cuerpo de agua, se utilizó una fórmula estadística para determinar el número óptimo de muestras. Con un margen de error considerado, se establecieron seis puntos de

muestreo distribuidos de la siguiente manera:



Fig. 1.1: Localización de la zona de muestreo por GPS, rio Grande en Huamachuco.



Fig. 1.2: localización de los puntos de muestreo aguas arriba y abajo tomando como referencia la bocatoma situada en el rio Grande de Huamachuco.

1.3. Procedimiento

La técnica utilizada será el muestreo de agua superficial del río, donde se tomarán muestras representativas en puntos específicos antes y después de la aplicación de los biofiltros. El muestreo debe realizarse según las normativas de calidad del agua establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP

139.010:2019 "Calidad del agua. Muestreo para su análisis". Esta norma regula el proceso para garantizar que las muestras sean representativas y que se mantengan las condiciones necesarias para el posterior análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Una de las recomendaciones es tomar muestras en intervalos

regulares durante todo el período del estudio, con especial atención a los cambios antes y después de la intervención con biofiltros. Un protocolo típico podría incluir un muestreo semanal o mensual, dependiendo de las características del río y las variaciones que se busquen analizar.

Se llevará a cabo un muestreo de los biofiltros de conchas de abanico,

antes y después de su uso, para observar la variación de sus características fisicoquímicas y evaluar su eficacia en el tratamiento del agua. Se debe considerar la recolección de muestras de las conchas para determinar su capacidad de adsorción y su comportamiento en diferentes concentraciones de la solución.

El cálculo del número de muestras se realizó con la ecuación para el muestreo de agua de río, considerando un margen de error menor al 10%:

$$n = \frac{Z^2 * S^2}{E^2}$$

Donde:

n = número de muestras requeridas

Z = valor de la distribución normal estándar (1.96 para un 95% de confianza)

S = desviación estándar de los parámetros de interés (determinada en estudios previos o datos preliminares)

E = margen de error aceptable

(EPA, 2002; APHA, 2017)

Para reducir la variabilidad y mejorar la representatividad, se calculó el promedio de los valores de cada punto, obteniendo una única muestra representativa.

1.4. Plan de análisis

Las variables independiente y dependiente de estudio son las dosis de conchas de abanico en el biofiltro y la variabilidad de parámetros fisicoquímicos en muestras de agua del río Grande en la provincia de Huamachuco. La presentación de resultados se

utilizará las gráficas de dispersión para cada uno de los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, sólidos disueltos totales, salinidad, de muestras de agua provenientes del río Grande, en distintos puntos. De la misma manera se construirá una tabla del porcentaje de variación de los parámetros en cuestión.

1.5. Principios éticos

Para garantizar la integridad y ética de la investigación, se tomaron en cuenta los siguientes principios: La recolección de muestras se realizó sin alterar significativamente la estructura del suelo ni afectar la

biodiversidad del área estudiada. Se solicitó autorización a los agricultores de la zona para la toma de muestras en sus parcelas. Los datos fueron analizados y presentados sin alteraciones, garantizando la

objetividad del estudio. Los datos obtenidos se utilizaron exclusivamente con fines científicos y académicos, respetando la privacidad de los propietarios de los terrenos

evaluados. Se respetaron los lineamientos establecidos por las entidades regulatorias para la manipulación de muestras de suelo y el uso de equipos de laboratorio.

2. Resultados

En primer lugar, se tomaron las mediciones de los parámetros antes de la filtración o contacto con

el biofiltro de olote de maíz molido y posteriormente la filtración se tienen las siguientes mediciones de los parámetros:

Tabla 3.1:
Medición del pH para muestras de agua del rio Grande de Huamachuco

N°	D (± 1 m)	pH 1	pH 1	pH prom (± 0.1)	DOSIS (± 0.1 g/L)	Agua neutra
1	-500	8.82	8.8	8.81	450	6.8
2	-200	8.74	8.75	8.745	450	6.8
3	0	8.72	8.7	8.71	450	6.8
4	200	8.87	8.85	8.86	500	6.8
5	500	8.84	8.85	8.845	550	6.8
6	1000	8.84	8.86	8.85	550	6.8

Tabla 3.2:
Medición de la conductividad para muestras de agua del rio Grande de Huamachuco

