

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“REMOCIÓN DE PATÓGENOS MEDIANTE FILTROS BIOARENA Y
FILTROS LENTOS DE ARENA INTERMITENTES, COMUNIDAD SAN
ANTONIO DE PEDREGAL, LURIGANCHO-CHOSICA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

JULIO ALEXANDER LÓPEZ GARCIA

LIMA – PERÚ

2023

REMOCIÓN DE PATÓGENOS MEDIANTE FILTROS BIOARENA Y FILTROS LENTOS DE ARENA INTERMITENTES, COMUNIDAD SAN ANTONIO DE PEDREGAL, LURIGANCHO-CHOSICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	creativecommons.org Fuente de Internet	2%
2	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	1%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	idoc.pub Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“REMOCIÓN DE PATÓGENOS MEDIANTE FILTROS BIOARENA Y
FILTROS LENTOS DE ARENA INTERMITENTES, COMUNIDAD
SAN ANTONIO DE PEDREGAL, LURIGANCHO-CHOSICA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. JULIO ALEXANDER LÓPEZ GARCIA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. JOSÉ LUIS CALLE MARAVÍ
Presidente

Mg. Sc. KENYI GLICERIO CAVALCANTI CÁRDENAS
Miembro

Dr. SADY JAVIER GARCÍA BENDEZU
Miembro

Dra. LIA RAMOS FERNÁNDEZ
Asesor

Mg. Sc. HENRY SAUL JUÁREZ SOTO
Co-Asesor

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios, a mi madre (María), padre (Serapio) y hermanos, que me brindaron su apoyo incondicional en los malos y buenos momentos, e hicieron de mí una persona de bien, brindándome valiosos consejos.

A los profesores de la UNALM, que me forjaron lo más esencial de esta hermosa carrera; y a mi asesora y coasesor de tesis, por tener la paciencia de poder guiarme durante este proceso.

Gracias.

AGRADECIMIENTO

A la empresa AgroSanidad SAC, por darme la oportunidad de ser parte de su equipo investigador, por brindarme el financiamiento, así como las herramientas, equipos y materiales para poder llevar a cabo esta investigación. A la ONG Agua y Saneamiento para Perú, por el acercamiento social con la comunidad.

Asimismo, agradezco a la Dra. Lía Ramos Fernández, que me ha brindado su apoyo en todo momento en el proceso de mi investigación. También al Ing. Henry Juárez, por el apoyo que me ha brindado para pertenecer al equipo de investigación y por las facilidades para la realización de esta investigación.

Es menester agradecer al Ing. Anthony Arango Mitma, por recomendaciones dentro de mi investigación, y al Ing. Edgar Giraldo, por haber contribuido en la absolución de consultas y dudas respecto de la información recabada en el desarrollo de la investigación.

Por último, es necesario agradecer a Innovate Perú, por el co-financiamiento de esta tesis, mediante el contrato N° 008-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2021-SI: “Innovación en el tratamiento de agua mediante filtros de arena intermitentes para la remoción de patógenos y arsénico parar pequeños centros poblados”.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	2
1.1.1. Problema general	2
1.1.2. Problemas específicos.....	3
1.2. Hipótesis de investigación.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo principal	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Calidad y contaminación del agua.....	6
2.1.1. Propiedades físicas y químicas del agua.....	8
2.1.2. Parámetros físicos del agua	8
2.1.3. Parámetros químicos del agua	9
2.1.4. Parámetros bacteriológicos del agua	10
2.1.5. Generalidades sobre las fuentes de abastecimiento	12
2.2. Tratamiento de agua para consumo humano	13
2.2.1. Procesos de tratamientos del agua	13
2.2.2. Requisitos de los medios filtrantes granulares.....	15
2.2.3. Proceso de filtración – Biofiltro de arena	16
2.2.4. Los factores más importantes a la hora de diseñar un filtro bioarena	23
2.3. Potabilización de agua para consumo humano	24
2.3.1. Proceso de potabilización	24
2.3.2. Tratamiento para la potabilización del agua	24
2.3.3. Proceso de filtración del FBA.....	25
2.3.4. Medio filtrante	26
2.3.5. Bajos drenes.....	27
2.3.6. Lavado del filtro bioarena.....	27
2.4. Antecedentes	27
2.4.1. Agua y saneamiento en el mundo	28
2.4.2. Agua y saneamiento en el Perú.....	29

2.4.3. Calidad del agua de consumo humano	31
III. METODOLOGÍA	35
3.1. Zona de estudio.....	35
3.1.1. Clima y vegetación	35
3.1.2. Población	36
3.2. Materiales y equipos	38
3.3. Procedimiento	39
3.3.1. Duración	40
3.3.2. Pre operación	40
3.3.3. Operación.....	43
3.3.4. Evaluación	65
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1. Situación ambiental en la comunidad San Antonio de Pedregal II.....	68
4.2. Calidad del agua de consumo humano en la comunidad de San Antonio de Pedregal II..	73
4.3. Eficiencia de la implementación de filtros bioarena (FBA) y filtros lento de arena intermitente (FLAI).....	80
4.3.1. Medición de caudales	80
4.4. Discusión de resultados.....	83
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES.....	88
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	89
VIII. ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las enfermedades infecciosas relacionadas con el agua	7
Tabla 2: Tipo de eliminación a microorganismos	16
Tabla 3: Procesos unitarios posibles para llevar a cabo en función de los contaminantes presentes	24
Tabla 4: Indicadores comunes de la calidad del agua	31
Tabla 5: Evolución de Cobertura año 2007 – 2013 en el Perú	32
Tabla 6: Personas que no cuentan con el acceso a los servicios de agua	32
Tabla 7: Calidad de agua para consumo humano del ministerio de Salud	33
Tabla 8: Parámetros climáticos promedio de Chosica.....	36
Tabla 9: Materiales, equipos y herramientas computacionales	38
Tabla 10: Conversión utilizada para cambiar entre litros por minuto y segundos por litro	55
Tabla 11: Parámetros medidos en campo	64
Tabla 12: Parámetro analizado en laboratorio externo	65
Tabla 13: Datos de Análisis de agua antes de suministrar al filtro bioarena (FBA)	73
Tabla 14: Datos de análisis de agua después de suministrar al filtro bioarena (FBA)	74
Tabla 15: LMP de parámetros de Calidad organoléptica	96
Tabla 16: Detalle de materiales en la construcción de un FBA.....	104
Tabla 17: Detalle de materiales en la construcción del FLAI	105
Tabla 18: Caudal promedio de descarga según fecha de monitoreo del FBA.....	106
Tabla 19: Caudales promedios de descarga del FLAI.....	106
Tabla 20: Eficiencia de uso del filtro bioarena (FBA)	107
Tabla 21: Eficiencia de uso del filtro bioarena (FLAI)	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vías de transmisión y ejemplos de agentes patógenos relacionados con el agua.....	11
Figura 2: Partes principales del biofiltro de arena.....	19
Figura 3: Medidas de las capas de grava y arena en el filtro.....	20
Figura 4: Partes principales del filtro lento de arena intermitente.....	21
Figura 5: Medidas de las capas del filtro lento de arena intermitente.....	22
Figura 6: Tubería de drenaje colocada en la base del tanque de 2500 L.....	22
Figura 7: Proceso de filtrado del agua contaminada.....	26
Figura 8: Metas de desarrollo del milenio de agua potable sobrepasada y metas de desarrollo del milenio de saneamiento no logradas al 2015.....	28
Figura 9: Las 20 primeras causas de muerte prematura de hombres y mujeres a nivel mundial, 2012.....	29
Figura 10: Evolución de las coberturas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en el Perú, 2017-2020.....	31
Figura 11: Matorral arbustivo obstruido por viviendas construidas en la zona media de la quebrada.....	36
Figura 12: Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2003.....	37
Figura 13: Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2022.....	37
Figura 14: Ubicación de la zona de estudio.....	37
Figura 15: Posible recorrido del dron en la zona de estudio.....	39
Figura 16: Etapa del proceso metodológico para el estudio.....	39
Figura 17: (a) Vista del lugar donde se realizó la construcción de los filtros-casa de uno de los pobladores (02/02/2022), (b) Vista del lugar donde se implementó el filtro comunitario (02/02/2023).....	41
Figura 18: Vista del lugar de implementación del filtro comunitario FLAI.....	41
Figura 19: Corte perfil de la zona del proyecto y ubicación de los FLAI.....	42
Figura 20: Diagrama del filtro de Bioarena, y el muestreo para los análisis microbiológicos.....	46
Figura 21: Herramientas y equipos utilizados en la fabricación de los FBA.....	48
Figura 22: Capacitación del uso adecuado y beneficios de los filtros FBA y FLAI.....	49
Figura 23: Molde de acero para fabricación del FBA.....	50

Figura 24: Preparación del concreto 210 kg/cm ²	51
Figura 25: Procedimiento de tamizado para obtención del material filtrante para FBA .	52
Figura 26: Clasificación de medios filtrantes	53
Figura 27: Instalación de las capas de drenaje	54
Figura 28: Colocación de la manguera FBA	56
Figura 29: Base de apoyo y losa de concreto del FLAI.....	57
Figura 30: Diagrama del Filtro Lento de Arena Intermitente (FLAI)	58
Figura 31: Tubería de drenaje (FLAI)	58
Figura 32: Conexión del tanque recolector y tanque de filtración (FLAI)	59
Figura 33: Pileta publica de distribución de agua del filtro lento de arena intermitente (FLAI).....	60
Figura 34: Mólde de implementación del FLAI.....	61
Figura 35: Vista de: (a) Medición de caudal a la salida del filtro FBA, (b) Medición de caudal a la salida del FLAI	62
Figura 36: Medición de parámetros con Medidor HI991301 in situ	64
Figura 37: Muestra obtenida para análisis Coliformes totales Laboratorio de calidad Total UNALM	65
Figura 38: Medición de Caudal del filtro domiciliario (FBA) y filtro intermitente (FLAI).....	67
Figura 39: Porcentaje de familias que indican el lugar donde realizan sus necesidades fisiológicas.....	69
Figura 40: Porcentaje de pobladores en percepción de la calidad del agua y fuentes de contaminación en la zona de estudio	70
Figura 41: Porcentaje de familias manifiestan la fuente de contaminación en la zona de estudio.....	70
Figura 42: Porcentaje de personas que cuentan con servicios básicos	71
Figura 43: Porcentaje de personas que realizan sus aseos luego de una labor	71
Figura 44: (a) Porcentaje de familias de los medios que adquiere el agua, (b) porcentaje de familias que eliminan microorganismos del agua.....	72
Figura 45: Variación de coliformes termotolerantes FBA(a), FLAI(b)	75
Figura 46: Variación de pH FBA(a), FLAI(b)	76
Figura 47: Variación de la CE (mS/cm) FBA(a), FLAI(b)	77
Figura 48: Variación de solidos disueltos (g/L) FBA(a), FLAI(b).....	78
Figura 49: Variación de la T °C FBA(a), FLAI(b).....	79

Figura 50: Caudal promedio del FBA(a), FLAI(b)	81
Figura 51: Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro bioarena (FBA).....	82
Figura 52: Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro lento de arena intermitente (FLAI).....	83
Figura 53: Encuesta de entrada.....	97
Figura 54: Partes de la estructura de acero para la elaboración de un FBA	98
Figura 55: Ruta del canal de abastecimiento de agua de la zona de pedregal	98
Figura 56: Plano de construcción del FLAI.....	99
Figura 57: Vuelo con Dron Matrice 300RTK (1), Propuesta de ubicación del FLAI (2). 100	
Figura 58: Pasos para la elaboración de FBA.....	101
Figura 59: Tamizado del medio filtrante	102
Figura 60: Pasos para la construcción e instalación del FLAI	103
Figura 61: Presencia de coliformes en el agua antes de suministrarla al FBA.....	108
Figura 62: Resultado de análisis de agua después del filtrado en el FBA.....	109
Figura 63: Presencia de coliformes en el agua antes de suministrarla al FLAI.....	110
Figura 64: Resultado de análisis de agua después del filtrado en el FLAI.....	111

