

# Mejora de la calidad de agua para consumo humano mediante la implementación de filtros bioarena y filtros lentos de arena intermitentes

## Improving the quality of water for human consumption through the implementation of biosand filters and intermittent slow sand filters

Recibido: noviembre 13 de 2024 | Revisado: noviembre 29 de 2024 | Aceptado: diciembre 10 de 2024

JULIO ALEXANDER LÓPEZ GARCÍA<sup>1</sup>  
LIA RAMOS FERNÁNDEZ<sup>1</sup>  
JOSELITO JERSIN ROBLES SILVESTRE<sup>1</sup>  
ANDRE JUAREZ CASTRO<sup>1</sup>  
HENRY JUAREZ SOTO<sup>2</sup>

### RESUMEN

La calidad del agua para consumo humano es sumamente importante, y su acceso es un desafío fundamental, especialmente en zonas con fuentes de agua contaminadas. Este estudio evaluó la eficiencia de remoción de patógenos mediante implementación de Filtros Bioarena (FBA) en las aguas provenientes del río Rímac, para mejorar su calidad. En las comunidades (115 usuarios) Los Girasoles y Los Frutales, se instalaron aleatoriamente 13 FBA y dos filtros lento de arena intermitente (FLAI), este sistema de tratamiento de agua domiciliario operó continuamente durante 113 días, donde se aplicó encuestas a los 30 participantes antes y después de la instalación de los FBA, evaluando aspectos relacionados al consumo de agua y alimentos, tales como prácticas de toma de agua, uso responsable del agua, higiene, compra de alimentos y exposición a contaminación. Los resultados mostraron que, durante los periodos de mayor turbiedad del agua (avenidas), el caudal de los filtros disminuyó, pero los FBA lograron una eficiencia del 99%, mientras que los FLAI demostraron mayor estabilidad en los parámetros de calidad del agua. Esto los hace adecuados para aplicaciones comunitarias de grandes volúmenes de agua y uso de tecnologías como herramientas de salud pública, considerando que la granulometría del material filtrante es crucial para retención de patógenos, y que la capa biológica actúa como barrera efectiva para eliminación de microorganismos, contribuyendo a la obtención de agua purificada.

**Palabras clave:** Calidad del agua; Filtro bioarena (FBA); Patógenos; Tratamiento de agua; salud Pública

### ABSTRACT

The quality of water for human consumption is extremely important, and its access is a fundamental challenge, especially in areas with contaminated water sources. This study evaluated the efficiency of pathogen removal through the implementation of Biosand Filters (FBA) in the waters from the Rimac River, to improve its quality. In the communities (115 users) Los Girasoles and Los Frutales, 13 FBA and two slow intermittent sand filters (FLAI) were randomly installed, this home water treatment system operated continuously for 113 days, where surveys were applied to the 30 participants. before and after the installation of the FBA, evaluating aspects related to water

- 1 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú
- 2 Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú

Autor de correspondencia:  
lopezgarciajulioalexander@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://>

and food consumption, such as water drinking practices, responsible use of water, hygiene, food purchase and exposure to contamination. The results showed that, during periods of greater water turbidity (flushes), the flow rate of the filters decreased, but the FBA achieved an efficiency of 99%, while the FLAI demonstrated greater stability in the water quality parameters. This makes them suitable for community applications of large volumes of water and use of technologies as public health tools, considering that the granulometry of the filter material is crucial for pathogen retention, and that the biological layer acts as an effective barrier for the elimination of microorganisms. contributing to obtaining purified water.

**Keywords:** Water quality; BioSand Filter (BSF); Pathogens; Water treatment; Public health

## Introducción

Han transcurrido siglos desde que se identificó por primera vez que el agua contaminada era portadora de infección y transmisora de enfermedades. Hasta ahora la calidad del agua potable es un problema crítico a nivel mundial, especialmente, en los países de bajos recursos, donde el acceso a fuentes de agua segura es limitado (Salazar-Ceballos & Alvarez-Miño, 2020). Actualmente, más de 2 mil millones de personas tienen acceso únicamente a agua contaminada con materia fecal (Gebrewahd *et al.*, 2020; Parsa *et al.*, 2021; McHiouer *et al.*, 2022). Además, 785 millones de personas carecen de servicios básicos de saneamiento (KayilaJames, 2019; Da Silva & Frazão, 2020), de las cuales 579 millones dependen de agua superficial sin tratamiento o de pozos subterráneos sin protección (OMS, 2019; Khaustov *et al.*, 2020; HarknessJennifer & Jurgens, 2022; Job, 2022).

La exposición a patógenos presentes en el agua ha sido reconocida por autoridades gubernamentales a nivel global como un problema de salud pública significativo (Landrigan *et al.*, 2020). Los

patógenos, definidos como organismos que causan enfermedades (Constantinides *et al.*, 2020), incrementan el riesgo de enfermedades gastrointestinales (Ugwu & Ofomatah, 2022; Shokoohi *et al.*, 2022; Luvhimbi *et al.*, 2022; Musa *et al.*, 2022; Gwenzi *et al.*, 2023).

En América Latina, se ha reportado que comunidades en países como Perú, Bolivia, Chile, México y El Salvador consumen agua de ríos y pozos con concentraciones de patógenos superiores a los niveles permitidos (Mukul *et al.*, 2020; Miller *et al.*, 2022; Musazadeh *et al.*, 2022; Tang *et al.*, 2022; Vázquez Salgado *et al.*, 2022). Aunque algunos de estos países han implementado soluciones que han mitigado parcial o totalmente el problema (Yeh *et al.*, 2021), persisten retos significativos. En Perú, los estudios sobre la calidad del agua se han centrado principalmente en la evaluación de coliformes comunes y bacterias como *Citrobacter* y *Escherichia coli* (Buccheri *et al.*, 2019). Sin embargo, es probable que haya una población de otros patógenos potenciales que no ha sido suficientemente estudiada. En años recientes, se han realizado avances significativos en el estudio de métodos

para eliminar patógenos del agua y asegurar un suministro más saludable para las poblaciones afectadas, tanto rurales como urbanas (Castro de Esperanza, 2006; Sun *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2022; Nematollahi *et al.*, 2022).

Los patógenos están naturalmente presentes en grandes cantidades en cuerpos de agua, lo que representa una amenaza significativa para la salud humana (Caraco & Turner, 2018). La contaminación de fuentes de agua, tanto subterráneas como superficiales, sigue siendo un problema crítico (Shehzad *et al.*, 2018; Stevens, 2020), y puede entrar en la cadena alimentaria, provocando enfermedades a través del consumo de productos contaminados como verduras (Mandal & Suzuki, 2002; van Lieverloo *et al.*, 2021; Bechtel & Gibbons, 2021).

En el caso del río Rímac, la principal fuente de agua potable para el área metropolitana de Lima, la contaminación por actividades industriales, mineras y recreativas ha incrementado los niveles de patógenos en el agua, afectando a las poblaciones que dependen de ella (Castrezana Campos, 2017; Chen *et al.*, 2021; Sarkar, 2022; Yin *et al.*, 2022; Zhao & Dong, 2023). La contaminación también afecta a quienes utilizan el agua para higiene y otras actividades diarias (Pacharres, 2019; Musa *et al.*, 2022; Luvhimbi *et al.*, 2022). La Autoridad Nacional del Agua (ANA) ha identificado más de 700 fuentes de contaminantes en el río Rímac (ANA, 2019), incluyendo descargas de aguas residuales industriales y urbanas, lo que propicia la proliferación de bacterias potencialmente patógenas como *Escherichia coli* y *Salmonella typhi*, asociadas a enfermedades diarreicas (Bautista *et al.*, 2018).

En respuesta a estos desafíos, tecnologías de tratamiento de agua, como los filtros Bioarena (FBA) y los Filtros Lentos de Arena Intermitente (FLAI), se presentan como alternativas viables para mejorar la calidad del agua en comunidades rurales y periurbanas que aún dependen de ríos contaminados (Wong *et al.*, 2021; Azmil Arif *et al.*, 2022). Los FBA y FLAI operan a nivel comunitario, combinando procesos biológicos, mediante la formación de una capa biológica en la superficie de la arena (Qian *et al.*, 2022), con procesos físico-químicos que ocurren durante la filtración a través de arena fina (CAWST, 2012; Jadhav *et al.*, 2015; Rajan & Prem, 2018; Wang *et al.*, 2022). Estas tecnologías representan una solución accesible y efectiva para abordar los problemas de calidad del agua en áreas con acceso limitado a infraestructuras de tratamiento convencionales.

## Método

### El filtro bioarena (FBA)

#### Estructura

El Filtro Bioarena (FBA) fue construido siguiendo las especificaciones del manual de CAWST (2012), utilizando materiales de PVC de 3/8 de sección transversal para la tubería, y un recipiente de concreto de 94 cm de altura con una base cuadrada de 30.5 cm de lado. Los materiales para el medio filtrante, como grava y arena, se adquirieron en tiendas de materiales agregados locales y se sometieron a un proceso de tamizado para obtener las granulometrías requeridas. La configuración del medio filtrante consta de varias capas de grava y arena, organizadas de la siguiente manera: la primera capa de grava tiene un tamaño mayor a 12 mm;

la segunda capa de grava, de menos de 12 mm; la tercera capa de grava, de menos de 6 mm; la cuarta capa, de grava con un tamaño de 1 mm; y la capa final de arena fina, con un tamaño de 0.07 mm. Cada capa de grava tiene un espesor de 5 cm, mientras que la capa de arena tiene un espesor de 45.5 cm, con un tamaño efectivo de partícula ( $d_{10}$ ) de 0.2 mm y un coeficiente de uniformidad (UC) de 1.7 mm. Para evitar la formación de bolsas de aire durante el proceso de montaje, se humedecieron los dos primeros medios de drenaje con agua limpia.

Se incorporó una capa difusora de material acrílico con perforaciones de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, diseñada para permitir el paso del agua de manera uniforme y controlada, evitando la alteración de la superficie de la arena durante la filtración. La capacidad del espacio disponible para el filtrado en el FBA es de 15 litros.

### Filtración y prueba de caudal

Para controlar el tiempo total de filtración, inicialmente, se cargó el filtro con 15 litros de agua limpia de pozo, libre de sedimentos. Se midió el volumen de agua filtrada a través de la salida del filtro utilizando un tubo de ensayo, registrando el volumen de salida por minuto. El caudal promedio observado fue de 550 mililitros por minuto.