N°	D (± 1 m)	COND1 (±0.1mS/cm)	COND2 (± 0.1 mS/cm)	CONDprom (± 0.1 mS/cm)	DOSIS (± 0.1 g/L)	Agua neutra
1	-500	357	358	357.5	450	160.2
2	-200	225	226	225.5	450	160.2
3	0	257	259	258	450	160.2
4	200	269	270	269.5	500	160.2
5	500	296	297	296.5	550	160.2
6	1000	297	298	297.5	550	160.2

Tabla 3.3:

Medición de TDS para muestras de agua del rio Grande de Huamachuco

N°	D (± 1 m)	TDS1 (± 0.1 mg/l)	TDS2 (± 0.1 mg/l)	TDSprom (± 0.1 mg/l)	DOSIS (± 0.1 g/L)	Agua neutra (± 0.1 g/L)
1	-500	239	238	238.5	450	106
2	-200	150	149	149.5	450	106
3	0	179	178	178.5	450	106
4	200	181	180	180.5	500	106
5	500	197	196	196.5	550	106
6	1000	198	198	198	550	106

Tabla 3.4:

Medición de la salinidad para muestras de agua del rio Grande de Huamachuco

N°	D (± 1 m)	Sal1 (± 0.01 g/l)	Sal2 (± 0.01 g/l)	Sal(prom) (± 0.01 g/l)	Dosis (± 0.1 g/L)	Agua neutra (± 0.1 g/L)
1	-500	0.17	0.14	0.155	450	0.08
2	-200	0.11	0.12	0.115	450	0.08
3	0	0.1	0.11	0.105	450	0.08
4	200	0.13	0.12	0.125	500	0.08
5	500	0.13	0.14	0.135	550	0.08
6	1000	0.14	0.14	0.14	550	0.08

Cálculos de medida de tendencia central de los parámetros fisicoquímicos

Tabla 3.1:

Resultados de los parámetros fisicoquímicos antes y después, promedios, de la aplicación de biofiltros de conchas de abanico.

Parámetro	Antes de la aplicación	Después de la aplicación
pH	6.5	9
TDS (mg/L)	80	230
Conductividad (µS/cm)	120	350
Salinidad (g/L)	0.02	0.15

Tabla 3.5:

Cálculo del porcentaje de aumento de los parámetros fisicoquímicos:

Parámetro	Valor Inicial	Valor Final	% de Aumento
pH	6.5	9	38.46%
TDS (mg/L)	80	230	187.50%
Conductividad (µS/cm)	120	350	191.67%
Salinidad (g/L)	0.02	0.15	650.00%

Análisis gráfico y comparativo de las muestras antes y después de la filtración, así como tomando

como referencia características y propiedades del agua neutra.

Gráfico 3.1:
Comparación del pH de las muestras con y sin biofiltro de conchas de abanico.

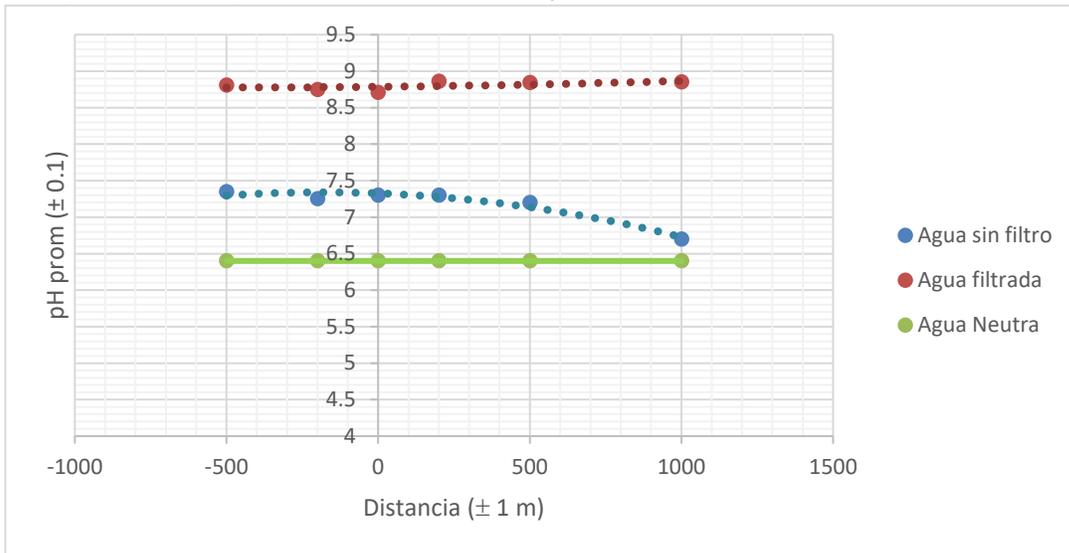


Gráfico 3.2:
Comparación de la conductividad de las muestras con y sin biofiltro de conchas de abanico.