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: LMP del reglamento de calidad del agua para consumo humano de MINSA..	96
Anexo 2: Encuesta de línea base – 2022	97
Anexo 3: Estructura de acero para la construcción de un FBA.....	98
Anexo 4: Canal de abastecimiento de agua	98
Anexo 5: Plano de planta y de elevación del FLAI.....	99
Anexo 6: Panel fotográfico.....	100
Anexo 7: Materiales y costo para la construcción del FBA y FLAI	104
Anexo 8: Caudal a la salida de los filtros FBA y FLAI	106
Anexo 9: Eficiencia de uso del filtro bioarena	107
Anexo 10: Resultados del análisis de coliformes termotolerantes	108
Anexo 11: Manual de mantenimiento del filtro FBA y FLAI.....	112

RESUMEN

La rápida urbanización no planificada en Lima Metropolitana ha resultado en la aparición de asentamientos humanos, desprovisto de servicios urbanos esenciales, incluyendo la gestión de residuos, el suministro de agua potable y la infraestructura de alcantarillado. Este estudio emprende una evaluación sistemática de la eficiencia en la eliminación de patógenos del agua para consumo humano, a través de la aplicación de filtros de bioarena (FBA) y filtros lentos de arena intermitentes (FLAI) en la comunidad de San Antonio de Pedregal II, ubicada en el distrito de Lurigancho - Chosica en la región de Lima. La metodología abarcó un análisis topográfico detallado de la zona y la recolección de muestras de agua para la investigación de coliformes termotolerantes, el cual se construyó 30 filtros domiciliarios (FBA) y 2 comunales (FLAI) repartidas equitativamente en ambos A.H. Los Girasoles y Los Frutales. Los resultados preliminares resaltaron la inadecuada calidad del agua de la comunidad para el consumo humano, principalmente debido a la contaminación fecal presente en el 100% de las muestras. Notablemente, con la implementación de los sistemas de filtración FBA y FLAI, se logró una reducción de hasta el 98% de los coliformes termotolerantes. Estos hallazgos demuestran la eficacia sustancial de estos métodos de filtración en la erradicación de patógenos y subrayan una percepción positiva generalizada de los beneficios para la salud dentro de la comunidad.

Palabras clave: Filtro bioarena; filtro lento de arena intermitente; calidad de agua; remoción de patógenos.

ABSTRACT

Rapid and unplanned urbanisation in Metropolitan Lima has resulted in the emergence of unscheduled human settlements, leaving these areas bereft of essential urban services, including waste management, potable water supply, and sewage infrastructure. This study undertakes a systematic evaluation of the efficiency of pathogen elimination from water by applying biosand filters (BSF) and intermittent slow sand filters (ISSFs). Our focus lies on their use in residential spaces of the San Antonio de Pedregal II community, located in the Lurigancho - Chosica district of the Lima region. The methodology included a detailed topographical analysis of the area and the collection of water samples for the investigation of thermotolerant coliforms, which 30 home filters (BSF) and two communal filters (ISSFs) were built, distributed equally in both A.H. Sunflowers and Fruit Trees. The preliminary results highlighted the unsuitability of the community's water for human consumption, primarily due to fecal contamination present in 100% of the samples. Remarkably, with the implementation of the BSF and ISSF filtration systems, we achieved a reduction of up to 98% of thermotolerant coliforms. These findings demonstrate the substantial efficacy of these filtration methods in eradicating pathogens and underscore a widely held positive perception of health benefits within the community.

Keywords: Biosand filter; slow intermittent sand filter; water quality; removal of pathogens; gravel.

I. INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable apta para consumo humano es un problema a nivel mundial, que se torna más significativo en los países de bajos recursos económicos (Salazar-Ceballos & Alvarez-Miño, 2020). En el 2022, más de 2 mil millones de personas solo tiene acceso a agua potable contaminada con excretas (McHiouer *et al.*, 2022), por su parte Kayila James (2019) y Da Silva & Frazão (2020), indican que 785 millones de habitantes no cuentan con los servicios básicos de saneamiento; y de ellos, 579 millones personas consumen agua superficial, sin ningún tipo de tratamiento, o de pozos subterráneos sin protección (OMS, 2019; Khaustov *et al.*, 2020; Harkness & Jurgens, 2022; Job, 2022).

La consecuencia nociva de la exposición humana a los patógenos ha sido examinada recientemente por las oficinas gubernamentales de todo el mundo (Landrigan *et al.*, 2020). Los patógenos¹ se encuentran de manera natural en los cuerpos de agua, y aunque la mayoría de ellos son benéficos, algunos pueden causar enfermedades al ser humano (Constantinides *et al.*, 2020).

En países de América se ha reportado la existencia de poblaciones consumiendo aguas superficiales e incluso subterráneas, con poblaciones de patógenos en rangos superiores a las máximas admitidas (Musazadeh *et al.*, 2022; Tang *et al.*, 2022; Vázquez Salgado *et al.*, 2022). El caso del Perú no es la excepción, más aún si se considera que la población peruana está en constante crecimiento, por lo que el acceso al agua potable es una problemática para muchas familias (Mukhamedzhanov *et al.*, 2020).

Según la investigación, para evaluar la seguridad del abastecimiento de agua es importante fijarse en la demanda de agua potable. Por su parte, SEDAPAL (2014) señala que, en los próximos años, la demanda de agua de Lima Metropolitana se incrementaría tanto por

¹ Los principales patógenos que se encuentran en los cuerpos de agua son los virus, bacterias y protozoarios

el crecimiento poblacional como por el aumento de la producción. En los próximos 15 años, se espera que el consumo de agua potable aumente en 10%, pasando de 26.8 m³/s (844 MMC/año) en 2015 a 31.7 m³/s (999 MMC/año) en 2030. El crecimiento sería del 42% en 2045 y totalizaría 38.3 m³/s (1206 MMC/año).

En ese sentido Clavijo (2013), señala que, en el caso de Perú, en zonas donde hay menos cantidad de agua disponible (zona costera) se concentra la mayor producción y población del país, con un menor grado de pobreza, en la que ya se presentan los primeros síntomas de escasez de agua.

Nótese que Lima Metropolitana² se abastece de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín. Tiene una población de casi 10 millones de personas y contribuye principalmente a los sectores industrial y de servicios de la economía, que representa al menos el 50% del PBI nacional (AQUAFONDO, 2016).

De acuerdo a todo lo anterior, surge la necesidad de evaluar mecanismos que ayuden a mejorar el consumo y la calidad del agua, sobre todo en sectores de menores ingresos de la sociedad. En esta investigación, se evaluó la mejora en la calidad del agua potable en la comunidad San Antonio de Pedregal II, distrito Chosica, región Lima, Perú; en función de la instalación de una tecnología que ayuda a reducir microorganismos y contaminantes en el agua de río, a través de los filtros bioarena (FBA) y un filtro lento de arena intermitente (FLAI). De acuerdo a todo lo anterior, se plantean los problemas de investigación:

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Problema general

¿La implementación de filtros bioarena (FBA) y el filtro lento de arena intermitente (FLAI), para el tratamiento de agua destinada a consumo humano, en la comunidad San Antonio de Pedregal II, distrito de Lurigancho-Chosica de la región Lima, resulta eficiente en la

² Lima Metropolitana es el nombre colectivo de las provincias de Lima y Callao, que en conjunto tienen una población de alrededor de 10 millones de habitantes y son los principales usuarios del agua de las cuencas del Chillón, Rímac y Lurín. También es el foco de la empresa pública de agua y alcantarillado SEDAPAL (AQUAFONDO, 2016).

remoción de patógenos?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el estado de la calidad de agua para consumo humano, en la comunidad San Antonio de Pedregal II?
- ¿Al usar filtros de bioarena (FBA) y filtro de área intermitente (FLAI), se podrá eliminar el 95 % de los patógenos se encuentran en el agua para consumo humano, en la comunidad San Antonio de Pedregal II?

1.2. Hipótesis de investigación

a. Hipótesis general

La eficiencia de remoción de patógenos del agua a partir de la implementación de los filtros bioarena (FBA) y el filtro lento de arena intermitente (FLAI), en la comunidad San Antonio de Pedregal II, distrito de Lurigancho-Chosica en la región Lima, sería estadísticamente similar.

b. Hipótesis específicas

- La situación ambiental, relacionada con el agua, en la comunidad San Antonio de pedregal II sería deficiente, debido principalmente a la falta de servicios de desagüe.
- Existiría una mala calidad del agua para consumo humano en la comunidad San Antonio de Pedregal II.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

Evaluar la eficiencia en la remoción de patógenos del agua, conforme a los estándares establecidos por el reglamento de calidad del agua para consumo humano, mediante la implementación de los filtros bioarena (FBA) y el filtro lento de arena intermitente (FLAI) en la comunidad San Antonio de Pedregal II, distrito de Lurigancho-Chosica, región Lima.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la situación ambiental en la comunidad San Antonio de Pedregal II.
- Evaluar la calidad del agua de consumo humano en la comunidad San Antonio de Pedregal II.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El agua es el recurso que se renueva de manera finita, el cual es muy importante para la población. La tierra es cubierta en un 71% de la superficie por el agua. El 97.5% de este recurso se encuentra en el océano como parte de agua no apta para el consumo con alto contenido de sal. Solo el 2.5% representa el agua dulce; el agua subterránea representa el 19% y 1% del recurso agua, el cual es accesible de manera inmediata. El agua se somete a diversos procesos atmosféricos a medida que asciende desde el océano para regular la temperatura del planeta. Este proceso, conocido como el "ciclo del agua", implica la evaporación y la precipitación entre la atmósfera, el océano y la tierra. Para completar los numerosos procesos, incluida la evaporación, que permite el movimiento del agua de una sección superior a otra inferior, este ciclo requiere la energía que proporciona el sol. A pesar de ser un ciclo cerrado, la distribución es variable, lo que indica que el suministro de agua no ha cambiado con el tiempo.

Dado que todos los organismos vivos como los insectos con un 45%, los mamíferos con un 70% y las medusas con un 95% están constituidos principalmente por agua, esta es crucial para el desarrollo de la vida en la tierra (Fernández, 2010).

Las grandes empresas de países desarrollados como Nueva Zelanda, China, India y EE.UU. utilizan actualmente 10 veces más agua de la que se suele emplear en naciones como Corea, Rusia y Francia. Como consecuencia, los embalses de agua se contaminan y se someten a un uso irracional, privando a millones de personas de este recurso y afectando al consumo diario de agua, que el WWF estima en 127 litros por persona. Según datos de todo el mundo, el 80% de las aguas residuales no tratadas se vierten en ríos, arroyos y océanos, lo que provoca el desgaste de los recursos hídricos aptos para el uso humano. Estos problemas de escasez de agua se conocen como estrés hídrico y se dan sobre todo en zonas donde las actividades agrícolas o industriales son más intensas (Baeza, 2018).

Por ello, muchos países están introduciendo leyes, normas, material didáctico, información técnica y otras medidas para abordar el problema de la escasez de agua. La Alianza para la administración está creando directrices de gestión del agua con fines de certificación, mientras que el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible está midiendo la cantidad de agua utilizada en las empresas. Además, varias empresas se han afiliado a diversas ONG y grupos de expertos que evalúan los riesgos para el medio ambiente y las poblaciones regionales (Pegram, 2016).

2.1. Calidad y contaminación del agua

La oficina de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA) del Ministerio del Ambiente del Perú, denomina aguas contaminadas a los flujos de este elemento que se modificaron en sus cualidades y propiedades originales, de acuerdo a una cierta actividad de consumo, industrial, etc., y que deben tratarse primero antes de verterse en la masa de agua (OEFA, 2014). Estos efluentes pueden dividirse en aguas residuales domésticas, municipales e industriales en función de su procedencia.

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) señala que, es vital que la población tenga acceso al agua segura y al saneamiento básico, porque la falta de estos servicios condiciona la presencia de diferentes tipos de enfermedades que afectan la salud de las poblaciones. Una forma de agruparlas y explicar los mecanismos mediante los cuales se vehiculizan los agentes patógenos causantes de enfermedades, se puede realizar a partir de un análisis de correlación. De acuerdo a lo anterior, se puede notar que varias de las infecciones descritas están en el Perú y se presentan en forma de epidemias (ONU, 2019) (Ver Tabla 1).