La prueba de caudal se llevó a cabo para caracterizar el patrón de flujo del filtro, siguiendo la metodología descrita por Terin *et al.* (2021).

## Filtro lento de arena intermitente (FLAI)

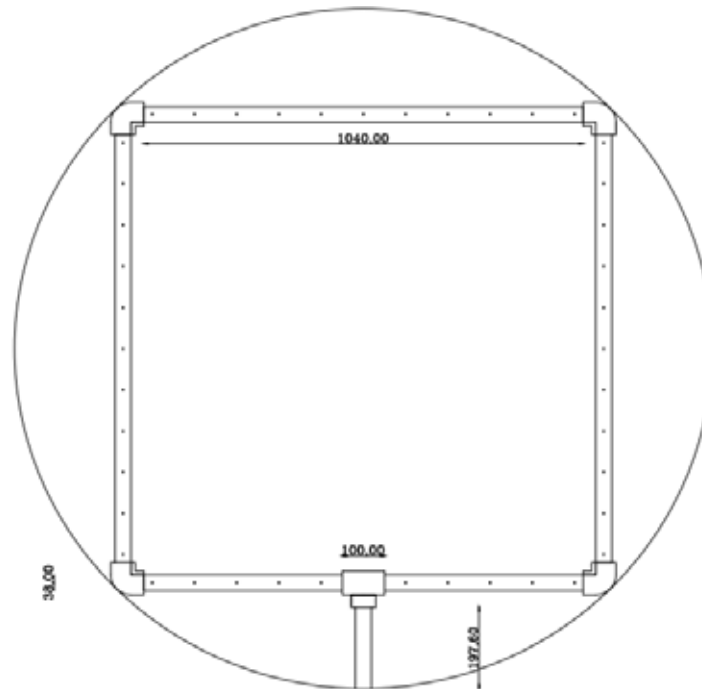
### Estructura

El sistema FLAI requiere una estructura robusta y de gran tamaño que soporte, adecuadamente, sus componentes. Esta estructura consta de tres secciones principales: una losa de concreto a nivel del suelo, una segunda losa situada a 45 cm de altura para asegurar un flujo óptimo del filtrado, y una base de apoyo con plataformas que sostienen los tanques y filtros. El grosor y los refuerzos de la losa deben ser calculados en función de las condiciones específicas del suelo donde se instalará el sistema. Se recomienda que la losa tenga una leve inclinación (1-2%) para facilitar el drenaje del agua, manteniendo la zona circundante seca y limpia. En suelos, con problemas de drenaje, puede ser necesario implementar un resumidero o un canal de escurrimiento (CAWST, 2012).

El sistema de tuberías de drenaje recoge el agua filtrada del fondo del tanque de filtración y la dirige al tanque de almacenamiento. Es fundamental prevenir que partículas de arena fina ingresen a la tubería, ya que podrían obstruirla. Para ello, la tubería perforada se sitúa cerca del fondo, por debajo de una capa de grava gruesa de 10 cm. Además, se debe garantizar que haya una capa de grava fina de 5 a 7 cm sobre la tubería para evitar obstrucciones. Los orificios de la tubería, de 3 mm de diámetro, deben estar espaciados a intervalos de 5 cm. En total, se recomienda perforar entre 50 y 75 orificios en el sistema.

**Figura 1**

*Tubería de drenaje del tanque de filtración (FLAI)*



## Configuraciones operativas

### Funcionamiento del sistema

El sistema de tratamiento de agua domiciliario operó de manera continua durante un periodo de 113 días, comprendido entre el 8 de junio y el 22 de mayo de 2022. Al finalizar la operación, el agua tratada y desinfectada fue almacenada en el reservorio final con el objetivo de monitorear el crecimiento microbiano a lo largo de un ciclo diario de evaluación.

### Mantenimiento

La acumulación de partículas y el desarrollo de la capa biológica disminuyeron la tasa de filtración del FBA. Se procedió a realizar el mantenimiento cuando la tasa de producción cayó por debajo de 0.5 L/min. El proceso de mantenimiento incluyó la remoción

de la capa superior de arena fina, la cual fue enjuagada con agua limpia de pozo. Adicionalmente, se limpiaron los primeros centímetros de la capa de arena, removiéndolos cuidadosamente y añadiendo agua de pozo hasta que el agua superficial se observó clara, indicando la limpieza adecuada del medio filtrante.

### Toma de muestras y análisis

Se recolectaron y analizaron muestras de agua sin tratar del río Rímac, utilizado para abastecer la central hidroeléctrica Moyopampa y posteriormente canalizado para el suministro de la población de San Antonio de Pedregal. Además, se recolectaron muestras de agua pretratada, filtrada y desinfectada. El análisis de las muestras se realizó en horas de la mañana durante los días de semana, conforme a los protocolos establecidos (APHA, 2012).

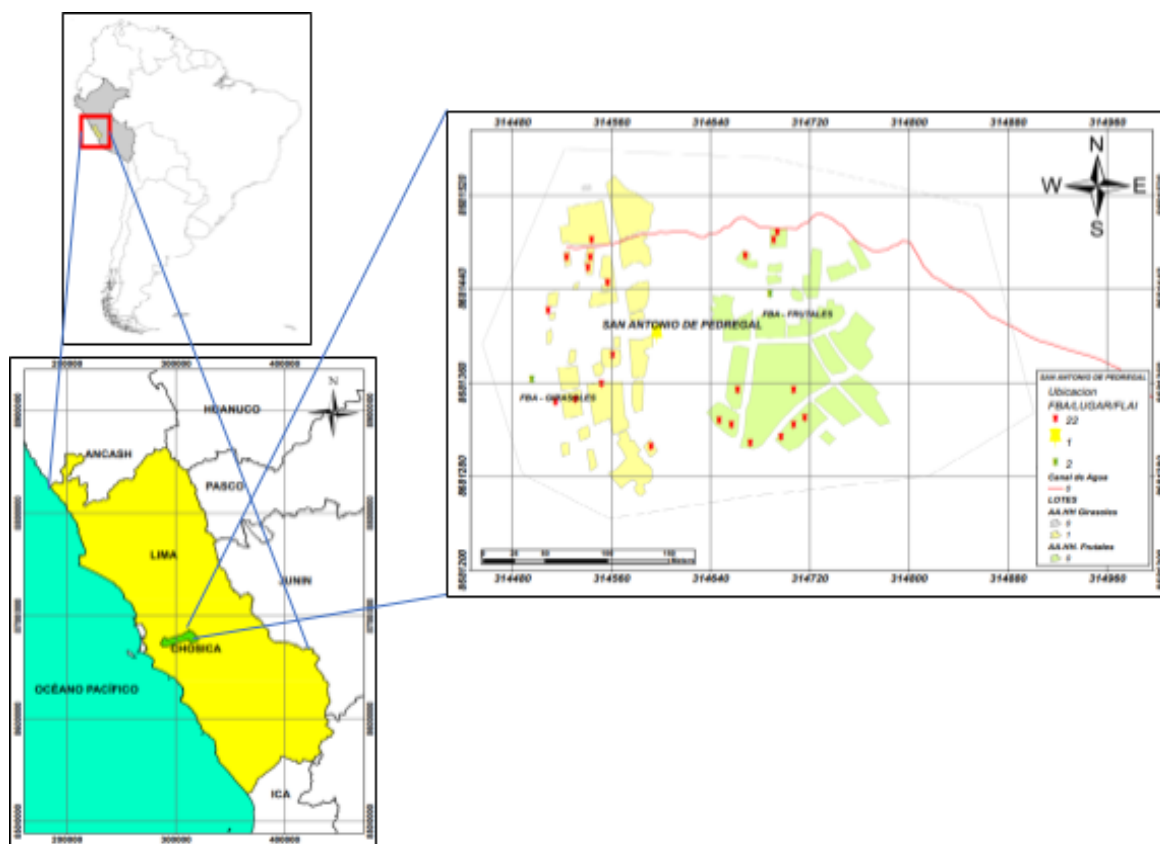
## El estudio

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de San Antonio de Pedregal II Zona, ubicada en Lurigancho – Chosica, a 36.5 kilómetros de la Carretera Central, aproximadamente a una hora y media de la ciudad de Lima. La comunidad se

encuentra en la margen izquierda del río Rímac, en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, entre las quebradas Pahuá, al este, y Chucumayo, a una latitud de  $11^{\circ}55'25.56''$  S y una longitud de  $76^{\circ}42'6.62''$  O, a una altitud de 604 metros sobre el nivel del mar.

## Figura 2

*Mapa físico. Ubicación de los filtros instalados en San Antonio de Pedregal II Zona del distrito Lurigancho-Chosica*



San Antonio de Pedregal II Zona, cuenta con un total de 115 lotes, distribuidos en dos Comités de Base, con una población aproximada de 460 habitantes. Durante el periodo de noviembre a marzo, la precipitación de lluvias provoca que el agua destinada al consumo llegue a los hogares con altos niveles de sedimentos. Como respuesta a esta problemática, se instalaron 30 biofiltros, distribuidos aleatoriamente en

las dos comunidades de Los Girasoles y Los Frutales, con 15 biofiltros en cada una. Además, se implementó un filtro lento de arena intermitente (FLAI) en cada comunidad a nivel general. Estas comunidades se abastecen de agua a través de un canal que proviene de la Hidroeléctrica Moyopampa.

Durante las asambleas comunitarias, se solicitó el permiso de

las directivas y los pobladores de ambas comunidades para la implementación de los filtros. Esta colaboración permitió la instalación de los FBAs y los FLAIs en coordinación con las autoridades locales. La construcción de los filtros y su instalación fueron apoyadas mediante faenas, es decir, trabajo comunal. Al finalizar la instalación, se procedió a medir el caudal de salida de cada filtro para asegurar su correcta operación.