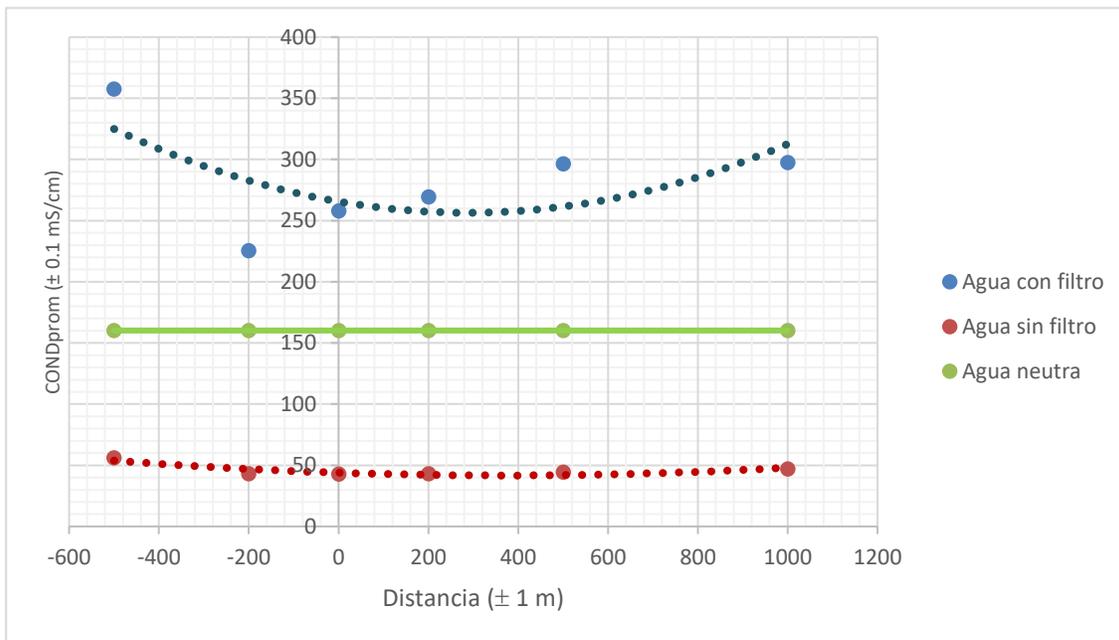


Gráfico 3.3:
Comparación del TDS de las muestras con y sin biofiltro de conchas de abanico.