Tabla 1: Clasificación de las enfermedades infecciosas relacionadas con el agua

Clasificación	Mecanismo	Ejemplos
Portadas o transportadas por el agua	Contaminación fecal	Cólera, tifoidea, enteropatógenos, VHA, VHE, enterovirus, parasitosis intestinal
Soportados por el agua	Organismos que pasan parte de su ciclo de vida en el agua	Fascioliasis, paragonimiosis, leptospirosis
Vinculados con el agua	Vectores biológicos que parte importante de su ciclo de vida se da en el agua	Malaria, dengue, zika, fiebre amarilla, chikunguña
Lavadas por el agua	Relacionados a pobre higiene personal y al contacto con agua contaminada	Pediculosis, rickettsiosis
Dispersadas por el agua	Organismos que proliferan en el agua y entran por el tracto respiratorio	Legionelosis

FUENTE: Yang *et al.* (2012)

Las propiedades químicas, físicas, biológicas y radiológicas de este elemento repercuten en la calidad del agua, y los parámetros cambian en función de cómo se utilice, por ejemplo para el riego, el uso de agua potable, la agricultura y la industria. (Sierra Ramírez, 2021; Brinovcar *et al.*, 2022).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica las características del agua para el consumo humano (Jing *et al.*, 2022). Esta se da cuando el agua está libre de contaminantes o patógenos, a su vez de sustancias tóxicas, exceso de minerales y materia orgánica. Las características principales del agua como: libre de color, turbidez, sabor y olor hacen que sea agradable. Por ende, el contenido de oxígeno presente en el agua debe ser alto (Haya & Bajos, 1978; Li *et al.*, 2019).

El beneficio ecológico del agua limpia es crucial tanto para el desarrollo económico como para la salud pública. Debido a las características mineralógicas del sistema montañoso andino y a su dependencia de la extracción de minerales para el crecimiento económico, Perú crea un entorno propicio para la propagación de contaminantes químicos, sobre todo metales, que pueden llegar incluso al agua potable. Esto expone a toda a toda la población a un riesgo crónico que se está volviendo incontrolable. Los habitantes de las regiones del norte, centro y sur de Perú están expuestos al cadmio, el plomo y el arsénico a través de la contaminación

de las cuencas hidrográficas (AQUAFONDO, 2016).

2.1.1. Propiedades físicas y químicas del agua

El agua (H₂O) es un compuesto químico formado por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. Es el único elemento líquido que existe a temperatura ambiente en sus tres estados: líquido, sólido y gaseoso.

- El elemento líquido es sin color y sin sabor.
- Tanto su punto de congelación como su punto de ebullición son de 0° y de 100 °C.
- En depósitos grandes de agua su coloración es azulada por la absorción de la luz lo cual se refleja en un patrón de color.
- El agua actúa como un bloqueador de la radiación ultravioleta que permite a las plantas bajo el agua absorban su energía.
- Una de las características es que su densidad es 1 g cm⁻³ entre 4 y 30 °C.

2.1.2. Parámetros físicos del agua

Nuestras percepciones de la vista, el olfato y el gusto se ven afectadas por sus cualidades hídricas, y estos parámetros físicos hacen que las condiciones del agua sean aptas para el consumo humano (OMS, 2018) (Ver Tabla 13, Anexo 1).

- Temperatura. – El agua caliente suele tener un sabor menos agradable que el agua fría, y la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor dependerá de la temperatura. Las altas temperaturas del agua pueden exacerbar la corrosión y los problemas de sabor, olor, color y crecimiento de microorganismos (OMS, 2018).
- Conductividad eléctrica. – Dependiendo la estructura molecular y atómica de sustancia, evalúa la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica. La temperatura y otras propiedades físicas del propio material también afectan a la conductividad eléctrica (MINAM, 2010).
- Color. – El agua potable no debe tener color perceptible. El color característico del agua potable se debe a las sustancias orgánicas presente en ella que lo colorean, asociada al humus del suelo. Otro color del agua se debe a los desechos industriales que contaminan la fuente de agua, lo que es una señal de peligro que debe ser analizada y determinada su fuente de contaminación (OMS, 2018).
- Turbidez. – La presencia de partículas de materia orgánica, que pueden proceder de la

cuenca de origen y ser arrancadas del suelo por su caudal, es la más común. Un agua con una turbidez de 5 UNT suele ser apta para la ingestión humana, aunque esto varía según la localidad. Especialmente con filtración, coagulación y sedimentación, esta métrica puede identificar problemas. (OMS, 2018).

- pH. – La calidad de las aguas residuales es un parámetro crucial a tener en cuenta. Esto se debe a que las aguas residuales con un pH inadecuado presentan restos de tratamiento durante los procesos biológicos, especialmente en condiciones ácidas (como las provocadas por la lluvia ácida, rica en ácido sulfúrico y nítrico con alto poder agresivo contra materiales naturales y artificiales), el pH puede provocar reacciones de disolución de las sales que se encuentran en rocas (OMS, 2018).
- Sólidos disueltos totales (SDT). – El agua potable con una concentración de SDT inferior a 600 mg/l es aceptable y, en general, se considera buena en este contexto, pero a concentraciones superiores (aproximadamente 1000 mg/l) la potabilidad del agua se reduce considerablemente (OMS, 2018).

2.1.3. Parámetros químicos del agua

Los riesgos para la salud a menudo están asociados con elementos químicos del agua que la consume, ya que la composición química causa varios efectos en la salud después de una exposición prolongada (OMS, 2018) (Ver Tabla 2).

- Hierro. – Es posible encontrar concentraciones de hierro de varios miligramos por litro en los pozos, que se extraen a la superficie sin que cambie el color ni la turbidez. Sin embargo, cuando el hierro férrico se expone a la atmósfera, se oxida a hierro, que el agua es incapaz de absorber como se desea. En este caso, el hierro favorece el crecimiento de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación y exudan una capa viscosa que se queda atascada en las tuberías (OMS, 2018).
- Magnesio. – El magnesio mancha los inodoros y produce un sabor desagradable en las bebidas en concentraciones superiores a 0,1 mg/l en los sistemas de abastecimiento de agua. Las concentraciones seguras para el consumo suelen ser inferiores a 0,1 mg/l (OMS, 2018).
- Amoníaco. – Una concentración de aproximadamente 1,5 mg/l corresponde al umbral olfativo del amoníaco a un pH alcalino, mientras que se ha propuesto un máximo gustativo de 35 mg/l para el catión amonio. No se sabe que estas concentraciones de amoníaco supongan ningún peligro para la salud, y no existen valores de referencia

sugeridos (OMS, 2018).

- Nitrito y nitrato. – Estos iones se producen de forma natural y participan en el ciclo del nitrógeno. Tanto el nitrato como el nitrito de sodio se emplean como conservantes alimentarios y fertilizantes inorgánicos, respectivamente. Aunque sus concentraciones en las aguas subterráneas y superficiales suelen ser modestas, ocasionalmente pueden alcanzar cantidades significativas como resultado de filtraciones o lavados de tierras agrícolas, o incluso como resultado de la oxidación del amoníaco, que puede contaminar a personas o animales. La actividad microbiana de producción de nitritos puede ser esporádica (OMS, 2018).
- Sulfatos. – El sulfato puede producir un sabor perceptible en el agua potable y, en concentraciones muy elevadas, puede tener un efecto laxante en los consumidores no acostumbrados. Se han establecido umbrales de sabor que oscilan entre 250 mg/l para el sulfato sódico y 1.000 mg/l para el sulfato cálcico, en función de la naturaleza del catión correspondiente. Cuando la concentración es inferior a 250 mg/l, la degradación del sabor suele considerarse insignificante. Para el sulfato de sodio, no existe ningún valor de referencia basado en los efectos sobre la salud (OMS, 2006).
- Fluoruros. – La mayoría de los fluoruros asociados con cationes monovalentes son solubles en agua, y los asociados con cationes divalentes son normalmente insolubles (OMS, 2018).

2.1.4. Parámetros bacteriológicos del agua

El transporte del agua desde la captación hasta el consumidor determina la seguridad del suministro de agua potable. Para evitar la contaminación del agua que se va ingerir o reducirla a niveles que no perjudiquen a las personas o los animales, se colocan numerosas barreras (Ver Tabla 13, Anexo 1), ya que pueden ser un medio de expansión de patógenos, como virus, bacterias, protozoos y helmintos (Ver Figura 1). A continuación, se muestran las vías de transmisión de patógenos relacionadas con el agua (OMS, 2018)

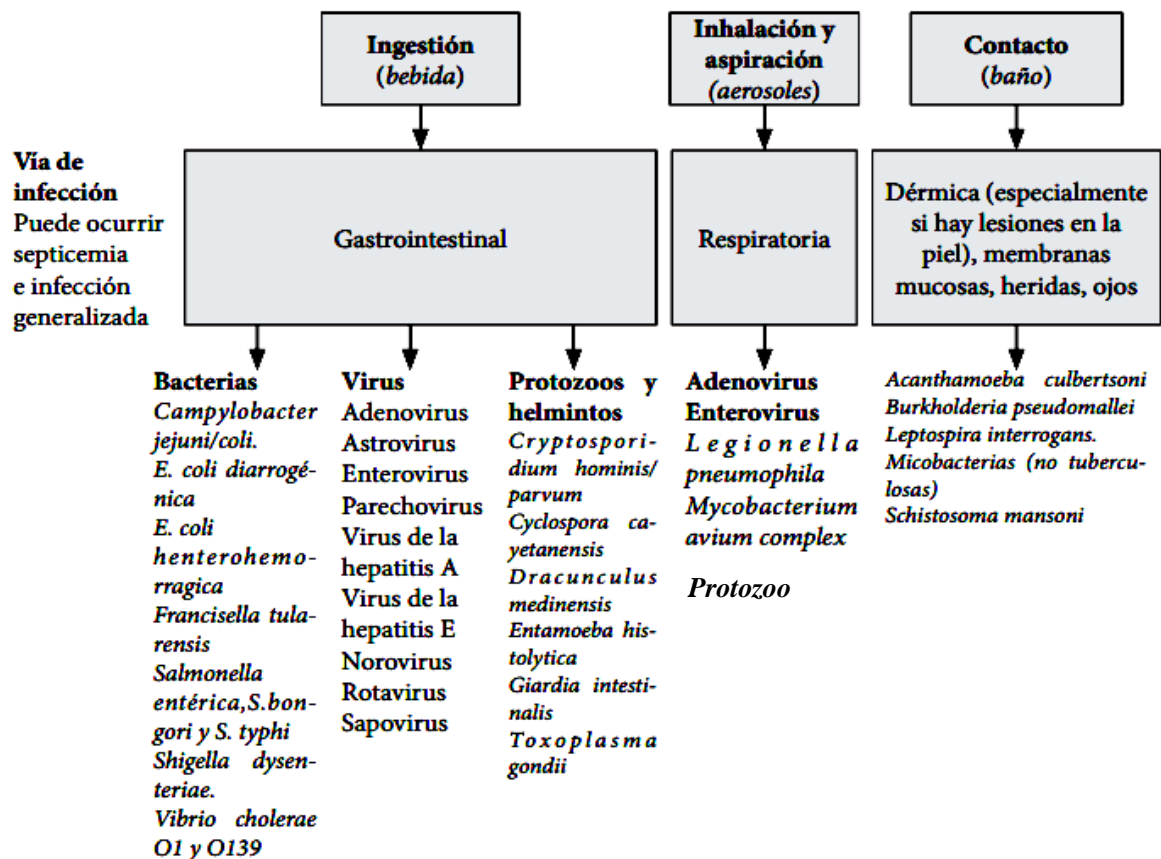


Figura 1: Vías de transmisión y ejemplos de agentes patógenos relacionados con el agua

FUENTE: OMS (2018)

- Coliformes totales. – A una temperatura adecuada de 35-37 °C, estos microorganismos pueden proliferar en altas concentraciones de sales biliares, digerir la lactosa y generar ácido o aldehído en menos de 24 horas. Son una variedad de bacilos aerobios, anaerobios facultativos y grandes negativos que forman parte del grupo (excluida *Escherichia coli*). Residen en aguas naturales y aguas residuales y, en algunos casos, proceden de excrementos humanos y animales. Como muchas de ellas pueden reproducirse en el suelo y en medios acuáticos, se las conoce como heterótrofas. Hay biopelículas a su alrededor. En muestras de agua de 100 ml, donde no deberían estar presentes, suelen encontrarse coliformes totales; si lo están, el tratamiento ha sido ineficaz (OMS, 2018).
- Coliformes termotolerantes. – Un subtipo de coliformes conocidos como coliformes termotolerantes pueden fermentar la lactosa a temperaturas entre 44 - 45 °C. aproximadamente un 95% de la familia de los coliformes presentes en las excretas

de los humanos están formados por *E. coli* y especies de *Klebsiella* (OMS, 2018).