### **Descripción de la encuesta de línea de base**

Entre mayo y junio de 2022, se llevó a cabo una encuesta en las comunidades de Los Girasoles y Los Frutales, con el objetivo de recopilar los datos necesarios para evaluar la aceptación del filtro como parte de la línea de base del programa AGUSAN, encargado de la investigación sobre la calidad y mejora del agua en comunidades. El programa estableció que las encuestas se centraran en aspectos prioritarios como la salud de los habitantes y la presencia de contaminantes en el agua, especialmente, en aquellas zonas donde la pobreza y la contaminación por agentes patógenos son prevalentes. Los resultados del estudio revelaron que los residentes están expuestos a un entorno y consumo de agua contaminada con patógenos que afectan su salud, particularmente, la de los niños. Además, se constató que las condiciones sanitarias de la comunidad no cumplen con los niveles adecuados.

### **Descripción de los parámetros de calidad de agua para pH, CE, caudal**

El pH es un indicador fundamental para determinar si una sustancia es ácida, neutra o básica, y está relacionado con la concentración de iones de hidrógeno, un

parámetro crucial tanto para la calidad de las aguas naturales como residuales (Wan Nafi & Taseidifar, 2022; Singh & Noori, 2022). Aunque el pH no ejerce efectos directos sobre los consumidores, es un parámetro esencial para evaluar la calidad del agua. Para que la desinfección con cloro sea eficaz, el pH del agua debe ser inferior a 8; valores superiores a 11 pueden causar irritación ocular y agravar trastornos cutáneos. La medición del pH se realiza in situ, para evitar alteraciones en los equilibrios iónicos que podrían ocurrir durante el transporte o por un almacenamiento prolongado en recipientes, lo que modificaría los resultados en laboratorio (Navarro *et al.*, 2013).

La conductividad eléctrica (CE) es otro parámetro importante. El agua pura tiene una baja conductividad, por lo que la medición de la conductividad permite estimar la cantidad de sólidos disueltos. La CE indica la presencia de sales en el agua, lo que aumenta su capacidad para transmitir corriente eléctrica, una propiedad que se utiliza en mediciones tanto de campo como de laboratorio, expresándose en microSiemens por litro ( $\mu\text{S/l}$ ) (Tibebe *et al.*, 2022; Nguyen & Huynh, 2022).

El caudal se refiere al volumen de agua que pasa por una superficie en un tiempo determinado. Para medir el caudal de filtración por minuto, se registró el tiempo desde que comenzó el vertido del agua, tomando muestras a intervalos de un minuto. El caudal de filtración puede variar debido a la naturaleza artesanal de los filtros, fabricados con materiales locales y elaborados, en algunos casos, de forma manual.

## Resultados y Discusión

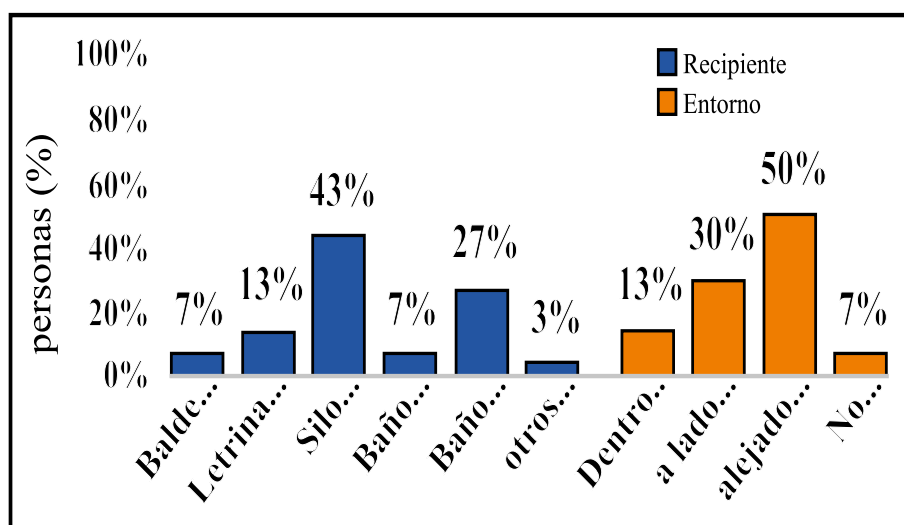
### Situación ambiental en la comunidad San Antonio de Pedregal II<sup>1</sup>

La encuesta inicial realizada a los pobladores permitió identificar los principales problemas ambientales en la comunidad. Los problemas más destacados incluyen la quema de basura, la falta de un lugar adecuado para el acopio de residuos sólidos, y la contaminación de los ríos Rímac y Santa Eulalia (aguas arriba), donde se vierten residuos y aguas grises que eventualmente llegan a las fuentes de agua consumidas por la comunidad. Este hallazgo evidencia la existencia de fuentes de contaminación significativas en la zona.

De los 30 encuestados, divididos en partes iguales entre las comunidades de 'Los Girasoles' y 'Los Frutales', el 43% señaló que utilizan silos para sus necesidades, mientras que el 50% indicó que las realizan en áreas alejadas de sus viviendas (Figura 3). En muchos casos, los silos están contruidos cerca de las riberas de los ríos, lo que genera problemas de contaminación, como la emisión de malos olores y la proliferación de roedores, afectando la salud de la población. Estos factores también contribuyen a conflictos sociales debido a las quejas recurrentes por las plagas que invaden las viviendas y, en ocasiones, los depósitos de agua.

### Figura 3

*Porcentaje de familias que indican el lugar donde realizan sus necesidades fisiológicas*



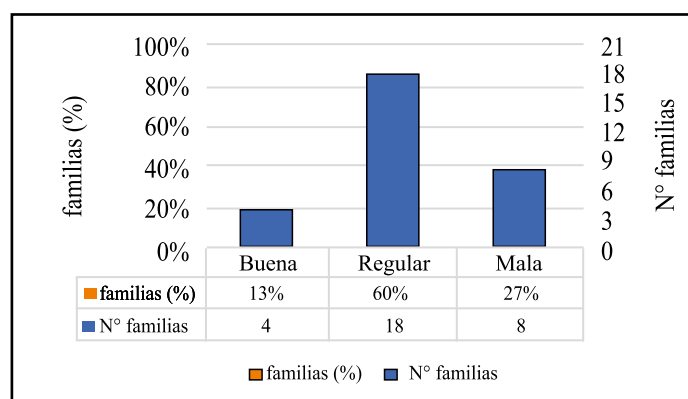
La información obtenida a través de la encuesta sobre la calidad del agua en la zona de estudio reveló que el 60% de los habitantes considera que el agua que consumen es de calidad regular, mientras que un 27% la califica como de mala calidad, no apta para el consumo. Solo el 13% de los encuestados afirmó que el

agua es de buena calidad (Figura 4).

Un factor clave identificado por el 77% de las familias para la contaminación del agua es la presencia recurrente de relaves mineros, lo que contribuye significativamente a la degradación de su calidad.

**Figura 4**

*Porcentaje de pobladores en percepción de la calidad del agua y fuentes de contaminación en la zona de estudio*



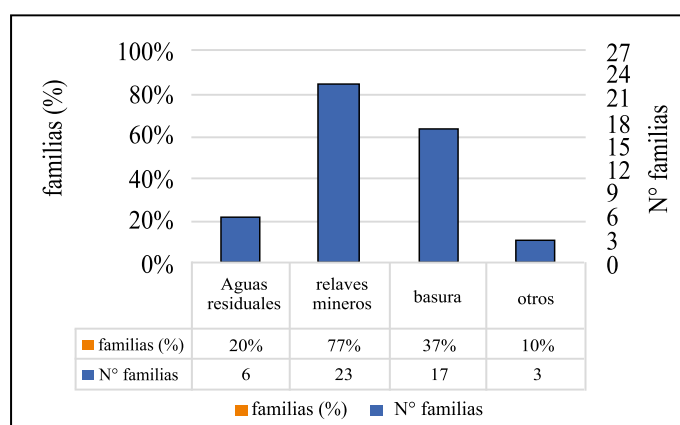
La contaminación por residuos sólidos es señalada por el 57% de las familias, mientras que el 20% atribuye la contaminación a aguas residuales (Figura 5). Ante esta situación, los habitantes han implementado medidas adicionales para el tratamiento y protección de sus fuentes hídricas, como el almacenamiento en recipientes sellados antes de su uso. Además, la población reporta que los contaminantes, como los coliformes termotolerantes, contribuyen

a enfermedades gastrointestinales, lo que ha generado preocupación y demanda de acciones preventivas.

- El agua que se presenta en temporadas de lluvia es de un color marrón.
- El agua que se consume no es apta para consumo de la persona.
- El agua que se toma proviene de un canal que está expuesto a todo tipo de contaminantes.

**Figura 5**

*Porcentaje de familias manifiesta la fuente de contaminación en la zona de estudio*



En la Figura 6(a), se observa que el 93% de las familias encuestadas obtiene su agua del canal proveniente del desvío de la toma de la hidroeléctrica Moyopampa, mientras que solo un 3%

opta por comprar agua embotellada o, en ocasiones, del camión cisterna.

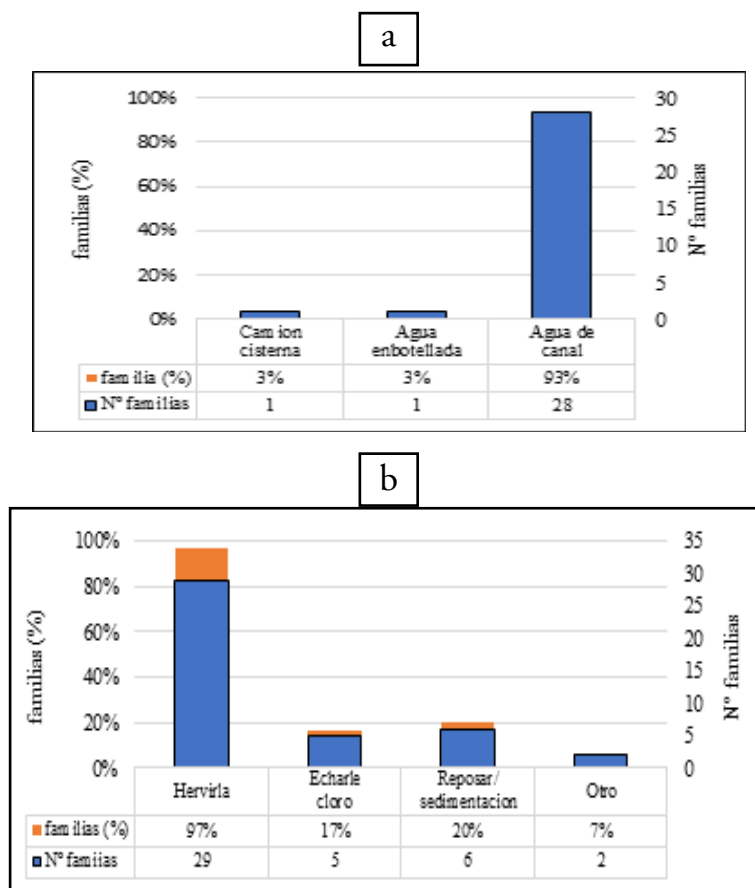
En la Figura 6(b), se detalla que, del agua consumida del canal, el 97%

de las familias prefiere hervirla como método para eliminar microorganismos. Adicionalmente, el 20% reporta que, en momentos en que el agua llega con gran cantidad de sedimentos, prefieren dejarla

reposar en un recipiente durante 10 a 15 minutos antes de usarla. Asimismo, un 17% de las familias emplea cloro para eliminar patógenos del agua.