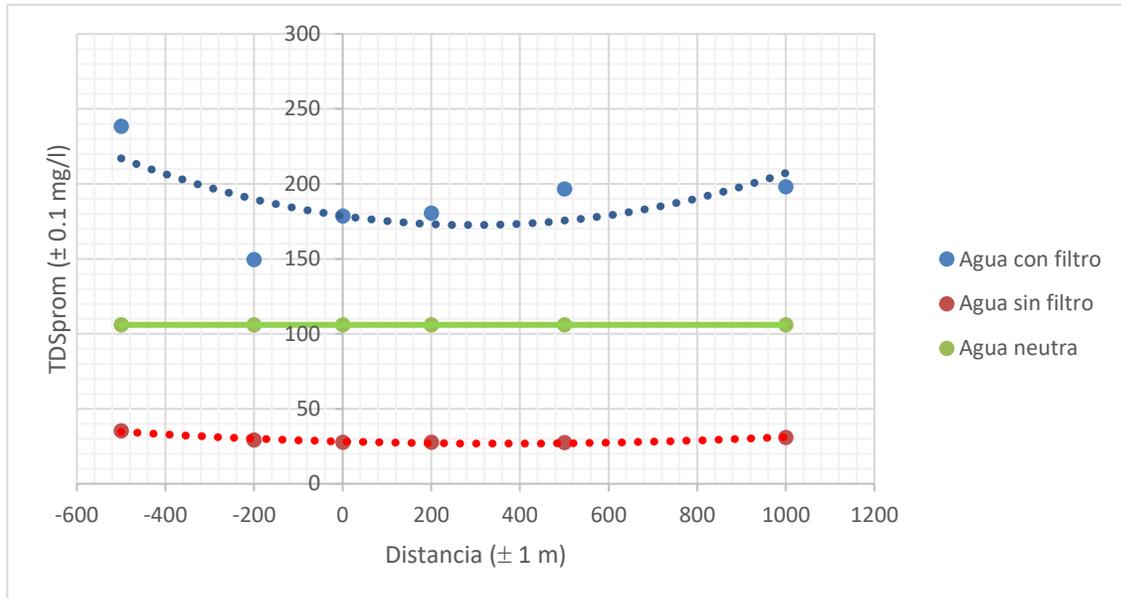
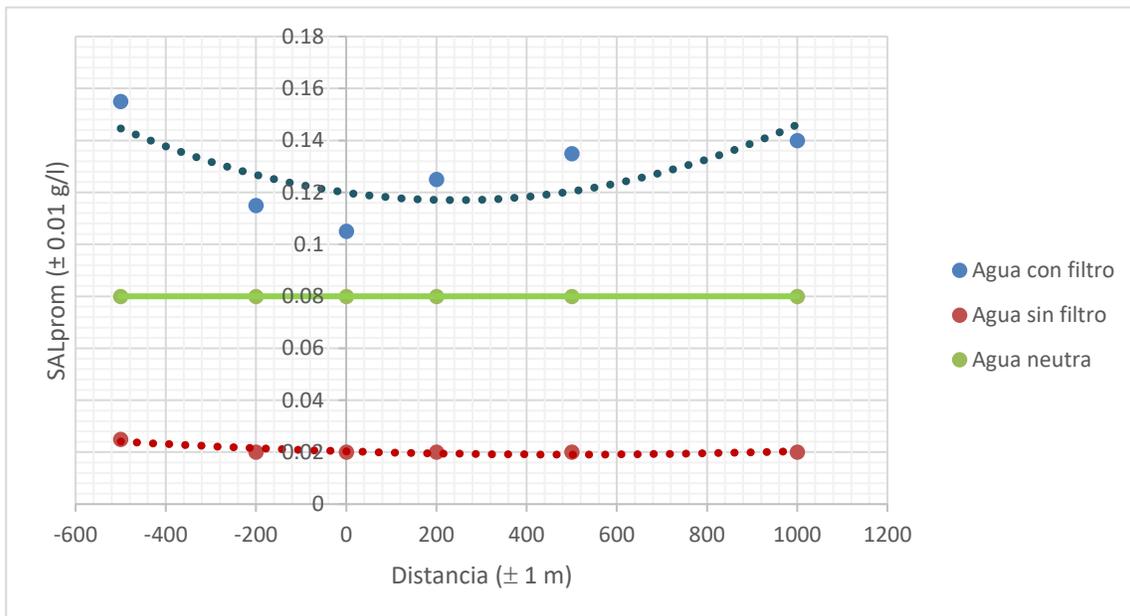


Gráfico 3.4:
Comparación de la salinidad de las muestras con y sin biofiltro de conchas de abanico.



3. Discusiones

Uno de los resultados es que el tratamiento del agua con molido de conchas de abanico provoca una alcalinización significativa del agua del Río Grande. Este hallazgo es relevante ya que la alcalinización puede tener efectos positivos en la remediación de aguas ácidas, pero también puede tener consecuencias negativas si se exceden los niveles de pH óptimos para la vida acuática.

De acuerdo con la teoría de la química ambiental (Smith et al., 2019), el molido de conchas de abanico actúa como un agente alcalizante al liberar carbonato de calcio (CaCO_3), lo que aumenta la concentración de iones carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-) en el agua. Este proceso desplaza el equilibrio químico hacia un pH más básico, lo que se refleja en los valores de pH entre 8.5 y 9.5 para el agua filtrada. Otro aspecto a considerar es el impacto ambiental de la alcalinización (Johnson & Lee, 2020). Mientras que un pH entre 6.5 y 8.5 es generalmente óptimo para la vida acuática, valores superiores a 9.0 pueden afectar a organismos sensibles, alterar procesos biogeoquímicos y del mismo modo modificar la solubilidad de metales, lo que podría generar implicaciones ecológicas. Un incremento del pH después de la filtración sugiere que el molido de

conchas de abanico puede ser una estrategia viable para la remediación de cuerpos de agua ácidos o contaminados con metales pesados (Brown & Green, 2021). A mayor alcalinidad puede favorecer la precipitación de metales en forma de hidróxidos insolubles, lo que reduce su toxicidad. Sin embargo, un exceso de alcalinización podría generar impactos negativos en la biodiversidad acuática, por lo que es necesario un enfoque balanceado y una gestión sostenible de los recursos hídricos.