2.1.5. Generalidades sobre las fuentes de abastecimiento

Tanto las aguas superficiales como las subterráneas pueden clasificarse como recursos hídricos porque ambas son componentes del mismo ciclo hidrológico, que comienza con la evaporación del agua en mares y océanos por la energía solar y termina con las precipitaciones, hasta que las precipitaciones penetran en la corteza terrestre (Sun *et al.*, 2022) Las aguas subterráneas son más sencillas de tratar y, de hecho, ayudan a almacenar agua a las comunidades de las regiones rurales, ya que las impurezas que deterioran la calidad del agua están más concentradas en la superficie que debajo de ella (Vu *et al.*, 2022). El suministro de agua será suficiente si se alcanzan unos niveles aceptables de calidad y cantidad para satisfacer las necesidades de la población local.

a. Agua subterránea

El agua subterránea es el volumen debajo de la superficie de la tierra, y se encuentra relacionada con el ciclo del agua y sus procesos en la tierra: embalses, lagunas, presas, ríos. A esto se denomina acuíferos y/o reservorios que se encuentran bajo tierra y tienen un flujo constante. Las condiciones de velocidad van desde 10^{-10} a 10^{-3} m/s según la porosidad de acuerdo con el material geológico (ONU, 2019).

b. Agua superficial

Las fuentes de aguas superficiales son cuerpos de agua que se abren al medio ambiente, fluyendo por caminos fijos que cambian con el tiempo o son estacionarios, dando forma de arroyos, lagunas, lagos, ríos y cuerpos de agua. Estos manantiales se forman por la lluvia y el derretimiento de las montañas cubiertas de nieve. Se considera un flujo lento para lagos y embalses, su velocidad es de 0.001 y 0.01 m/s.

La calidad del agua mejora con el almacenamiento, lo que permite un menor tratamiento antes del suministro y entrega del agua a los residentes. En el lado negativo, el agua estancada tiende a fomentar la proliferación de algas, y su profundidad puede dar lugar a sistemas térmicamente estratificados, especialmente durante las épocas de verano.

La calidad del agua superficial puede verse degradada por los contaminantes de las aguas residuales domésticas, como los residuos mineros o industriales, los pesticidas, el estiércol animal y los desechos sólidos.

Así mismo, es importante conocer las características de las cuencas, y analizar la existencia de algún contaminante cercana sea urbana, agrícola o industrial (Barrios *et al.*, 2009).

2.2. Tratamiento de agua para consumo humano

2.2.1. Procesos de tratamientos del agua

- **Coagulación.** – La coagulación es el proceso de combinar materiales en suspensión en partículas más grandes para que puedan filtrarse físicamente con mayor rapidez. Mediante esta técnica se eliminan las partículas pequeñas que pueden reducir la eficacia de la filtración. La separación por gravedad, que puede implicar sedimentación o floculación, es el siguiente paso en el proceso, y a continuación se procede a la filtración. Los coagulantes químicos son sustancias que se añaden al agua para facilitar la adhesión de partículas. Algunos ejemplos son las sales de hierro, las sales de aluminio y ciertos polímeros. Funcionan iniciando una reacción química que neutraliza las cargas negativas que hacen que se resistan unas a otras (OMS, 2018).
- **Floculación.** – Tras la coagulación, la mezcla de coagulante y agua se agita lentamente; este procedimiento se conoce como floculación. Como resultado de este movimiento, las partículas chocan entre sí y se agrupan para crear grumos o flóculos que son fáciles de eliminar. Para emplear la combinación eficaz de coagulante en esta técnica, se requieren las cualidades del agua.
- **Sedimentación.** – La suciedad y las partículas atrapadas en la coagulación se precipitan al fondo del tanque por la acción de la gravedad durante este proceso.

- Filtración. – Los filtros rápidos de arena por gravedad son depósitos rectangulares abiertos que pueden utilizarse con este método para eliminar las partículas del agua, generalmente de menos de 100 μm^2 , que contienen arena de sílice con granos de 0.5 a 1 mm, con una profundidad de 0.6 a 2 m. El agua fluye hacia abajo mediante la gravedad y los sólidos se acumulan en las capas superiores del lecho. El caudal unitario es de 4 a 20 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Una vez que el agua ha sido purificada, se recoge mediante bocas instaladas en el suelo del lecho. Los sólidos retenidos se eliminan habitualmente descolmatando el filtro con chorros de agua tratada. Este proceso se utiliza para eliminar flóculos de aguas coaguladas y para reducir la turbidez (OMS, 2018).

Filtros a presión. – Están compuestos de depósitos de arena (tamaño efectivo de 0.15 a 0.3 mm) con una profundidad de 0.5 a 1.5 m, el agua fluye por gravedad hacia abajo, la turbidez y los microorganismos se eliminan en los primeros centímetros de la capa de arena.

- Cloración. – Este proceso es realizado por medio de gas cloro licuado, o también llamado solución de hipoclorito sódico o gránulos de hipoclorito cálcico y mediante generadores de cloro *in situ*. Este gas se suministra comprimido en recipientes de presión. Un clorador extrae el gas del cilindro y lo agrega al agua de manera controlada, a su vez midiendo el caudal del gas. Esta solución de hipoclorito sódico es suministrada mediante una bomba que dosifica eléctricamente el desplazamiento positivo o negativo o este es suministrado mediante gravedad. El hipoclorito cálcico debe disolverse en una cantidad de agua y luego se incorpora con el caudal principal. Así se pueden usar diferentes técnicas de cloración como:
 - Dosis crítica
 - Cloración marginal
 - Supercloración – descloración

Su principal función es limpiar o eliminar los microorganismos perjudiciales para el organismo. Por el contrario, el cloro funciona como oxidante y puede ayudar o eliminar sustancias químicas (descomponer pesticidas). El cloro tiene el inconveniente de reaccionar con la materia orgánica del medio ambiente y formar trihalometanos y otros productos de desinfección, aunque esto puede evitarse optimizando el proceso

de tratamiento (OMS, 2018).

2.2.2. Requisitos de los medios filtrantes granulares

a. Granulometría

Método que consiste en pesar las partículas del árido o separarlas manual o mecánicamente para determinar qué parte del peso de cada tamaño contribuye al peso total del árido. Para ello se emplean mallas con distintos tamaños de abertura, cada una de las cuales ofrece el tamaño máximo del árido. En realidad, los pesos de cada tamaño se indican como porcentajes de la muestra retenida en cada malla (Gabriels & Lobo, 2006; Sánchez, 2013; Clunes *et al.*, 2022).

b. Método del tamizado

El ensayo se basó en separar la muestra del agregado seco de masa distinguido a través de una capa de tamices con una abertura adecuada de mayor a menor, su objetivo es el determinar las dimensiones de las partículas (ASTM C 136-01, 2001; Iwashita *et al.*, 2022).

c. Coeficiente de uniformidad

Es la relación del tamaño de la abertura de la malla o tamiz por el cual pasa el 60 por ciento de la prueba representativa del material filtrante, dividida por el tamaño efectivo de dicho ejemplar (Bowles, 2018)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ecuación 1: Coeficiente de uniformidad}$$

Donde:

D_{60} : El 60% de una muestra representativa del material filtrante pasa a través de la abertura del tamiz designada.

D_{10} : También conocido como tamaño efectivo, es la abertura del tamiz a través de la cual puede pasar el 10% de una muestra representativa del material filtrante.

d. Gráfica granulométrica

Los resultados que se obtiene del análisis granulométrico se representan mediante

una curva semilogarítmica, que en el eje de la abscisa muestra la escala logarítmica que representa la abertura del tamiz y en la ordenada, la escala lineal que representa el porcentaje acumulado (Toirac, 2012).

2.2.3. Proceso de filtración – Biofiltro de arena

El biofiltro de arena es un método de filtración del agua que permite obtener agua apta para el consumo humano (Ortiz, 2007).

Los bajos costes de mantenimiento, el funcionamiento sencillo y la eliminación de patógenos transmitidos por el agua son ventajas del biofiltro. (Ver Tabla 2).

Tabla 2: Tipo de eliminación a microorganismos

Elimina	%	Forma de eliminación
Bacterias	90 - 99.9 % de las veces	por colado físico, predación, muerte natural
Virus	90 %	por colado físico, predación, muerte natural
Protozoos	99 %	por colado físico, predación, muerte natural
Helmintos	100 %	por colado físico

FUENTE: Ortiz (2007).

a. Funcionamiento del filtro de arena

- **La eliminación de agentes patógenos**

Los organismos microscópicos quedan atrapados en la arena y el agua puede fluir a través de ella; debido a la suciedad y algunos patógenos son demasiados grandes para poder pasar. Los microorganismos se quedan adheridos a la arena, lo cual empieza una depredación, ya que no existe demasiada comida o aire para su supervivencia dentro del filtro de bioarena (CAWST, 2012).

- **Profundidad del agua**

El tiempo de reposo comienza cuando el agua deja de fluir. Es importante comprobar el nivel del agua, que debe estar 5 cm por encima del medio filtrante. Si el nivel del agua es inferior a 4 cm, es posible que haya demasiada arena; sin embargo, si el nivel del agua es superior a 6 cm, no hay suficiente arena (CAWST, 2012).

La capa biológica, una zona poblada por organismos que contribuyen a la eliminación de patógenos, se ve alterada por el cambio brusco de la profundidad del agua dentro del biofiltro durante la fase de reposo. Una capa biológica más fina y una menor expansión del oxígeno serían los efectos de una mayor profundidad del agua. El aumento del agua hace que la capa biológica se levante de la base de arena, lo que reduce la oxidación y el metabolismo y deja el biofiltro con un sistema muerto (Aguiar, 2009; Zhang *et al.*, 2018).

- **Índice de flujo**

Dado que la difusión de oxígeno desde la superficie limita la presencia de oxígeno, las bacterias y los agentes patógenos se concentran más hacia la superficie de la capa de arena del biofiltro. El tiempo de contacto entre la biopelícula y el agua es más corto mientras el biofiltro de arena está funcionando como resultado de la fina capa de biopelícula. Como resultado, las tasas de filtración deben ser las más altas posibles para obtener agua de alta calidad. (Aguiar, 2009; Zatoń & Błaszak, 2015).

Aunque es posible que los usuarios no disfruten de un caudal muy lento y no obtengan suficiente agua tratada, un caudal inferior a 400 mm/min para el agua del biofiltro puede funcionar bien. Con un caudal de 500 mm/min, es posible que el agua no purgue completamente los microorganismos presentes, dejando tras de sí agua sucia. (CAWST, 2012).