## Figura 6

(a) Porcentaje de familias de los medios que adquiere el agua, (b) porcentaje de familias que eliminan microorganismos del agua



## Encuesta de aceptación de la tecnología

Los resultados de las encuestas muestran que el 100% de las familias encuestadas manifiesta estar satisfecho con el agua tratada mediante el biofiltro de arena (FBA). Indican que no han experimentado ningún tipo de inconveniente. Consideran que este método es útil y práctico para purificar el agua en su entorno.

De las 30 familias encuestadas,

todas afirmaron que la calidad del agua filtrada a través del FBA es superior a la del agua proveniente del canal que habitualmente consumen. Describen mejoras como: ‘...el sabor es mejor, no hay insectos ni sedimentos, no tiene tierra, ya no se forma sarro en las ollas, el agua es más cristalina, más clara, más fría, se puede consumir directamente del filtro y sabe como agua hervida...’.

Asimismo, el 90% de los encuestados percibe una mejora en la

salud de su familia: ‘...antes, por la prisa, tomaba agua cruda de los tanques de almacenamiento y me daba cólicos, pero ahora ya no tengo problemas estomacales. A los niños les daba diarrea, antes iban al baño hasta tres veces al día y ahora no, se sienten mejor sin diarrea, tienen un estómago más sano. Ahora los niños beben el agua directamente y no les hace daño, e incluso mis alimentos han mejorado...’”.

### Calidad del agua de consumo humano en la comunidad de San Antonio de Pedregal II

Los datos de la Tabla 1 presentan los resultados del análisis del agua

recolectada en la zona de estudio. Cabe destacar que el primer conjunto de resultados corresponde al análisis previo al suministro de agua al biofiltro de arena (FBA). Se observa que el 46.15% de los beneficiarios aplica un tratamiento previo antes de ingresar el agua al reservorio del filtro, por lo que no se encontraron contaminantes en esta etapa. Sin embargo, el 53.85% de la población consume agua que no cumple con los estándares establecidos en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. 091-SA-2010), aprobado en 2010 por el Ministerio de Salud (Tabla 2), como parte de la Ley General de Salud (Ley N°26842).

**Tabla 1**

*Datos de análisis de agua antes de suministrar al filtro bioarena (FBA)*

| Nº | producto | N. Coliformes<br>Termotolerantes<br>(NMP/100 mL) | pH   | CE   | S D  | MILIVOLTIOS | T °C |
|----|----------|--------------------------------------------------|------|------|------|-------------|------|
| 1  | FBA - 01 | 240                                              | 7.52 | 0.55 | 0.27 | -54         | 18.9 |
| 2  | FBA - 02 | 49                                               | 7.62 | 0.52 | 0.26 | -60         | 18.5 |
| 3  | FBA - 09 | 130                                              | 7.57 | 0.52 | 0.26 | -58         | 18.4 |
| 4  | FBA - 10 | <1.8                                             | 7.64 | 0.55 | 0.27 | -61         | 18.5 |
| 5  | FBA - 13 | 49                                               | 7.68 | 0.52 | 0.26 | -64         | 18.6 |
| 6  | FBA - 16 | 33                                               | 7.52 | 0.52 | 0.26 | -55         | 18.3 |
| 7  | FBA - 18 | 33                                               | 7.58 | 0.49 | 0.25 | -58         | 18.4 |
| 8  | FBA - 21 | 23                                               | 7.51 | 0.55 | 0.27 | -54         | 18.2 |
| 9  | FBA - 25 | <1.8                                             | 7.51 | 0.54 | 0.27 | -54         | 18.9 |
| 10 | FBA - 26 | <1.8                                             | 7.65 | 0.52 | 0.26 | -62         | 18.6 |
| 11 | FBA - 27 | <1.8                                             | 7.61 | 0.52 | 0.26 | -60         | 18.1 |
| 12 | FBA - 28 | <1.8                                             | 7.69 | 0.54 | 0.27 | -64         | 18.5 |
| 13 | FBA - 30 | <1.8                                             | 7.53 | 0.52 | 0.26 | -55         | 18.4 |

Se recolectaron muestras de agua de un total de 13 filtros pertenecientes a las comunidades de ‘Los Girasoles’ y ‘Los Frutales’. Los resultados del análisis realizado en el laboratorio de calidad total indican que el agua no contiene coliformes termotolerantes (Tabla 2), lo que confirma

que es apta para el consumo. El 100% de los filtros ha logrado remover estos microorganismos, lo cual coincide con los resultados de las encuestas realizadas a la población, donde se señala que ya no experimentan problemas estomacales.

**Tabla 2**

*Datos de análisis de agua después de suministrar al filtro bioarena (FBA)*

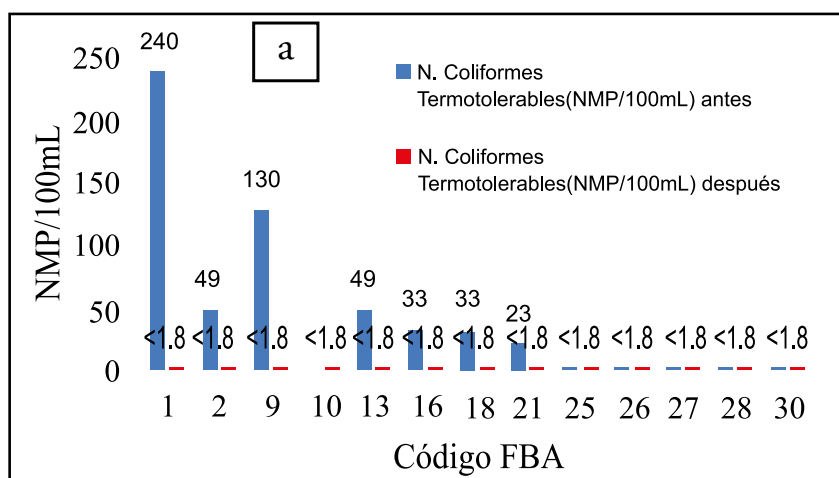
| Nº | Producto | N. Coliformes<br>termotolerantes<br>(NMP/100 mL) | pH    | CE   | SD   | T °C |
|----|----------|--------------------------------------------------|-------|------|------|------|
| 1  | FBA - 01 | <1.8                                             | 11.36 | 0.38 | 0.41 | 19.9 |
| 2  | FBA - 02 | <1.8                                             | 11.78 | 0.01 | 0.01 | 20.1 |
| 3  | FBA - 09 | <1.8                                             | 7.71  | 0.51 | 0.25 | 19.4 |
| 4  | FBA - 10 | <1.8                                             | 10.91 | 0.95 | 0.48 | 18.8 |
| 5  | FBA - 13 | <1.8                                             | 10.72 | 0.98 | 0.49 | 19.4 |
| 6  | FBA - 16 | <1.8                                             | 9.60  | 0.41 | 0.20 | 19.1 |
| 7  | FBA - 18 | <1.8                                             | 8.27  | 0.43 | 0.22 | 18.8 |
| 8  | FBA - 21 | <1.8                                             | 10.80 | 0.90 | 0.45 | 18.9 |
| 9  | FBA - 25 | <1.8                                             | 10.51 | 0.65 | 0.32 | 19.6 |
| 10 | FBA - 26 | <1.8                                             | 8.20  | 0.48 | 0.24 | 18.7 |
| 11 | FBA - 27 | <1.8                                             | 8.43  | 0.41 | 0.20 | 18.8 |
| 12 | FBA - 28 | <1.8                                             | 7.76  | 0.51 | 0.25 | 18.6 |
| 13 | FBA - 30 | <1.8                                             | 7.86  | 0.48 | 0.24 | 18.8 |

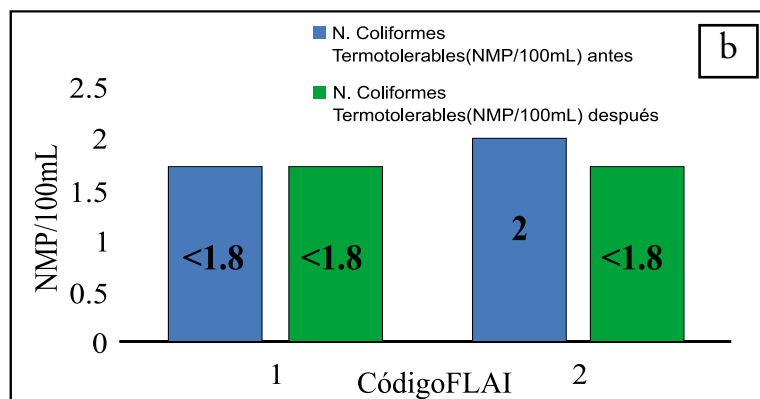
En la Figura 7(a) se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de calidad total certificada, donde se observa que el 53.3% del agua recolectada antes de ser suministrada al filtro contiene coliformes termotolerantes. Sin embargo, tras el proceso de filtrado, el 100% de las muestras analizadas presenta un conteo

de <1.8 NMP/100 mL, lo que equivale a cero coliformes termotolerantes, haciendo el agua apta para el consumo humano. En la Figura 7(b), se muestra que el agua antes de ingresar al filtro tiene un nivel de 2 NMP/100 mL de coliformes, mientras que después del filtrado, el conteo de coliformes termotolerantes es cero.