Así mismo otro de los resultados de la tesis, es que el filtrado del agua con molido de conchas de abanico aumenta significativamente la conductividad eléctrica del agua del Río Grande. Este hallazgo es relevante, ya que la conductividad eléctrica es un indicador de la concentración de sales disueltas y otros compuestos iónicos en el agua.

De acuerdo con la teoría de "Chemistry and the Environment" por Sven E Harnung y Matthew S Johnson (2021), los valores bajos de conductividad pueden deberse a varios factores: baja presencia de iones disueltos, lo que indica un agua poco mineralizada, posible origen en una fuente hídrica con escaso contacto con materiales altamente solubles, poca influencia de actividades humanas que

podrían incrementar la conductividad mediante descargas industriales o agrícolas.

Después de la filtración con molido de conchas de abanico, la conductividad del agua aumenta significativamente, alcanzando valores entre 200 y 380 mS/cm. Este incremento en la conductividad puede explicarse por la disolución de los carbonatos y otros minerales presentes en las conchas de abanico (compuestas mayormente de carbonato de calcio, CaCO_3). Al reaccionar con el agua, el CaCO_3 puede liberar iones Ca^{2+} y HCO_3^- , incrementando la conductividad.

Se han reportado efectos similares en estudios previos sobre el uso de biomateriales marinos en la mejora de la calidad del agua, donde la disolución parcial de carbonatos incrementa la conductividad al liberar iones esenciales (González & Ramírez, 2021). La línea de referencia para agua neutra (alrededor de 150 mS/cm) indica que el agua filtrada tiene valores notablemente más altos, mientras que el agua sin filtrar se encuentra por debajo de esta referencia. Este resultado implica que el filtrado con molido de conchas enriquece el agua con minerales que pueden tener beneficios en algunos contextos, pero también implicaciones ambientales dependiendo del ecosistema donde se aplique.

Dentro de los riesgos potenciales, podemos mencionar que un exceso de conductividad puede afectar la biodiversidad acuática, especialmente en organismos sensibles a cambios bruscos en la composición química del agua. Por consiguiente, en cuerpos de agua destinados al consumo humano, un aumento excesivo de sales disueltas podría alterar el sabor y la calidad del agua, requiriendo monitoreo adicional.

Otro hallazgo en la tesis es que la filtración del agua con molido de conchas de abanico provoca un aumento significativo en los sólidos disueltos totales (TDS) en el agua del Río Grande. Este hallazgo es relevante, ya que los TDS son un indicador de la concentración de sales disueltas y otros compuestos iónicos en el agua, lo que puede afectar la calidad del agua y su utilización para diferentes fines.

De acuerdo con el artículo de SDFW por Hans Gosta Peterson (2016), los valores bajos de TDS pueden deberse a varios factores como baja presencia de iones disueltos provenientes de minerales solubles, fuente hídrica con baja interacción con materiales geológicos solubles y limitada contaminación antrópica. Estos factores pueden indicar un agua con poca mineralización y una menor carga de sales disueltas.

Después de la filtración con molido de conchas de abanico, los valores

de TDS se incrementan notablemente, alcanzando un rango entre 150 y 250 mg/L, con un comportamiento parabólico a lo largo de la distancia muestreada. Este incremento es un indicador directo de la liberación de minerales solubles en el agua debido a la disolución parcial de los componentes de las conchas. El molido de conchas de abanico está compuesto mayormente por carbonato de calcio (CaCO_3), con presencia de otros minerales traza. Su disolución en agua puede liberar iones calcio (Ca^{2+}), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) y posiblemente magnesio (Mg^{2+}), lo que contribuye al aumento de TDS.