- **Tiempo**

La capa biológica se desarrolla en el transcurso de 30 días. Cuando el agua se vierte en el biofiltro de arena el primer día los microorganismos están allí, comienzan a vivir en la parte superior de la arena. En el transcurso de los días llegado los 15 días, según se vaya usando constantemente suministrándole agua dos veces por día, la capa biológica se va formando debido a que más microorganismos están presentes en la arena, los microorganismos se encuentran estables y empiezan a buscar comida. En el día 30, los microorganismos empiezan a depredarse unos a otros, desde ese momento cada vez que deposite agua dentro del biofiltro los microorganismos existentes presentes en la arena se comerán a los nuevos que llegan mediante el agua incluyendo a los más peligrosos los patógenos. El periodo de reposo del biofiltro es

de una hora antes de verter el agua, no se puede dejar el filtro más de dos días sin verterle agua sino la biocapa muere.

b. Partes del filtro bioarena (FBA)

- Tapa. – Es la parte que protege del acceso de insectos, moscas o sustancias. Se ubica en la parte superior del filtro, es muy importante la tapa ya que a este se aislará el interior del medio externo.
- Reservorio. – El depósito tiene una capacidad de unos 15 litros y está situado en la parte superior del biofiltro, donde se vaciará el agua para su posterior filtración.
- Capa difusora. – Es un dispositivo acrílico que se ubica en la parte inferior al reservorio él está compuesto de pequeños agujeros el cual el agua fluye a través de ella de manera lenta así no haga un agujero a la arena donde se ubica la biocapa.
- Agua estancada. – Esto ocurre cuando el agua deja de fluir por la manguera que sale; para mantener húmeda la biocapa y evitar su desaparición, debe haber 5 cm de agua por encima de la arena.
- Biocapa. – Es la capa que se forma encima de la arena donde se ubican los organismos microbianos cuya función es absorber a los patógenos que contiene el agua y así obtener agua filtrada sin agentes que hacen daño a los niños y adultos mayores.
- Arena fina de filtración. – Es la más fina dentro del filtro y es la más importante ya que es la que elimina todo los patógenos y la suciedad del agua se queda atrapada en ella, por ese motivo la arena debe ser preparada correctamente para que el filtro tenga un funcionamiento adecuado.
- Grava de drenaje menor de 3 mm.– Este medio filtrante actúa como separador y dren el cual evita que la arena de filtración pase a la parte más baja.
- Grava de drenaje menor a 6 mm.– Esta actúa como drenaje y a su vez de sostén para que la grava menor ubicada en la parte superior no pase o descienda hacia la salida.
- Grava de drenaje menor a 12 mm.– Esta capa se comporta como un dren y soporte para la grava superior, este dren es de dimensión mayor el cual si pasa a la parte baja no llega a entrar a la manguera ni obstruye.
- Grava de drenaje mayor a 12 mm.– Esta capa actúa como un soporte de la capa superior el cual es de mayor dimensión y este no pasa por la manguera así teniendo un flujo normal el agua por la manguera.

- Tubo de salida. – Para evitar que la arena se seque y eliminar la biopelícula que se acumula con el tiempo, se utilizó una manguera de salida de 3/8 pulgadas. Esta manguera se colocó desde el fondo del recipiente del filtro y 5 cm por encima del nivel de la arena. (Ver Figura 2).

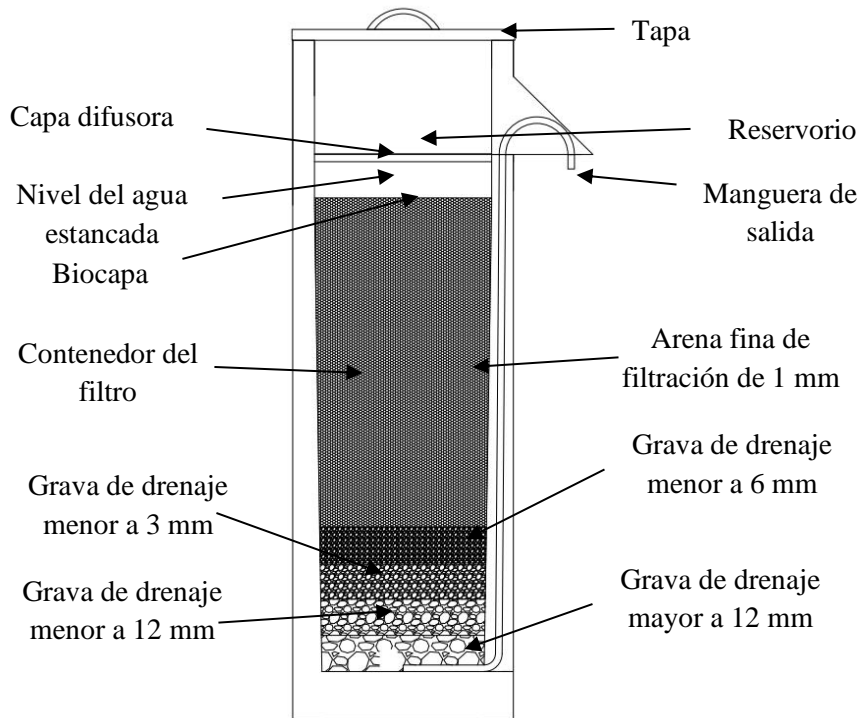


Figura 2: Partes principales del biofiltro de arena

FUENTE: CAWSR (2012)

c. Instalación del biofiltro de arena

La instalación del biofiltro de arena no es complicada, lo que se tiene que hacer primero es tener en cuenta la ubicación del mismo (Ver Figura 3). La manguera de salida puede obstruirse por algún material puesto dentro en el momento del pintado o en los acabados: El interior del filtro debe estar completamente limpio durante la instalación, la cual se realiza según los pasos del manual (CAWST, 2012).

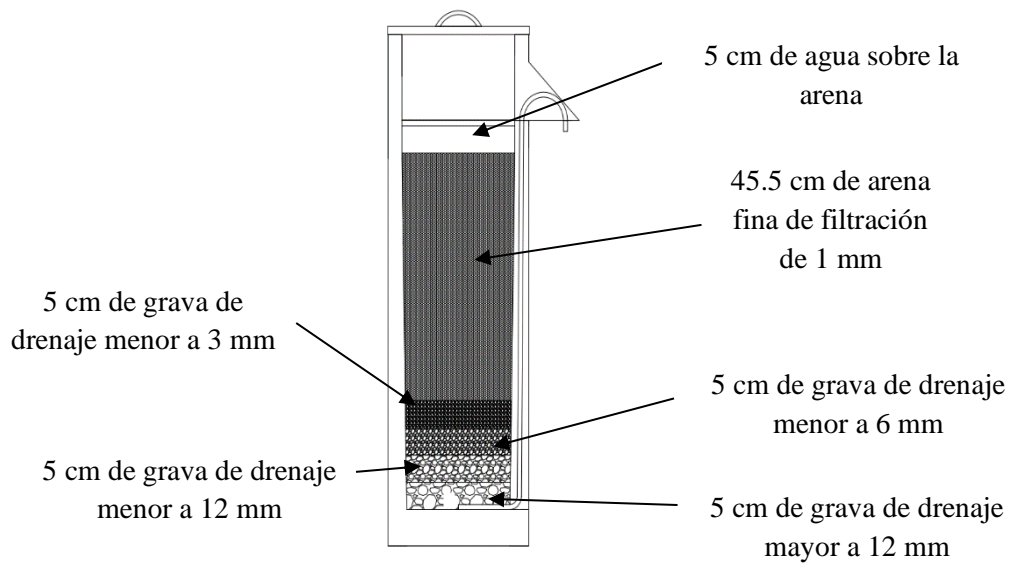


Figura 3: Medidas de las capas de grava y arena en el filtro

FUENTE: CAWST (2012)

d. Instalación del filtro lento de arena intermitente FLAI

La instalación del filtro lento de arena intermitente tiene una instalación accesible para el uso cotidiano para ello deben cumplir los parámetros presentes en el manual que indica CAWST (Ver Figura 4), las partes que se tiene que instalar y hacer primero es tener en cuenta la ubicación de las plataformas de concreto y los niveles de caída para su funcionamiento por gravedad del mismo. Otro de los factores es que la tubería instalada una a continuación de la otras este bien unidas para evitar posibles fugas, la tubería de drenaje ubicada en la base evitar su obstrucción con la implementación de una distribución adecuada de los medios filtrantes por la cual se evita la obstrucción por algún material puesto dentro en el momento de instalar los medios filtrantes o drenaje el interior del filtro este completamente limpio la instalación se realiza según los pasos del manual (CAWST, 2017).

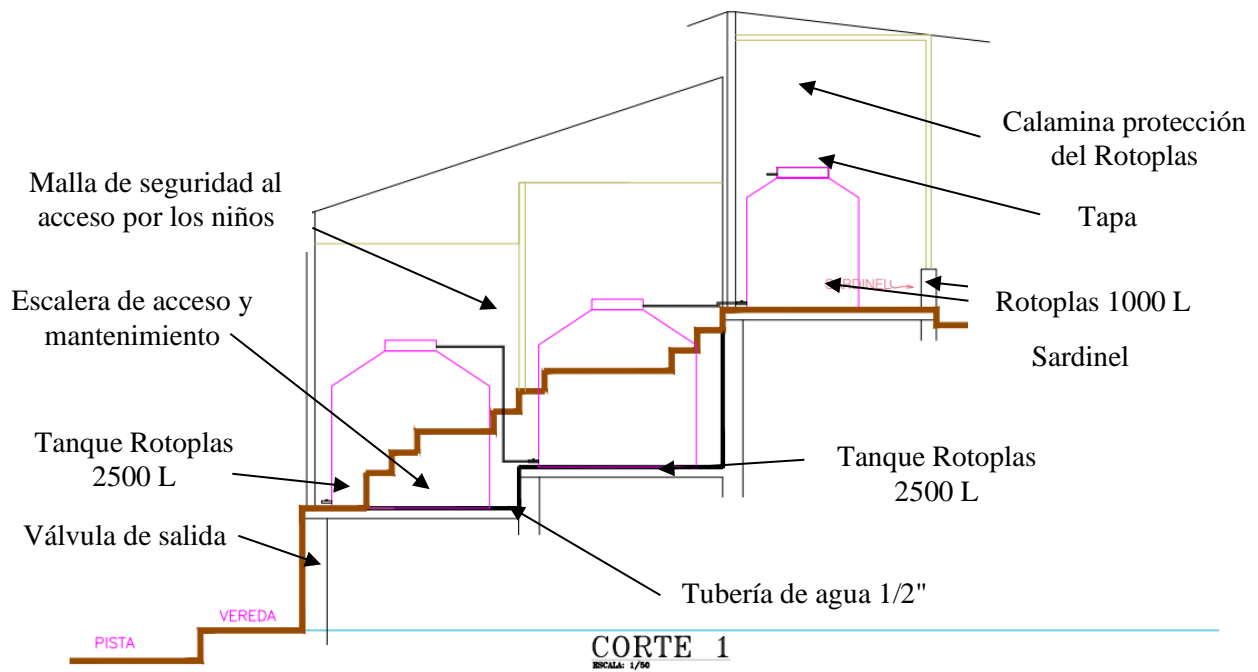


Figura 4: Partes principales del filtro lento de arena intermitente

FUENTE: CAWST (2017)

e. Instalación del filtro lento de arena intermitente (FLAI)

En esta parte se dan las instrucciones paso a paso para poder instalar el diseño del FLAI según el manual CAWST para instalar seguir las instrucciones (Ver Figura 5), dimensión de la tubería de drenaje si bien los detalles pueden cambiar en base a las adaptaciones que se le puede dar al diseño, los principios se mantienen de la misma forma. Las instrucciones dan por hecho que la base de apoyo donde se instaló el filtro ya está previamente construida, en el mismo caso del filtro domiciliario es fácil de instalar los medios filtrantes solo a una escala grande.