**Figura 7**

*Variación de coliformes termotolerantes FBA(a), FLAI(b)*





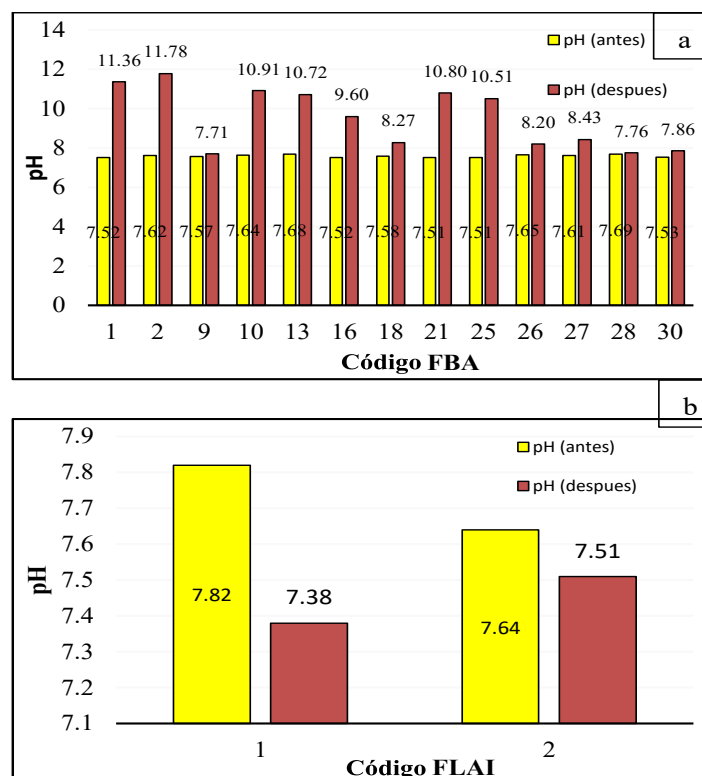
En el análisis de las muestras recolectadas también se evaluó el pH como parámetro relevante. En la Figura 8(a) correspondiente al FBA y en la Figura 8(b) del FLAI, se puede observar que el pH del agua antes de ser suministrada al filtro es similar en todas las pruebas. Sin embargo, los resultados a la salida del filtro muestran una fluctuación del pH, que varía entre 7.38 y 11.78.

de carbonatos en el suelo utilizado para las pruebas, lo que provoca que el agua se vuelva más básica debido a la disociación de estos compuestos, elevando el pH. En contraste, en la Figura 8(b), el FLAI no presenta una variación significativa en el pH, lo cual se atribuye al constante movimiento del agua y a que esta se mantiene a temperatura ambiente, lo que evita la disociación de sus elementos y mantiene un pH más estable.

Esta variación se debe a la presencia

**Figura 8**

*Variación de pH FBA(a), FLAI(b)*

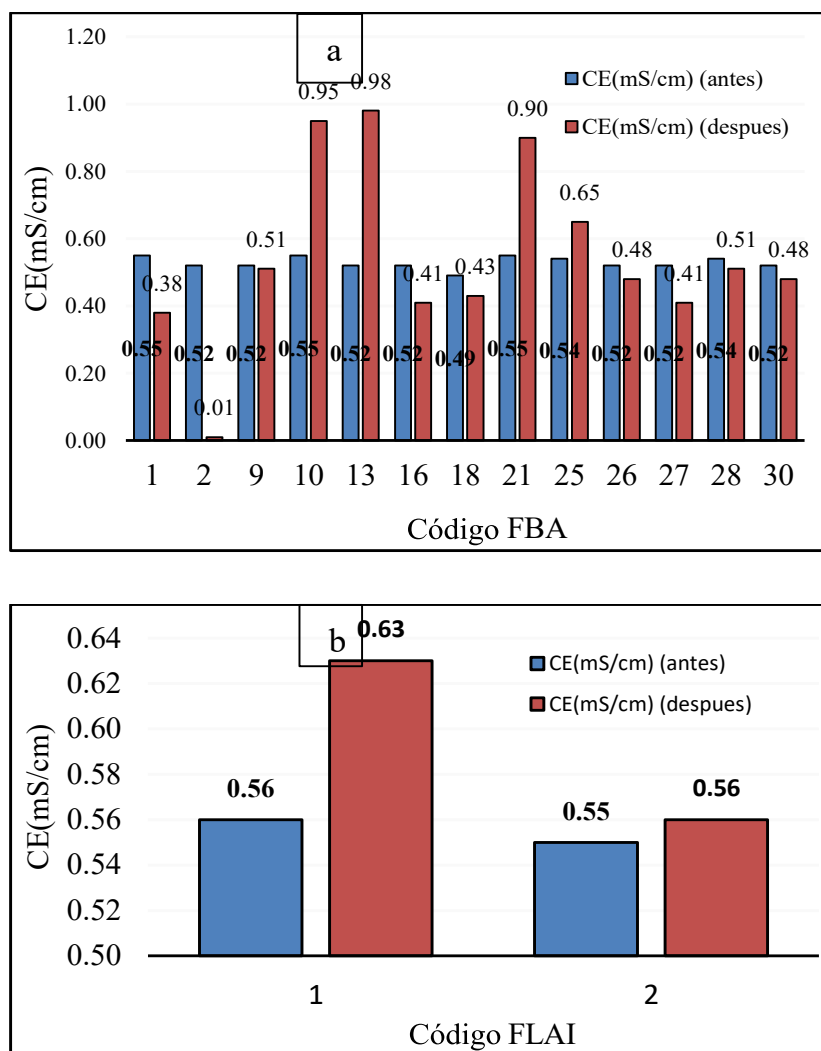


En las Figuras 9(a) y 9(b), se observa un incremento en la conductividad eléctrica debido a la mayor disociación de los elementos presentes en el agua, producto del aumento de la temperatura. Este fenómeno ocurre tanto en el FBA

como en el FLAI, aunque en este último la variación es mínima. Los resultados permiten identificar la variación de los parámetros en términos de conductividad eléctrica (mS/cm) en las muestras de agua antes y después del proceso de filtración.

**Figura 9**

*Variación de la CE (mS/cm) FBA(a), FLAI(b)*



En la Figura 10(a), correspondiente a los datos del FBA, se observa que la concentración de sólidos disueltos totales en el agua presenta un ligero incremento en sales inorgánicas después del proceso de filtrado, particularmente en cinco filtros. Este aumento de sales podría deberse al reposo o al menor uso del filtro, lo que podría contribuir a la formación de sarro

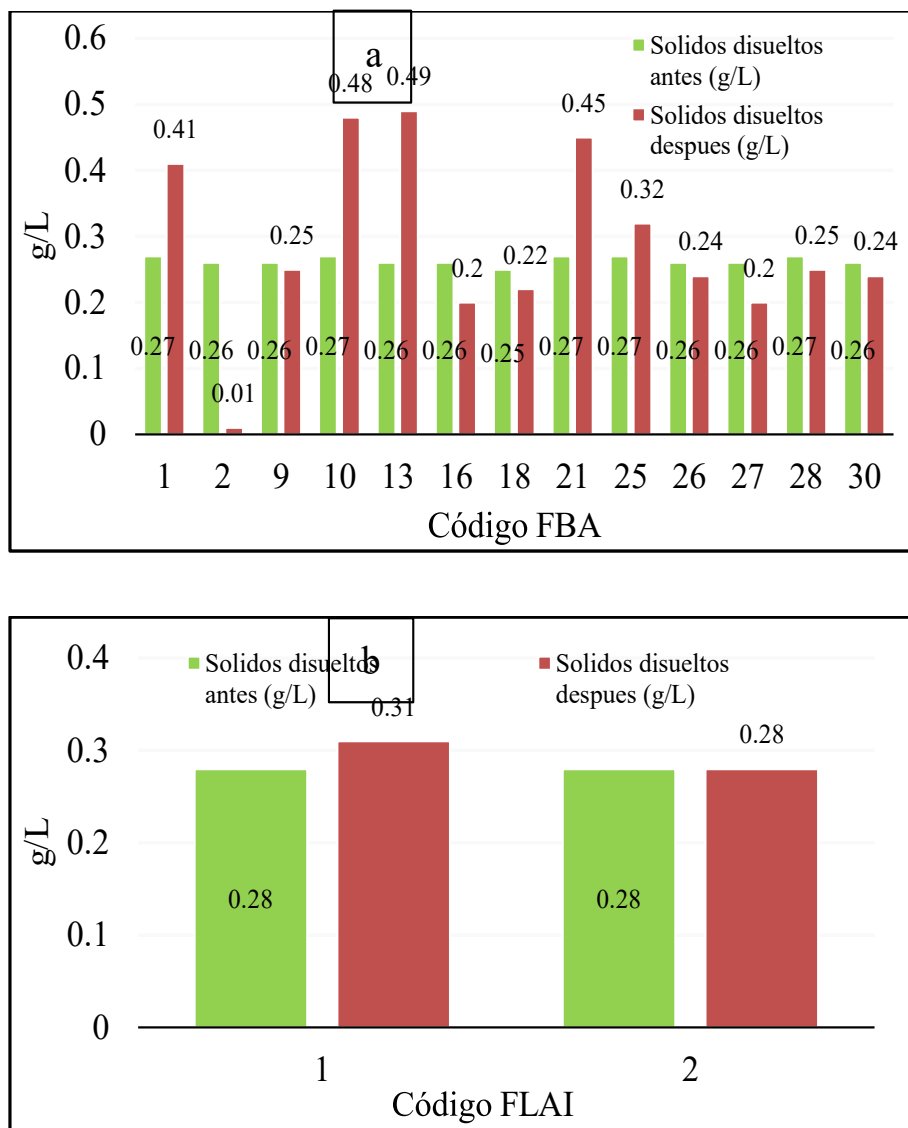
al hervir el agua. Aunque las sustancias disueltas no representan una amenaza para la salud, pueden desalentar a los consumidores a utilizar o beber el agua, a pesar de ser seguros. El agua de entrada se encuentra dentro del rango de 0-300 mg/L, lo que indica una excelente calidad en ocho filtros.

En contraste, cinco muestras de agua filtrada se ubican en el rango de 300-600 mg/L, lo que corresponde a un nivel de calidad bueno. La Figura 10(b) muestra que, en el caso del FLAI,

el incremento en sólidos disueltos es mínimo, manteniéndose dentro del rango de 0-300 mg/L, lo que indica agua de excelente calidad.