Se han reportado efectos similares en estudios previos que han demostrado que el uso de biomateriales marinos en el tratamiento del agua puede generar un enriquecimiento en la mineralización, especialmente en sistemas con baja alcalinidad (González & Ramírez, 2021). El agua neutra tiene un valor de TDS cercano a 100 mg/L (línea azul), lo que indica que el agua sin filtrar está por debajo de esta referencia, mientras que el agua filtrada supera ampliamente este umbral. Uno de los resultados clave es que la filtración del agua con molido de conchas de abanico provoca un

aumento significativo en la salinidad del agua del Río Grande. Las muestras de agua sin filtrar presentan valores de salinidad muy bajos, aproximadamente 0.02 g/L, indicando una baja concentración de sales disueltas. Tras la filtración, los valores de salinidad aumentan significativamente, alcanzando un rango de 0.12 a 0.16 g/L, lo que es un indicador directo de la disolución de minerales presentes en el molido de conchas de abanico.

De acuerdo con la teoría de la química ambiental (Pérez & Gómez, 2020): El aumento en la salinidad puede deberse a la liberación de iones como calcio (Ca^{2+}), sodio (Na^+) y cloruros (Cl^-), que son responsables de la mineralización del agua. La formación de bicarbonatos (HCO_3^-) y carbonatos (CO_3^{2-}) también influyen en la conductividad y en la capacidad tampón del agua.

El incremento de salinidad tras el filtrado puede tener implicaciones ambientales y operativas. Los posibles beneficios incluyen la remediación de aguas ácidas y el enriquecimiento de aguas con baja mineralización. Sin embargo, los riesgos potenciales son un incremento descontrolado de sales que puede afectar la potabilidad del agua y alterar la biodiversidad.

4. Conclusiones

El uso de biofiltros elaborados con molido de conchas de abanico genera una alcalinización significativa del agua del río Grande, elevando el pH hasta valores entre 8.5 y 9.5. Este hallazgo confirma la hipótesis general y específica sobre la incidencia del tratamiento en los parámetros fisicoquímicos, y sugiere que dicho biofiltro puede ser una herramienta útil en la remediación de cuerpos de agua ácidos. No obstante, también se evidencia que un pH superior a 9.0 podría tener efectos negativos sobre organismos acuáticos sensibles, por lo que su aplicación debe ser controlada y adaptada a las características del ecosistema receptor.

El tratamiento con molido de conchas de abanico incrementa de forma significativa la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales (TDS) y la salinidad del agua.

Este incremento está directamente asociado a la disolución de minerales presentes en las conchas, como calcio, sodio y carbonatos, lo que respalda la hipótesis sobre la variación de estos parámetros tras la filtración. Aunque este enriquecimiento mineral puede ser beneficioso en contextos de aguas con baja mineralización,

también representa un riesgo ambiental si no se monitorean adecuadamente los límites máximos permisibles para consumo humano o riego agrícola.

El biofiltro demuestra una eficacia diferenciada según la concentración aplicada (450, 500 y 550 g/L), siendo más eficiente a mayor concentración, pero también más propenso a sobrealcalinizar o sobresaturar el agua. Esta tendencia sugiere que es necesario establecer una dosis óptima que logre equilibrio entre la eficiencia en la remoción de contaminantes y el mantenimiento de condiciones fisicoquímicas adecuadas para los fines previstos (domésticos, agrícolas o ecológicos).

Los resultados obtenidos respaldan el potencial de los biofiltros de conchas de abanico como alternativa ecoamigable en el tratamiento de aguas naturales, con aplicaciones posibles en zonas altoandinas o mineras afectadas por acidez. Se recomienda que futuras investigaciones evalúen los efectos ecotoxicológicos del uso prolongado de estos biofiltros, así como su desempeño en condiciones reales de campo y con otras fuentes de agua contaminada, a fin de escalar esta solución a niveles operativos sostenibles.

Referencias

Alva Urcia, C. J. (2021). Estudio de la viabilidad técnico-ambiental de la aplicación de pellets basados en valvas de conchas de abanico y exoesqueletos de

langostinos como adsorbentes para la remoción de metales pesados en agua [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial,