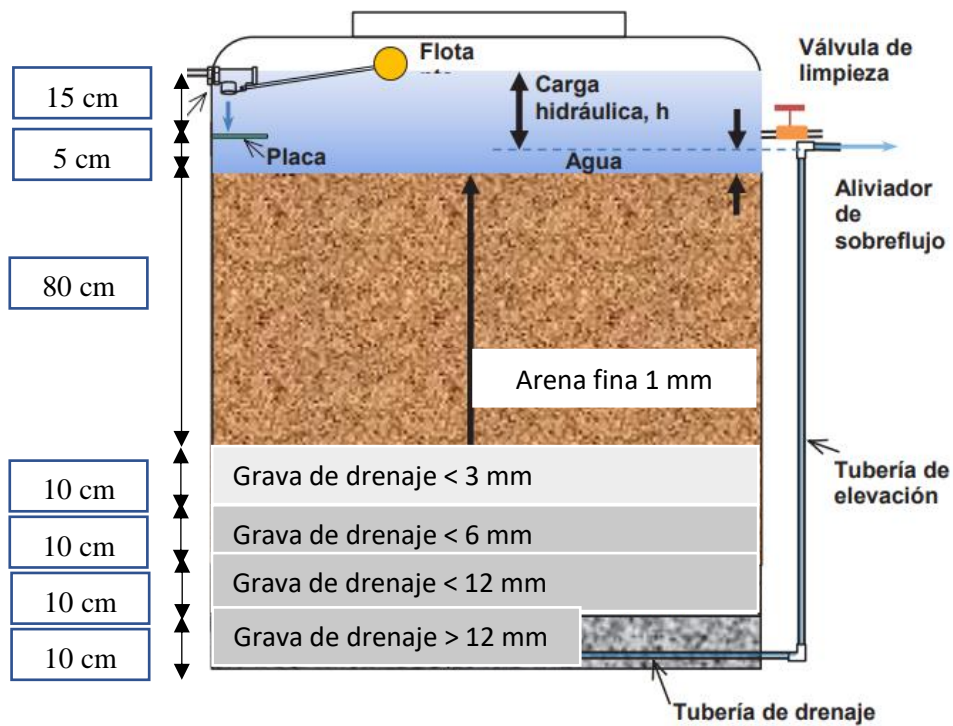


Figura 5: Medidas de las capas del filtro lento de arena intermitente

FUENTE: CAWST (2017)

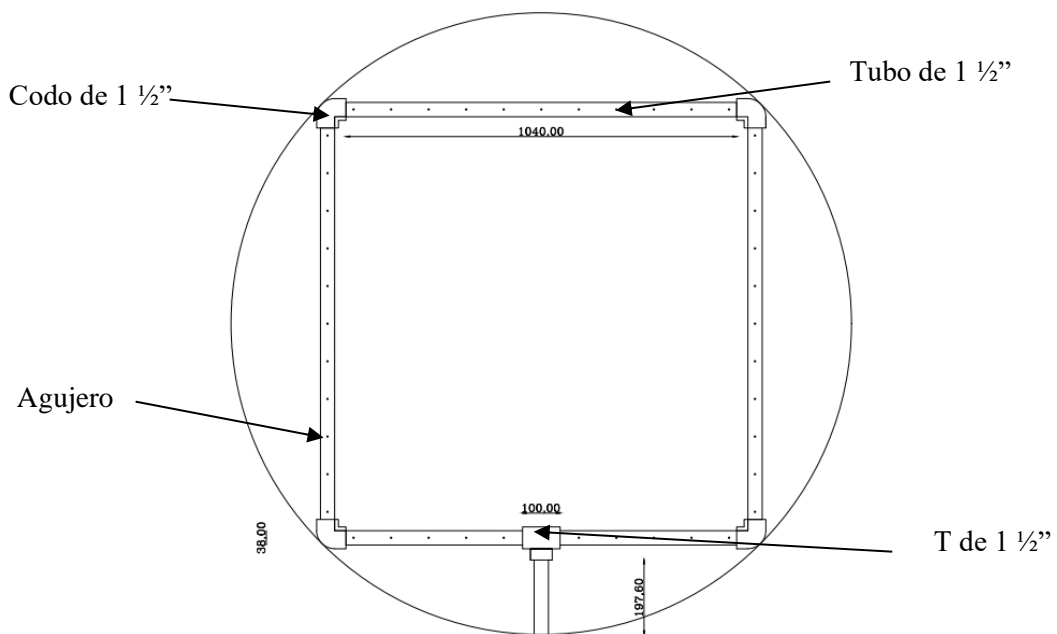


Figura 6: Tubería de drenaje colocada en la base del tanque de 2500 L

FUENTE: CAWST (2017)

2.2.4. Los factores más importantes a la hora de diseñar un filtro bioarena

Hay que seguir una serie de pasos para que el agua tenga el alcance sanitario necesario para el consumo humano. El agua que bebemos suele extraerse de acuíferos (río, embalses y agua subterráneas), trasladarse a través de una tubería a presión o, en el caso de una instalación de tratamiento de agua, por gravedad, y luego distribuirse al público en general a través de redes de distribución y entradas a las residencias.

La importancia de disponer de agua limpia y libre de toxinas, agentes patógenos, metales pesados, olores desagradables y turbidez está en consonancia con la calidad del agua. Si el agua tiene impurezas que impiden su ingestión directa, primero debe realizarse un tratamiento. Al establecer las técnicas de tratamiento hay que tener en cuenta el tipo de contaminantes que se desea eliminar y la calidad del agua bruta. Debe conocerse la calidad del agua durante al menos un año para definir las necesidades de tratamiento, ya que se producen fluctuaciones durante los periodos de sequía y lluvia. Para ello, hay que realizar las investigaciones fisicoquímicas y bacteriológicas adecuadas. Numerosas técnicas de tratamiento son ineficaces porque no se ha examinado adecuadamente la calidad del agua. Se utilizan numerosas técnicas de tratamiento porque no se ha analizado adecuadamente la calidad del agua.

Las bacterias presentes en el agua son destruidas por las altas temperaturas, que suelen oscilar entre 40 y 100 °C. Debido a la influencia de la luz ultravioleta, la radiación solar también deja inactivos a los microorganismos. Por lo tanto, una de las formas más sencillas de garantizar la pureza del agua en el hogar es mediante la desinfección solar del agua (Barrios *et al.*, 2009).

Al tomar estas precauciones, podemos afirmar con seguridad que el suministro de agua de muchos acueductos rurales no se ha contaminado, lo que reduce el riesgo de transmisión de virus y enfermedades como el cólera.

Dar a un pueblo acceso al agua potable implica cualidades importantes como la suficiencia y la absorción de normas de calidad para el consumo. Este suministro procede de lo que se conoce como fuente convencional, que se compone de aguas superficiales como ríos,

lagunas, embalses y presas, así como de aguas subterráneas como los acuíferos.

Dado que la arcilla, el limo, el plancton y otras partículas orgánicas e inorgánicas están suspendidas en el agua, el aumento de los niveles de la turbidez se correlaciona con el tono percibido del agua. La turbidez viene determinada por el tamaño, la concentración y la forma de las partículas en suspensión y la pérdida de luz que viaja a través de una muestra causada por la difracción de los rayos la impactar con ellas (UNESCO, 2019).

2.3. Potabilización de agua para consumo humano

2.3.1. Proceso de potabilización

El agua debe ser apta para el consumo humano y estar libre de contaminantes que puedan ser perjudiciales para la salud; los componentes o impurezas que deben eliminarse, conocidos como parámetros de calidad, sirven para garantizar que el agua es de alta calidad para uso determinado (Ver Tabla 3). De esta forma se clasifican en:

Tabla 3: Procesos unitarios posibles para llevar a cabo en función de los contaminantes presentes

Tipo de contaminante	Operación unitaria
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación + floculación + decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia orgánica	Afino con carbón activo
Amoniaco	Cloración al Breakpoint
Gérmenes patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por oxidación
Sólidos disueltos (Cl ⁻ , Na ⁺ , K ⁺)	Ósmosis inversa

FUENTE: Romero (2008)

2.3.2. Tratamiento para la potabilización del agua

Para obtener un agua que cumpla los requisitos físicos, químicos y microbiológicos, es necesario realizar estudios de calidad y pruebas de tratabilidad del tipo de fuente de agua que se va a utilizar para captar el agua (Racar *et al.*, 2020; Jing *et al.*, 2021). Para esta finalidad existe diferentes métodos para el tratamiento del agua cruda. Los sólidos que se

encuentran suspendidos deben ser removidos a partir de filtros. Cuando la turbidez es excesiva, se utiliza una técnica para eliminarla mediante diversos compuestos químicos (Ben Amar *et al.*, 2001; Palmgren *et al.*, 2013). Proceso denominado como coagulación-floculación que funciona de manera eficaz, el cual nos ofrece rentabilidad para adaptar estos procesos de potabilización (Sun *et al.*, 2019).

La metodología más común en la purificación de agua depende de la energía esté disponible durante todo el día, lo que no es una realidad en todas partes.

- Calor o radiación
- Tratamiento químico
- Proceso de eliminación física

La ebullición, la exposición a la radiación solar, etc., destruyen con éxito los microorganismos a altas temperaturas. Estas técnicas eliminan los gérmenes, pero no proporcionan protección contra la recontaminación en el futuro. A menudo se utilizan productos químicos para limpiar, desinfectar y proteger el agua de los microbios. Al separarlos del agua mediante procesos de sedimentación o filtración, la eliminación física ayuda considerablemente a reducir los contaminantes microbianos y químicos. (Zhang *et al.*, 2019; Zhuge *et al.*, 2022).

2.3.3. Proceso de filtración del FBA

El filtro consiste en un artefacto formado por un recipiente de concreto, de tipo cúbico, compuesto por un medio filtrante soportado por arena y grava, con una manguera de canalización en el fondo para la descarga del agua potable. Un lecho mixto de trozos pequeños y grandes de grava y arena fina puede servir de medio filtrante en la zona. El sistema funciona del siguiente modo: el agua entra en el filtro por la parte superior del depósito, alimentada por una persona con un cubo; a continuación, el depósito se cubre con una tapa de madera, que a su vez se conecta a un tubo situado en la parte inferior de la base, en el centro. La columna de agua se desplaza horizontalmente por el contacto del material de grava y, bajo la fuerza de la gravedad, cae uniformemente a lo largo del material filtrante (Ver Figura 7). Cuando el filtro está saturado, el agua empieza a moverse y el agua puede recogerse en otro recipiente limpio y utilizarse. Para eliminar la suciedad acumulada en el filtro de bioarena, es necesario realizar un retrolavado, proceso que se consigue invirtiendo

la dirección del flujo ascendente. El filtro debe estar a cierta altura, colocado en un lugar limpio, y no puede ser movido después de instalación.

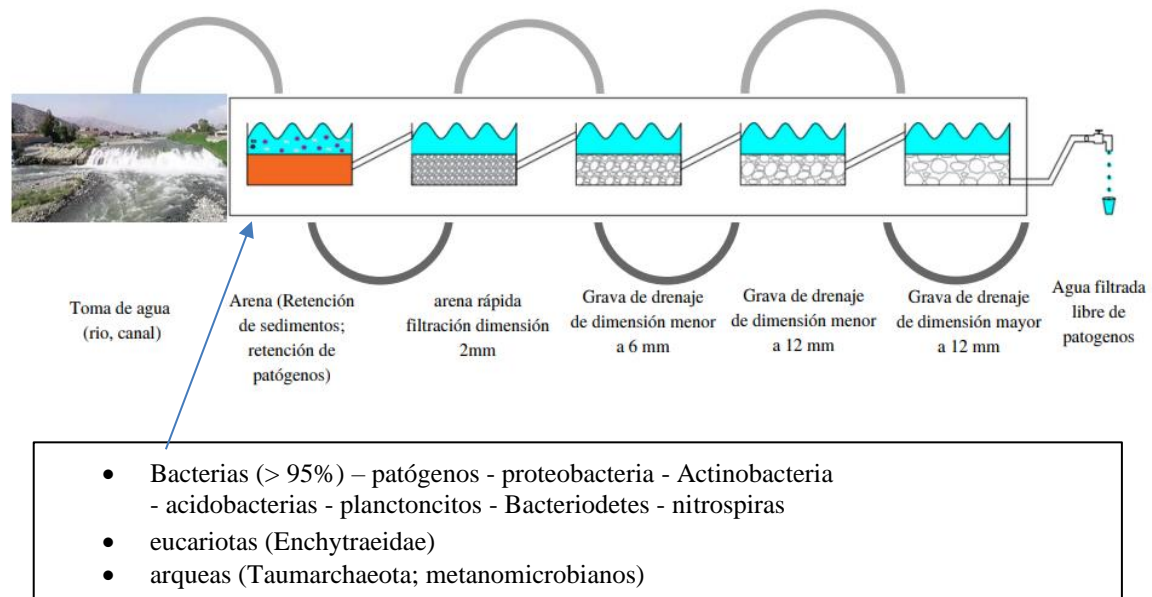


Figura 7: Proceso de filtrado del agua contaminada

El diámetro viene determinado por la tasa de filtración controlada por el sistema, y sabiendo que el biofiltro está en el intervalo de 0.4 a 0.6 l/s. A 0.5 l/s se define como la tasa de filtración de prueba. A partir de ahora, la definición del diámetro del filtro está limitada por la disponibilidad de materiales estandarizados en el mercado. En base a ello, se ha comprobado que la tubería de presión de PVC con un diámetro nominal de 3/8 de pulgada permite el desarrollo de sistemas con caudales de 0.5 l/s y 0.6 l/s (Torres, 2017).