**Figura 10**

*Variación de sólidos disueltos (g/L) FBA(a), FLAI(b)*

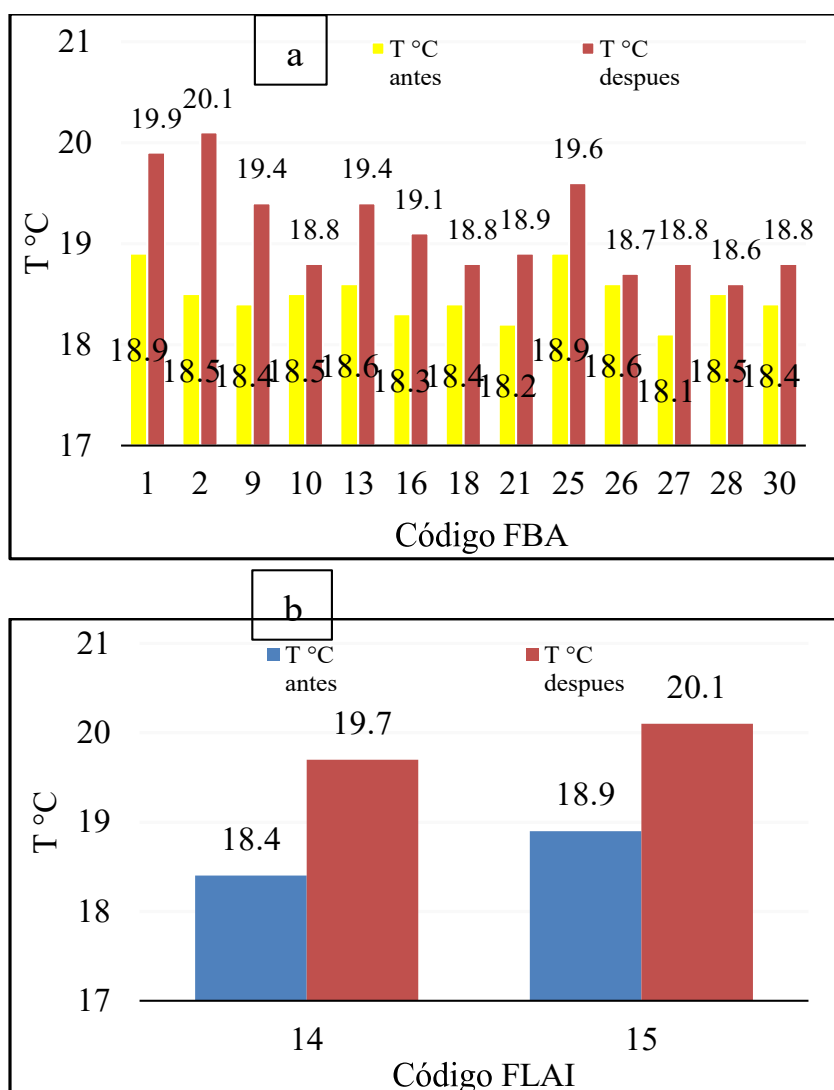


En la Figura 11(a) y 11(b) observamos que la variación de la temperatura de agua antes de entrar al filtro tiene una variación de 18.1 - 18.9 °C, pero cuando lo analizamos en la salida

del filtro la temperatura varía de 18.6 - 20.1 °C esto se debe a que hay una mayor fricción gracias a la energía que provocada por la termodinámica del agua con respecto a las gravas y a su mayor tamaño.

**Figura 11**

*Variación de la T °C FBA(a), FLAI (b)*



### Eficiencia de la implementación de filtros bioarena (FBA) y filtros lento de arena intermitente (FLAI)

De las 30 familias encuestadas, el 100% respondió que la calidad de agua a partir del tratamiento del FBA es mejor con respecto a lo del canal que consumen actualmente. Ellos mencionaron que mejora “...el sabor, no hay bichitos ni arenillas, no tiene tierra, ya no tiene mucho sarro en las ollas, es más cristalina, es más blanquita, heladita, se puede

consumir directo del filtro y sabe cómo agua hervida...”

Asimismo, el 90% percibe que la salud de su familia ha mejorado: “... antes por apurada tomaba agua cruda de los tanques de almacenamiento y me daba cólicos y ahora ya no me enfermo del estómago, a los más pequeños les daba diarrea, antes cada tres veces al día iban al baño ahora no, se siente mejor sin diarrea, tienen estómago sano, los niños toman agua de frente y no les hace daño, han mejorado mis alimentos...”.

## Medición de caudales

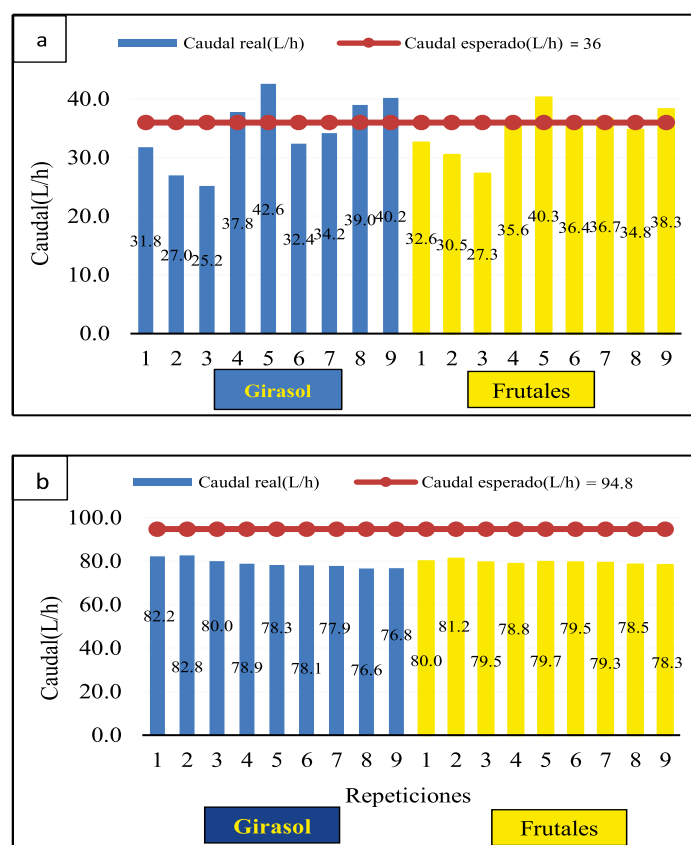
La influencia del caudal en la remoción de los patógenos, se registró datos de caudales de los FBA instalados en fechas distintas. Los resultados promedio de los 9 FBA en cada comunidad evaluados a lo largo de seis meses se presentan en la Figura 12(a).

Se elaboró el siguiente gráfico, donde se observa un valor que oscila entre 25.2 l/h a uno mayor 42.6 l/h. El valor esperado era de 36 l/hora en el FBA; en el cual algunos filtros están dentro de lo aceptable y algunos en exceso no se logró debido a una mala calibración de la granulometría de la arena del medio filtrante, reduciéndose el tiempo de retención del agua tratada en el FBA.

A pesar que estos valores difieren, notablemente, esto puede influenciar en la remoción de los patógenos. Cabe resaltar que los FBA, con caudales de descarga excesivamente altos, fueron detectados durante el primer monitoreo, procediéndose al cambio del medio filtrante para obtener un caudal más cercano a 36 l/h. La influencia del caudal en la remoción de los patógenos se registró datos de caudales de los FLAI instalados en fechas distintas. Los resultados promedio de los dos filtros lento de arena intermitente (FLAI) evaluados a lo largo de nueve días (Figura 12(b)). A pesar que los valores del caudal no llegan a lo esperado 94,8 l/h y estos son menores notablemente del esperado, la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes de los FLAI alcanzó el 100% resultando eficiente.

**Figura 12**

*Caudal promedio del FBA(a), FLAI(b)*

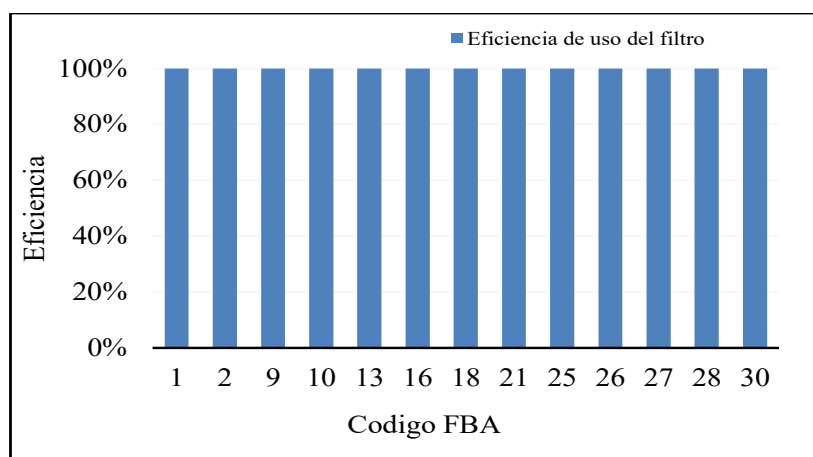


Con los datos observamos que el resultado en la eficiencia de remoción para coliformes termotolerantes es un 99.9% el cual nos arroja <1.8 NMP/100ml o su equivalente a cero, lo cual el FBA domiciliario es apto para el uso y mejora de la calidad del agua.

En la Figura 13 se aprecia la eficiencia de los filtros FBA domiciliario en su 100%. La eliminación de los coliformes termotolerantes se debió a que los microorganismos quedaron atrapados en los poros del filtro obteniéndose un agua limpia que cumple con los límites establecidos por la Norma del MINSA/DIGESA.