- Universidad de Lima]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/14370>
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). Diagnóstico de la calidad del agua en la cuenca del Río Grande. Lima, Perú.
- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated waters: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 97(1-3), 219-243.
- Barreiro, L. (2020). Evaluación de cultivos de mejillones (*Mytilus galloprovincialis*) como biofiltros naturales en aguas costeras afectadas por vertidos urbanos [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio UPV. <https://riunet.upv.es/>
- Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2010). Applications of modified and activated clays as adsorbents for removal of heavy metals ions from water: A review. *Chemical Engineering Journal*, 157(2-3), 277-293.
- Campodónico Rivera, M. C. (2021). Implementación de un biofiltro de cascarillas de cacao y arroz para la remoción de contaminantes en aguas residuales [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional UAGRARIA. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CAMPODONICO%20RIVERA%20MICHAEL%20CARLOS.pdf>
- Centro de Investigación de Polímeros Avanzados. (s.f.). Conchas de moluscos para purificar aguas contaminadas con metales pesados. *Residuos Profesional*. Recuperado de <https://www.residuosprofesional.com/conchas-moluscos-purificar-aguas/>
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. E & FN Spon.
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. E & FN Spon.
- Chaudhary, Durgananda, Vigneswaran, Saravanamuth, Ngo, Huu-Hao, Shim, Wang-Geun, & Moon, Hee. (2003). Biofiltro en el tratamiento de agua y aguas residuales. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 20, 1054-1065. <https://doi.org/10.1007/BF02706936>.
- Conselleria de Medi Ambient & Oceanogràfic de València. (2025). Estudio sobre la depresión aislada en niveles altos (DANA) y su impacto en la conservación de almejas de agua dulce en la Acequia Madre de Real. *Oceanogràfic de València*.
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 145-155.
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment.

- Environmental Chemistry Letters, 17(1), 145-155.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L.D. and Morin-Crini, N. (2019) Conventional and Non-Conventional Adsorbents for Wastewater Treatment. Environmental Chemistry Letters, 17, 195-213.
- Cruz Espinoza, J. (2022). Efecto del tratamiento con conchas de abanico (Pectinidae) en los metales disueltos provenientes del pasivo ambiental de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo. Universidad Continental.
- Cruz Espinoza, J. (2022). Efecto del tratamiento con conchas de abanico (Pectinidae) en los metales disueltos provenientes del pasivo ambiental de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo. Universidad Continental.
- Cruz Mendoza, Y. M., & Espinoza Reza, B. Y. (2022). Efecto del tratamiento con conchas de abanico (Pectinidae) en la concentración de metales disueltos provenientes de pasivos ambientales mineros, Huancayo - 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12494/2/IV_FIN_107_TE_Cruz_Espinoza_2022.pdf
- Deng, H., et al. (2024). Desarrollo de una esponja biodegradable a partir de quitosano y celulosa para la eliminación de microplásticos en cuerpos de agua. <https://www.globaltimes.cn/page/202412/1324262.shtml>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. Chemical Engineering Journal, 156(1), 2-10.
- Foo, K.Y. and Hameed, B.H. (2010) Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. Chemical Engineering Journal, 156, 2-10.
- Fundación Aquae. (s.f.). Así ayudan las ostras y otros moluscos a reducir la contaminación del agua. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/ostras-moluscos-ayudan-reducir-contaminacion-agua/>
- Galindo, A., Toncel, E., & Rincón, N. (2016). Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte. Revista ION, 29(2), 39-50. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016003>
- González, L. (2023). Crean una superesponja con huesos de calamar que elimina casi el 100% de los microplásticos del agua. AS. Recuperado de <https://as.com/actualidad/ciencia/crean-una-superesponja-con-huesos-de-calamar-que-elimina-casi-el-100-de-los-microplasticos-del-agua-n/>
- González, L., Ramírez, P., & Soto, A. (2020). Uso de biofiltros naturales en el tratamiento de aguas residuales: Una revisión bibliográfica. Revista de Ingeniería Ambiental, 12(3), 45-60.

- González, L., Ramírez, P., & Soto, A. (2020). Uso de biofiltros naturales en el tratamiento de aguas residuales: Una revisión bibliográfica. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 12(3), 45-60.
- Guerra, R., Chávez, E., & Vega, M. (2019). Evaluación de la contaminación hídrica en cuerpos de agua impactados por actividad minera en el norte del Perú. *Ciencia y Medio Ambiente*, 17(2), 123-140.
- Hernández Morillo, D. (2022). Evaluación de parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del agua

- en el río San Juan de Pillo, Huancavelica. Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja.
<https://fondoeditorial.unat.edu.pe/index.php/EdiUnat/catalog/download/51/51/119?inline=1>
- Huamán Cuespán, C. E. (2020). Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes mediante filtros de residuos orgánicos en aguas residuales de granjas porcinas [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la UNCP.
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/7844>