2.3.4. Medio filtrante

Para que el filtro cumpla su función sus estándares para ser potable se debe tener las siguientes características:

- Dado que la arena y la grava pueden almacenarse, el recipiente debe tener una gran abertura para aceptar el medio filtrante.
- El material del lecho filtrante debe ser lo suficientemente fino para cumplir los requisitos de retención.
- Para facilitar un lavado eficaz cuando sea necesario limpiar el filtro, debe estar correctamente graduado.

Para que los biofiltros realicen la tarea de separar los agentes patógenos del material coloidal

y mantener la arcilla del agua en estado coloidal, debe crecer rápidamente en la superficie una capa de microorganismos (capa biológica). De este modo, una parte de la materia en suspensión es retenida por la capa biológica, la otra parte permanece en la arena fina, y el agua fluye junto con el resto de la materia (Rivas y Garcia, 2017).

2.3.5. Bajos drenes

Los materiales filtrantes pueden estar hechos de diferentes tipos de materiales que drenan o hacen fluir el agua en los sistemas de filtración de arena (Povilaítis *et al.*, 2018). En la parte inferior, que nos ayuda a drenar, hay piedra triturada o grava con un tamaño de más de 12 mm como segunda capa, grava con un tamaño de menos de 12 mm, la tercera capa consiste en un tamaño de menos de 6 mm, pero la cuarta capa es grava con un tamaño de menos de 3 mm, la última y quinta capa es arena fina con un tamaño de 0.01 mm. De este modo, de mayor a menor, el agua entra por la parte superior, con un espacio de 35 x 35 cm, y escurre bajo la influencia de la gravedad hasta llegar al fondo, donde se encuentra la manguera de 3/8". Filtrada en el centro, el agua libre de patógenos sale y la recibe en un recipiente limpio (Sileshi *et al.*, 2010).

2.3.6. Lavado del filtro bioarena

Esto debe hacerse para preservar y mantener la pureza del agua filtrada, y cuando el agua filtrada es coloidal en el flujo hidráulico, debe ser lavada, porque significa que los microorganismos del exterior entran en la parte de aguas residuales y afectan a la pureza del filtrado. El lavado se realiza a contracorriente con un caudal suficiente para devolver el agua a la contracorriente. Esto se consigue conectando la manguera a la salida y al menos 1 m por encima del borde superior del filtro. Durante el mantenimiento o el lavado del filtro, el agua que fluye al principio del proceso de filtración debe ser desechada hasta que el filtro se restablezca completamente por el flujo hidráulico y recupere su función. Durante el lavado suelen producirse pérdidas de material del sustrato filtrante, como la arena, sobre todo si el material filtrante contiene arena fina. La solución a este problema consiste en especificar una arena más gruesa y más gruesa. También se puede utilizar arena con un alto valor de Cu (coeficiente de homogeneidad), lo que reducirá el porcentaje de finos que se pierden durante el retrolavado. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea el valor del coeficiente de homogeneidad, mayor será su valor económico (Torres y Villanueva, 2014).

2.4. Antecedentes

2.4.1. Agua y saneamiento en el mundo

En el 2015 se aprobaron los “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS), con lo cual se busca cada día mejorar los resultados obtenidos con las “Metas de Desarrollo del Milenio” (MDM). En principio fueron ocho las MDM, y se ha incrementado a 17 ODS. El objetivo seis: Agua Limpia y Saneamiento, tiene como llegada al año 2030, asegurar la disponibilidad y la dirección sostenible del agua y el saneamiento para todos (UNICEF, 2015) (Figura 8).

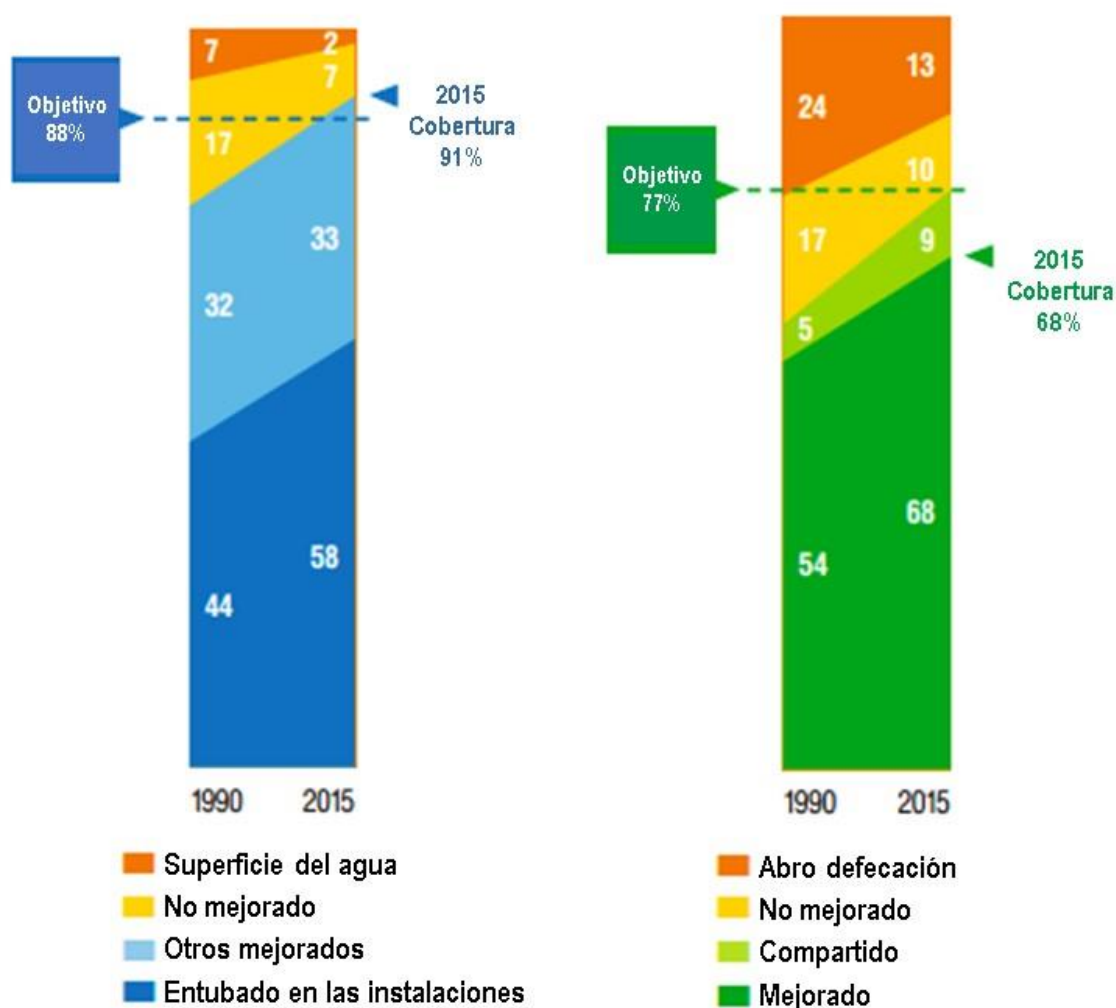


Figura 8: Metas de desarrollo del milenio de agua potable sobrepasada y metas de desarrollo del milenio de saneamiento no logradas al 2015

FUENTE: UNICEF (2015)

La estadística mundial de las personas beneficiadas para el año 2015 con los servicios básicos de agua potable y saneamiento, llegaba el 91 y 68 por ciento, estando por debajo el

valor de servicios con el fin de lograr el objetivo en el desarrollo del milenio. La Figura 8 muestra los valores de población con llegada a fuentes con mejor calidad de agua potable y servicios de desagüe con mejor calidad en el mundo y por regiones según la OMS entre años 1990 al 2011.

En las evaluaciones del año 2014 se puede visualizar que las enfermedades más comunes son la diarrea que se encuentra dentro de los cinco primeros lugares en causa de la muerte prematura a nivel del mundo lo observamos en la Figura 8, por lo observado le gana al VIH/sida. En la Figura 9 podemos apreciar las veinte causas de muerte de hombre y mujeres a nivel global para el año 2012. Por tal motivo el servicio de agua potable y desagüe de calidad para los pueblos rurales y urbanos, ya que son los más vulnerables a tener este tipo de enfermedades que les ocasionaría un deceso.

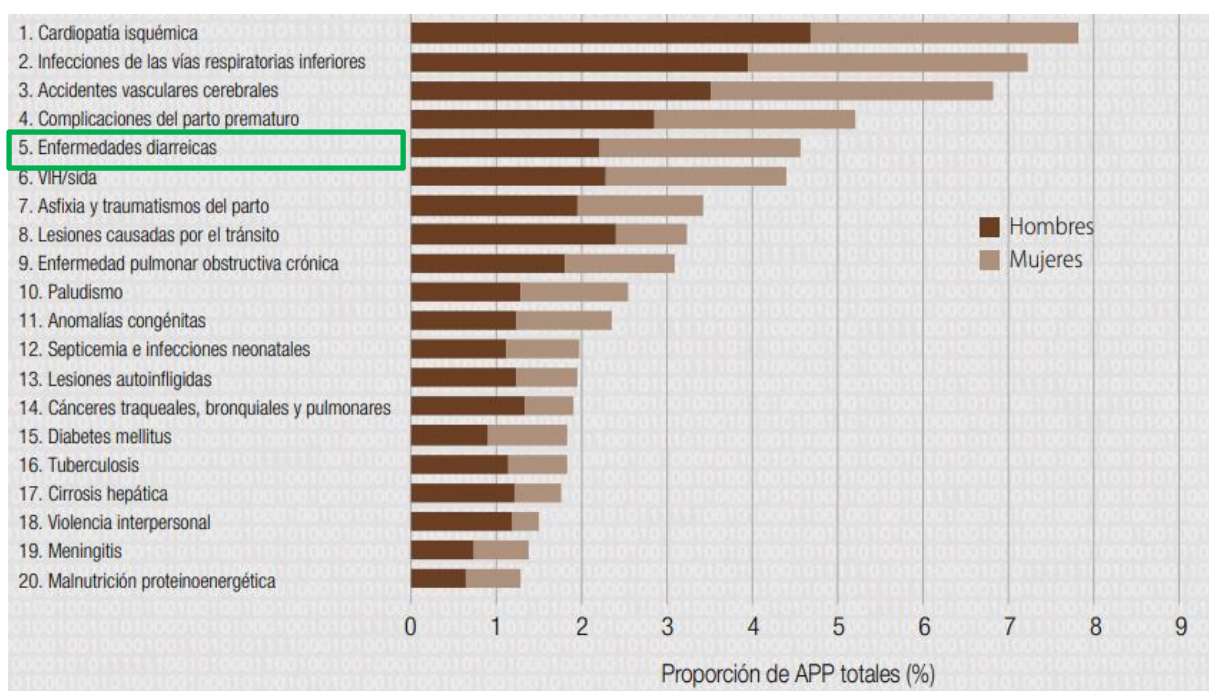


Figura 9: Las 20 primeras causas de muerte prematura de hombres y mujeres a nivel mundial, 2012

FUENTE: OMS (2012)

2.4.2. Agua y saneamiento en el Perú

En el contexto del cambio climático, según un escenario optimista, podría producirse una disminución a largo plazo del 6% en el suministro de agua debido a la reducción de las precipitaciones. El escenario menos optimista prevé una disminución del 13% del suministro medio. Si la población y el crecimiento de la productividad siguen aumentando y no se realizan ajustes en la forma en que se utiliza el agua o en cómo se reutilizan los recursos hídricos, estas tendencias por sí solas podrían causar una gran crisis del agua en Lima (AQUAFONDO, 2016).