**Figura 13**

*Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro bioarena (FBA)*

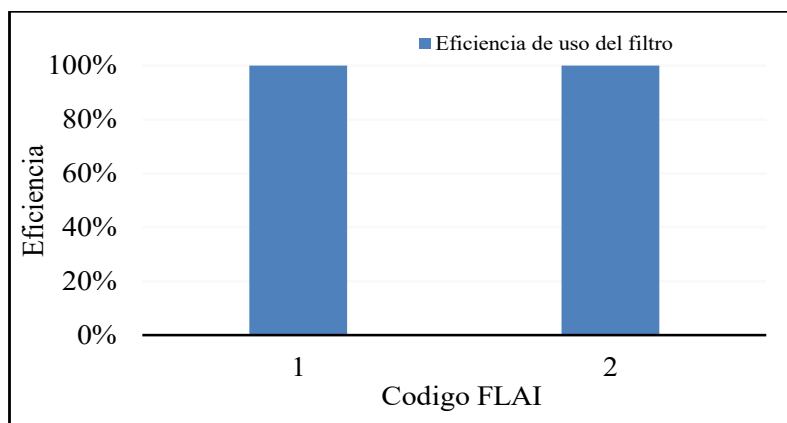


La eficiencia del filtro lento de arena intermitente (FLAI) para este parámetro fue de 100%, ya que se eliminaron los coliformes además de cumplirse con la norma teniéndose un valor menor a 1.8 NMP/100 ml o su equivalente a cero (Figura 14). La presencia de coliformes termotolerantes antes de suministrar

el agua se debió, principalmente, a la contaminación del agua en el canal por heces de perro, gallinas o material orgánico. La eliminación de los coliformes termotolerantes se originó porque los microorganismos quedaron atrapados en los poros del filtro.

**Figura 14**

*Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro lento de arena intermitente (FLAI)*



## Discusión

- La encuesta inicial realizada a los habitantes de San Antonio de Pedregal II reveló que un porcentaje significativo de la población percibe el agua que consumen como de mala calidad, principalmente, debido a la presencia de residuos de relaves mineros y aguas residuales. Estos resultados concuerdan con otros estudios de Alderete (2022) que han identificado actividades industriales y mineras como las principales fuentes de contaminación en áreas cercanas a cuerpos de agua. Este hallazgo resalta la necesidad de intervenciones más efectivas para el tratamiento del agua en comunidades con acceso limitado a fuentes seguras de agua potable.
- Los resultados del análisis de agua post-filtración con los FBA indican una eficiencia del 99.9% en la eliminación de coliformes termotolerantes, cumpliendo con los estándares de calidad del agua para consumo humano establecidos por la normativa peruana D.S. 091-SA-2010. Este nivel de eficiencia es consistente con estudios previos de Sosa (2015) donde los FBA han demostrado ser efectivos para la eliminación de microorganismos patógenos cuando se implementan correctamente y se da mantenimiento adecuado a la capa biológica.
- Los datos obtenidos de los caudales de filtración de los FBA instalados en diferentes fechas muestran una variación considerable, con algunos filtros excediendo los caudales recomendados (36 L/h). Esta variación en el caudal podría afectar la eficiencia de remoción de patógenos, ya que un flujo demasiado rápido podría reducir el tiempo de contacto del agua con el medio filtrante y la capa biológica, disminuyendo así la efectividad del proceso de eliminación de contaminantes (Hojo *et al.*, 2022). Es necesario ajustar la granulometría de la arena y calibrar adecuadamente el flujo de los filtros para optimizar la retención de patógenos.
- La comparación entre los FBA y los FLAI mostró que ambos sistemas alcanzaron una eficiencia del 100% en la remoción de coliformes termotolerantes. Sin embargo, los FLAI presentan una menor variabilidad en parámetros de calidad del agua, como el pH y la conductividad eléctrica, debido a su operación continua que mantiene condiciones más estables en el medio filtrante. De acuerdo a Freitas *et al.*, (2022) estos resultados sugieren que los FLAI podrían ser más adecuados para aplicaciones comunitarias donde se requiere un tratamiento de agua constante y de mayor volumen.
- Las encuestas realizadas a las familias después de la instalación de los filtros indican una percepción positiva de la calidad del agua tratada. Un 90% de los encuestados reportó mejoras en la salud familiar, destacando la reducción de enfermedades gastrointestinales. Este resultado refleja el impacto significativo que tienen los filtros adecuados en la mejora de la calidad de vida en

comunidades rurales con problemas de acceso a agua limpia (Castro de Esperanza, 2006).

- La variación de parámetros como el pH y la conductividad eléctrica antes y después de la filtración revela que, en algunos casos, el incremento del pH podría estar asociado a la presencia de carbonatos en el medio filtrante. Este fenómeno debe ser monitoreado, ya que un pH demasiado alto puede afectar la aceptabilidad del agua por parte de los consumidores.

### Conclusiones

1. El estudio confirma que la calidad del agua consumida en la comunidad de San Antonio de Pedregal II está, significativamente, comprometida por la contaminación de relaves mineros y aguas residuales. Este problema se ve agravado por la falta de sistemas de tratamiento adecuados y evidencia la necesidad urgente de implementar soluciones efectivas que minimicen la exposición de la comunidad a fuentes de agua contaminadas.
2. Los Filtros Bioarena (FBA) demostraron ser altamente efectivos en la eliminación de coliformes termotolerantes alcanzaron una eficiencia del 99.9% y cumplieron con los estándares de calidad de agua para consumo humano. La correcta construcción y mantenimiento de los FBA, especialmente el cuidado de la capa biológica, es fundamental para asegurar su funcionamiento óptimo. Este tipo de tecnología es una opción viable y económica

para mejorar la calidad del agua en comunidades con recursos limitados.

3. Los caudales de filtración varían significativamente entre los filtros instalados, lo que afecta la eficiencia de eliminación de patógenos. por lo cual es necesario un mayor control del flujo, monitoreo y calibración durante la instalación y operación de los FBA para asegurar su efectividad.
4. Tanto los FBA como los FLAI lograron una alta eficiencia en la remoción de patógenos, pero los FLAI demostraron una mayor estabilidad en los parámetros de calidad del agua. Esta estabilidad los hace más adecuados para aplicaciones comunitarias donde se requiere tratamiento de grandes volúmenes de agua y es en entornos rurales donde pueden ser implementados de manera efectiva.
5. La implementación de los FBA y FLAI no solo mejoró la calidad del agua, sino que también tuvo un impacto positivo en la salud de las comunidades, reforzando la importancia de estas tecnologías como herramientas de salud pública en comunidades con acceso limitado a agua segura.
6. El incremento del pH observado en algunas muestras de agua tratada puede estar relacionado con la composición del material filtrante. Aunque este aumento no compromete la seguridad del agua, podría influir en la aceptabilidad del agua por parte de los usuarios. Este hallazgo subraya la importancia de

seleccionar, adecuadamente, los materiales de filtración y realizar monitoreos regulares para mantener

la calidad del agua dentro de los rangos aceptables.

## Referencias

- ANA. (2019). *Diagnóstico inicial para el Plan de gestión de recursos hídricos en el ámbito de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca*. Perú. Ministerio de Agricultura, 151.
- Azmil Arif, M., Nurfaizy, A., Salim, M., Masripam, N., Jaafar, J. & Othman, M. (2022). Electrospinning of Polyacrylonitrile Nanofibres and Applications in Membrane Distillation Technology: A Review. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 15, 183 - 207.
- Bautista, M., Bonatti, T., Fiuza, V., Terashima, A., Canales-Ramos, M. & Jose, J. (2018). Ocurrencia y caracterización molecular de quistes de *Giardia duodenalis* y ooquistes de *Cryptosporidium* en muestras de agua cruda del río Rímac, Perú. *Environ Sci Contaminación Res*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1423-6>
- Bechtel, T. & Gibbons, J. (2021). Population Genomic Analysis of *Listeria monocytogenes* From Food Reveals Substrate-Specific Genome Variation. *Frontiers in Microbiology*, 12. doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620033>
- Buccheri, M., Salvo, E., Coci, M., Quero, G., Zoccarato, L., Privitera, V. & Rappazzo, G. (2019). Investigating microbial indicators of anthropogenic marine pollution by 16S and 18S High-Throughput Sequencing (HTS). *FEMS Microbiology Letters*, 366. doi:<https://doi.org/10.1093/femsle/fnz179>
- Caraco, T. & Turner, W.C. (2018). Pathogen transmission at stage-structured infectious patches: Killers and vaccinators. *Journal of Theoretical Biology*, 436, 51-63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2017.09.029>
- Castrezana Campos, M. (2017). The geography of Mexico breast cancer. *Investigaciones Geograficas*, 140 - 157.
- Castro de Esperanza, M. (2006). Transferencia de Tecnología en los Países en Desarrollo. Remoción del Arsénico en el Agua de bebida en América. Barcelona. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/26969/libro\\_agua\\_infra\\_APF\\_MC\\_FM.pdf?sequence=1#page=69](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/26969/libro_agua_infra_APF_MC_FM.pdf?sequence=1#page=69)
- Chen, L., Liu, J., Zhang, W., Zhou, J., Luo, D. & Li, Z. (2021). Uranium (U) source, speciation, uptake, toxicity and bioremediation strategies in soil-plant system: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 413. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125319>

- Constantinides, B., ChauKevin, K., Phuong Quan, T., Rodger, G., Anderson, M., Jeffrey, K., ... Byukusenge, M. (2020). Genomic surveillance of *Escherichia coli* and *Klebsiella* spp. in hospital sink drains and patients. *Genomic surveillance of Escherichia coli and Klebsiella spp. in hospital sink drains and patients*, 6, 4-16. doi:https://10.1099/mgen.0.000391
- Da Silva, F. & Frazão, P. (2020). Characteristics of sanitation companies associated to water fluoridation of the supply systems of Brazilian municipalities, 2008. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 23, 1-22. doi:https://doi.org/10.1590/1980-549720200086
- Freitas, B., Terin, U., Fava, N., Maciel, P., Garcia, L., Medeiros, R., . . . Sabogal-Paz, L. (2022). A critical overview of household slow sand filters for water treatment. *Water Res*, 208. doi:https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117870.
- Gebrewahd, A., Adhanom, G., Gebremichail, G., Kahsay, T., Berhe, B., Asfaw, Z., . . . Weldetinsaa, H. (2020). Bacteriological quality and associated risk factors of drinking water in Eastern zone, Tigray, Ethiopia, 2019. *Tropical Diseases, Travel Medicine and Vaccines*, 6. doi:10.1186/s40794-020-00116-0
- Gwenzi, W., Kanda, A., Danha, C., Muisa-Zikali, N., & Chaukura, N. (2023). Occurrence, Human Health Risks, and Removal of Pharmaceuticals in Aqueous Systems: Current Knowledge and Future Perspectives. *Applied Water Science Volume 1: Fundamentals and Applications*, 63-101. doi:https://10.1002/9781119725237.ch2
- HarknessJennifer, S. & Jurgens, B. (2022). Effects of imported recharge on fluoride trends in groundwater used for public supply in California. *Science of the Total Environment*, 830. doi:https://10.1016/j.scitotenv.2022.154782
- Hojo, L., Rezende, R., Lautenschlager, S. & Sabogal-Paz, L. (2022). Household slow sand filters operating in continuous and intermittent flows: Computational fluid dynamics simulation and validation by tracer experiments. *Chemical Engineering Science*, 247. doi:https://10.1016/j.ces.2021.117058
- Job, C. (2022). A Review of Low-Impact Development Factors Affecting Managed Aquifer Recharge. *Groundwater*. doi:https://doi.org/10.1111/gwat.13207
- KayilaJames, O. (2019). Improving urban settlements for the poor: Case studies of dandora and chaani projects in Kenya. *Reaching the Urban Poor: Project Implementation in Developing Countries*, 145-162. doi:https://10.4324/9780429303807-8
- Khaustov, V., Tyupin, V. & Agarkov, N. (2020). Drain water of

- tyrnyauz deposit during and after operation. *Gornyi Zhurnal*, 100-104. doi:https://10.17580/gzh.2020.10.12
- Landrigan, F., Stegeman, J., FlemingLora, E., Aleman, D., Anderson, D., Backer, L., . . . Demeneix, B. (2020). Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health*, 86, 1-64. doi:https://10.5334/aogh.2831
- Luvhimbi, N., Tshitangano, T., Mabunda, J., Olaniyi, F. & Edokpayi, J. (2022). Water quality assessment and evaluation of human health risk of drinking water from source to point of use at Thulamela municipality, *Limpopo Province. Scientific Reports*, 12. doi:https://10.1038/s41598-022-10092-4
- Mandal, B. & Suzuki, K. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta*, 58, 201-235. doi:https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00268-0
- McHiouer, F., Boughrou, A. & El Ouarghi, H. (2022). Groundwater Quality Assessment for Human Drinking in Rural Areas, Al-Hoceima Province (Northern Morocco). *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 138-147. doi:https://doi.org/10.12912/27197050/147450
- Miller, A., Tuiz, E., Shaw, L., Diluvio, D., García, P., Dhaenens, E., ... Rohloff, P. (2022). Population Estimates of GFR and Risk Factors for CKD in Guatemala. *Kidney International Reports*, 6, 796-805. doi:https://10.1016/j.ekir.2020.12.015
- Mukul, S., Arfin Khan, M.A. & Uddin, M.B. (2020). Identifying threats from invasive alien species in Bangladesh. *Global Ecology and Conservation*, 23. doi:https://10.1016/j.gecco.2020.e01196
- Musa, S., Ezie, K., Scott, G., Shallangwa, M., Abraham, A., Olajide, T., ... Lucero Priso, D. (2022). The challenges of addressing the cholera outbreak in Cameroon. *Public Health in Practice*, 4. doi:https://10.1016/j.puhip.2022.100295
- Musazadeh, M., Kabdaşlı, I., Jademi, S., Sandoval, M.Á., Moussavi, S.P., Malekdar, F., ... Dehghani, M.H. (2022). A critical review on the existing wastewater treatment methods in the COVID-19 era: What is the potential of advanced oxidation processes in combatting viral especially SARS-CoV-2? *Journal of Water Process Engineering*, 49. doi:https://10.1016/j.jwpe.2022.103077
- Navarro, A., Garcia, Y., Vasquez, A. y Marrugo, J. (2013). Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales del empacado de hortalizas. *Avances en ciencias e Ingenieria*, 4, 39-50.
- Nematollahi, M.J., Keshavarzi, B., Mohit, F., Moore, F. & Busquets, R. (2022). Microplastic occurrence

- in urban and industrial soils of Ahvaz metropolis: A city with a sustained record of air pollution. *Science of the Total Environment*, 819. doi:https://10.1016/j.scitotenv.2021.152051
- Nguyen, T. & Huynh, T. (2022). Assessment of surface water quality and monitoring in southern Vietnam using multicriteria statistical approaches. *Sustainable Environment Research*, 32. doi:https://10.1186/s42834-022-00133-y
- Parsa, S., Momeni, S., Hemmat, A. y Afrand, M. (2021). Efectividad de la energía solar agua desinfección en la era de la pandemia de COVID-19 (SARS-CoV-2) para contaminado agua/tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta el efecto UV y la temperatura. *Revista de ingeniería de procesos de agua*, 43. doi:https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102224
- Qian, S., Hou, R., Yuan, R., Zhou, B., Chen, Z. & Chen, H. (2022). Removal of Escherichia coli from domestic sewage using biological sand filters: Reduction effect and microbial community analysis. *Environmental Research*, 209. doi:https://10.1016/j.envres.2022.112908
- Rajan, P. & Prem, M. (2018). Schmutzdecke-a filtration layer of slow sand filter. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 7, 637-645. doi:https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.077.
- Salazar-Ceballos, A. & Alvarez-Miño, L. (2020). Public Health and Sustainable Development: training future generations in a developing country. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588. doi:10.1088/1755-1315/588/3/032021
- Sarkar, B. (2022). Micellar enhanced ultrafiltration in the treatment of dye wastewater: Fundamentals, state-of-the-art and future perspectives. *Groundwater for Sustainable Development*, 17. doi:https://10.1016/j.gsd.2022.100730
- Shehzad, K., Xie, C., He, J., Cai, X., Xu, W. & Liu, J. (2018). Facile synthesis of novel calcined magnetic orange peel composites for efficient removal of arsenite through simultaneous oxidation and adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 511, 155-164. doi:https://10.1016/j.jcis.2017.09.110
- Shokoohi, R., Khazaei, M., Karami, M., Seid-mohammadi, A., Khazaei, S., & Torkshavand, Z. (2022). Application of fingernail samples as a biomarker for human exposure to arsenic-contaminated drinking waters. *Scientific Reports*, 12. doi:https://10.1038/s41598-022-08845-2
- Singh, S. & Noori, A. (2022). Groundwater quality assessment and modeling utilizing water quality index and GIS in Kabul Basin, Afghanistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194.

- doi:<https://10.1007/s10661-022-10340-0>
- Singh, G., Sinam, G., Kumari, B., Kriti, Gautam, A., Patnaik, S. & Mallick, S. (2022). Spatio-temporal variation of fluoride in groundwater and agricultural soil and crops of Unnao district, UP: Monitoring and assessment. *Environmental Research*, 210. doi:<https://10.1016/j.envres.2022.112927>
- Stevens, L.E. (2020). The springs biome, with an emphasis on arid regions. *Encyclopedia of the World's Biomes*, 4-5, 354 - 370. doi:<https://10.1016/B978-0-12-409548-9.12451-0>
- Sun, L., Liu, J., Zhao, H., Wang, Z., Liu, X., Chang, Y. & Yao, D. (2022). Phytoremediation performance of three traditional ornamental hydrophytes and the structure of their rhizosphere microorganism populations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 50727 - 50741. doi:<https://10.1007/s11356-022-19543-x>
- Tang, X., Cao, A., Zhang, Y., Chen, C., Hao, B., Xu, J., ... Wang, Q. (2022). Soil properties affect vapor-phase adsorption to regulate dimethyl disulfide diffusion in soil. *Science of the Total Environment*, 825. doi:<https://10.1016/j.scitotenv.2022.154012>
- Terin, U., Freitas, B., Fava, N., & Sabogal-Paz, L. (2021). Evaluation of a multibarrier household system as an alternative to surface water treatment with microbiological risks. *Environ technol*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1921856>
- Tibebe, D., Zewge, F., Lemma, B. & Kassa, Y. (2022). Assessment of spatio-temporal variations of selected water quality parameters of Lake Ziway, Ethiopia using multivariate techniques. *BMC Chemistry*, 16. doi:<https://10.1186/s13065-022-00806-0>
- Ugwu, K. & Ofomatah, A. (2022). Bioavailability and health risk assessment of potentially toxic elements in salty water environment of Okposi, Southeastern Nigeria. *SN Applied Sciences*, 4. doi:<https://10.1007/s42452-022-05080-2>
- van Lieverloo, J.H., Bijlaart, M., Wells-Bennik, M., Den Besten, H. & Zwietering, M. (2021). Thermal inactivation kinetics of seven genera of vegetative bacterial pathogens common to the food chain are similar after adjusting for effects of water activity, sugar content and pH. *Microbial Risk Analysis*, 19. doi:<https://10.1016/j.mran.2021.100174>
- Vázquez Salgado, L., Oliveira, J., Dopazo, C. & Bandín, I. (2022). Effect of rearing density on nervous necrosis virus infection in Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Journal of Fish Diseases*, 44, 2003-2012. doi:<https://10.1111/jfd.13514>
- Wan Nafi, A. & Taseidifar, M. (2022). Removal of hazardous ions from

- aqueous solutions: Current methods, with a focus on green ion flotation. *Journal of Environmental Management*, 319. doi:https://10.1016/j.jenvman.2022.115666
- Wang, Z.-J., Du, X.-Q., Ye, X.-Y., Song, X.-M., Zhang, J.-S., & Gao, C.-P. (2022). Suspended solid surface clogging during urban stormwater groundwater recharge. *Jilin Daxue Xuebao (Diqiu Kexue Ban)/Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42, 492 - 498.
- Wong, W.-K., Hang, N., Tsai, M.-Y., Shi, G.-C. & Tsai, Y.-C. (2021). Web Service and a Mobile App for Reporting Site Pollution and Other Features. Proceedings of the 3rd IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering 2021, ECICE 2021, 117 - 120. doi:https://10.1109/ECICE52819.2021.9645628
- Yin, T., Zheng, Y., Liu, T., Wang, X., Gao, J., Nie, Z., ... Yuan, J. (2022). Study on Water Purification Effect and Operation Parameters of Various Units of Wastewater Circulation. *Water (Switzerland)*, 14. doi:https://10.3390/w14111743
- Zhao, Y. & Dong, J. (2023). Effect of inactivating RNA viruses by coupled UVC and UVA LEDs evaluated by a viral surrogate commonly used as a genetic vector. *Biomedical Optics Express*, 13, 4429-4444. doi:https://10.1364/BOE.468445