Asimismo, el WWAP (2019), considera que un país o una cuenca tiene estrés hídrico cuando la disponibilidad de agua dulce per cápita se encuentra entre 1000 y 1700 m³. La escasez de agua se considera cuando la disponibilidad de agua per cápita está por debajo de los 1000 m³. En el caso de las cuencas Chillón – Rímac – Lurín, la disponibilidad per cápita media anual es de tan solo 125 m³ (AQUAFONDO, 2016).

Actualmente en el Perú el servicio básico de agua potable es realizadas por empresas privadas de saneamiento y administrada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). Para el término del 2020 operaban 50 EPS, las mismas que siguen desde el censo del 2007. La gran parte de la EPS se ubican en la costa, ya para el año 2020 tiene una cobertura de agua potable 89.1%, 84.84% para el alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de 77.47% (SUNASS, 2020). La Figura 10 muestra el transcurso de la cobertura de agua potable y alcantarillado de las EPS entre el año 2017-2020.

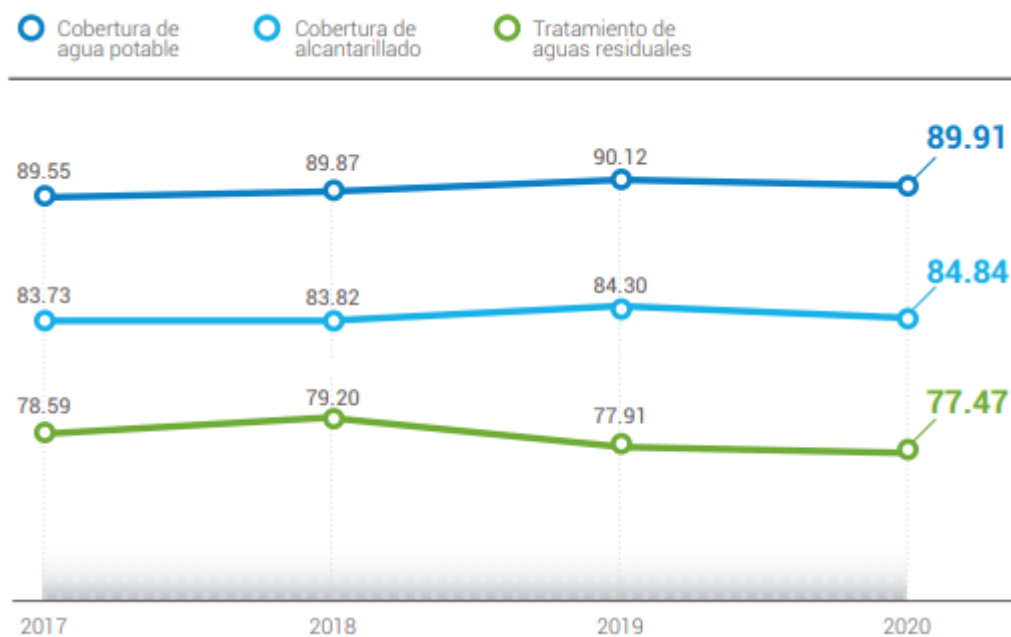


Figura 10: Evolución de las coberturas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en el Perú, 2017-2020

FUENTE: SUNASS (2020)

2.4.3. Calidad del agua de consumo humano

La calidad del agua para el consumo humano viene determinada por una serie de factores, entre ellos su adaptabilidad y adecuación al uso para un fin concreto. Cuando se trata de consumo directo, los usos o fines incluyen beber, mantener la higiene personal, limpieza, etc. (Mendoza, 1996).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), esbozó los factores físicos, químicos y biológicos para evaluar la calidad del agua potable apta para el consumo humano en sus directrices sobre la calidad del agua potable (1993) (Ver Tabla 4).

Tabla 4: Indicadores comunes de la calidad del agua

Parámetro	Descripción
Biológicos	Algas, coliformes totales y termotolerantes, heterótrofos, protozoos, virus y helmintos
Fisicoquímicos	Sólidos o residuos, turbiedad, color, olor y temperatura
Químicos	Aceites y grasas, conductividad eléctrica, alcalinidad, cloruros, dureza, pH, sodio, sulfatos.

FUENTE: Chavéz de Alláin (2012)

En las zonas urbanas marginales de Lima Metropolitana y el Callao, se conoce que conviven con necesidades insatisfechas, respecto de agua y saneamiento, en relación a su cobertura (Ver Tabla 5). La falta de estos servicios básicos deriva en que las personas más vulnerables sean las que se enfermen con síntomas estomacales como la diarrea y enfermedades conexas. Esto es especialmente grave si se considera el riesgo de las personas menores de edad y las de tercera edad.

Tabla 5: Evolución de cobertura de agua y saneamiento en el año 2007 – 2013 en el Perú

	Año	Urbano	Rural	Total
Agua Potable	2007	84.00 %	31.70 %	68.30 %
Agua Potable	2013	93.40 %	63.20 %	86.10 %
Saneamiento	2007	80.70 %	13.00 %	60.30 %
Saneamiento	2013	83.60 %	18.90 %	67.90 %
Incremento				
Agua Potable	2013 - 2007	9.40 %	31.50 %	17.80 %
Saneamiento	2013 - 2007	2.90 %	5.90 %	7.60 %

FUENTE: MVCS (2014)

Las personas que no cuentan con el acceso a los servicios de agua tienen un abastecimiento mediante camiones cisternas y piletas públicas, por lo tanto, la calidad de agua es dudosa, a su vez de tener precios elevados afectan la canasta familiar (Ver Tabla 6). Loyola y Soncco (2007); Hussain *et al.* (2023) indican que las enfermedades asociadas al agua son la mayor causa de morbilidad y mortalidad en los países en desarrollo, y el Perú es uno de ellos.

Tabla 6: Personas que no cuentan con el acceso a los servicios de agua

Fuente de agua	Porcentaje (%)
Camión cisterna	79
Piletas	13
Pozos	5
Otras fuentes	3

FUENTE: SUNASS (2015)

Por otro lado, este reglamento (D.S. 091-SA-2010), que forma parte de la Ley General de Salud (Ley N° 26842), establece las disposiciones generales sobre la gestión de la calidad

del agua para consumo humano a fin de garantizar su inocuidad, prevenir factores de riesgo sanitario y proteger la salud y el bienestar de la población. Esta norma consta de cinco anexos, doce disposiciones complementarias, transitorias y finales, 81 artículos y 10 títulos. Los cuatro primeros anexos de la norma, que fijan los LMP (Límites Máximos Permisibles) que debe cumplir el agua para ser declarada apta para el consumo humano, son sus apartados más cruciales. Para este estudio de investigación, la Tabla 4 da a conocer los parámetros utilizados para la comparación de calidad (Ver Tabla 7).

Tabla 7: Calidad de agua para consumo humano del ministerio de Salud

Parámetros	Límite Máximo Permissible
Microbiológicos	
Coliformes Termotolerantes (NMP/mL)	0
Coliformes totales (NMP/mL)	0
Heterótrofos (UFC/mL)	500
Fisicoquímicos	
pH	6,5-8,5
Conductividad eléctrica (uS/cm)	1500
Color verdadero (UCV Escala Pt/Co)	15
Turbidez (UNT)	5
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	500
TDS (mg/L)	1000
Aceites y Grasas (mg/L)	0,5
Químicos	
Cloruros (mg Cl/L)	250
Fluoruros (mg F/L)	1
Nitratos (mg NO ₃ /L)	50
Sulfatos (mg SO ₄ /L)	250

FUENTE: Adaptado del Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. 091-2010-SA).

De acuerdo a todo lo anterior, se estimó conveniente identificar la problemática, en relación a la calidad de agua para consumo humano, en la comunidad San Antonio de Pedregal, Lurigancho – Chosica. Se realizó un recorrido por la zona rural de los Asentamientos Humanos Girasol y Frutales, ubicados en la comunidad San Antonio de Pedregal, y se logró identificar el riesgo presente en el consumo de agua, ya que su calidad encontrada está por debajo de lo aceptable permisible para consumo humano. Se logró evidenciar que las actividades tanto agrícolas, mineras e industriales son en parte causantes de estos

contaminantes en el agua que consumen. A esto se le suma la actividad ganadera que por su parte imparte vertimientos representativos que afectan este sector de producción ya que presenta altos indicadores en la presencia de materia orgánica para lo cual es necesario realizar una intervención con medidas de mitigación.

En la actualidad el proceso de potabilización que utiliza la comunidad de la zona rural de San Antonio de Pedregal es hirviendo el agua, este método físico tradicional es utilizado para eliminar bacterias presentes en el agua cuando esta alcanza su punto de ebullición a los 100 °C, luego debe ser vertida en otro recipiente higienizado para su enfriamiento y uso doméstico. Este método es comúnmente utilizado en las zonas rurales del país debido a la escasa infraestructura de saneamiento. Sin embargo, es el caso de los asentamientos humanos Girasoles y Frutales.

III. METODOLOGÍA

3.1. Zona de estudio

La zona de estudio se ubica en la comunidad de San Antonio de Pedregal II, Lurigancho – Chosica, a una hora y media de la ciudad de Lima, a la margen izquierda del río Rímac, en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, entre la quebrada Pahua por el este y la quebrada de Chucumayo, a una latitud Sur de 11°55'25.56"S, y longitud Oeste de 76°42'6.62"O, con altitud de 604 m.s.n.m.

3.1.1. Clima y vegetación

Por las mañanas, la humedad relativa es baja y aumenta por la noche. Debido a los vientos que soplan desde las tierras altas, la temperatura media nocturna es de 18 °C, pero la temperatura cambia según la estación: La temperatura varía de 12 °C a 26 °C en primavera y verano, y de 12 °C a 31 °C en otoño e invierno. (ANA, 2017) (Ver Tabla 8).

La vegetación baja domina la región de estudio, principalmente gramíneas forrajeras (Ver Figura 10). En la zona superior se pueden encontrar pequeños arbustos, especies de cleistocactus y cactus gigantes (*Trichocereus pachanoi*). El huanarpo (*Jatropha macrantha*) predomina en la zona intermedia, mientras que sólo hay unas pocas especies de tillandsias (*Jatropha macrantha*) en las zonas inferiores, que contienen regiones áridas (PREDES, 2000).

Tabla 8: Parámetros climáticos promedio de Chosica

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	28.6	29.6	32.5	32.2	31.3	28.8	29	28.4	31.2	29.1	27.8	28.2	32.5
Temp. máx. media (°C)	27.1	27.1	28.4	28.7	25.3	24.4	24	23.9	26.2	25.6	26.3	26.4	26.1
Temp. mín. media (°C)	18.3	18.2	19.9	19.9	16.2	15.6	14	13.9	17	17.7	16.7	17.4	17.1
Temp. mín. abs. (°C)	16.7	17.5	17.3	17.7	13.7	13.4	12	12.6	13.4	13.2	15.6	16	12.3
Precipitación total (mm)	-	23.2	8.8	29.2	0	0	0	0	0	1.4	0.6	0.4	63.6

FUENTE: SENAMHI (2021)



Figura 11: Matorral arbustivo obstruido por viviendas construidas en la zona media de la quebrada

3.1.2. Población

En los alrededores del arroyo El Pedregal viven más de 12000 personas (PREDES, 2017). La asociación de propietarios "San Antonio de Pedregal", en la base del arroyo, y el pueblo joven "San Antonio de Pedregal Alto" son donde vive la mayoría de la gente.

San Antonio de Pedregal II zona, cuentan con un número de 115 lotes agrupados en dos comités de base y con una población aproximada de 460 habitantes, Sin ningún requisito de planificación, la ocupación del suelo aumenta (Figura 12) actualmente de manera formal, informal y desordenada (Ver Figura 13).



Figura 12: Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2003.

FUENTE: Google Earth



Figura 13: Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2022.

FUENTE: Google Earth

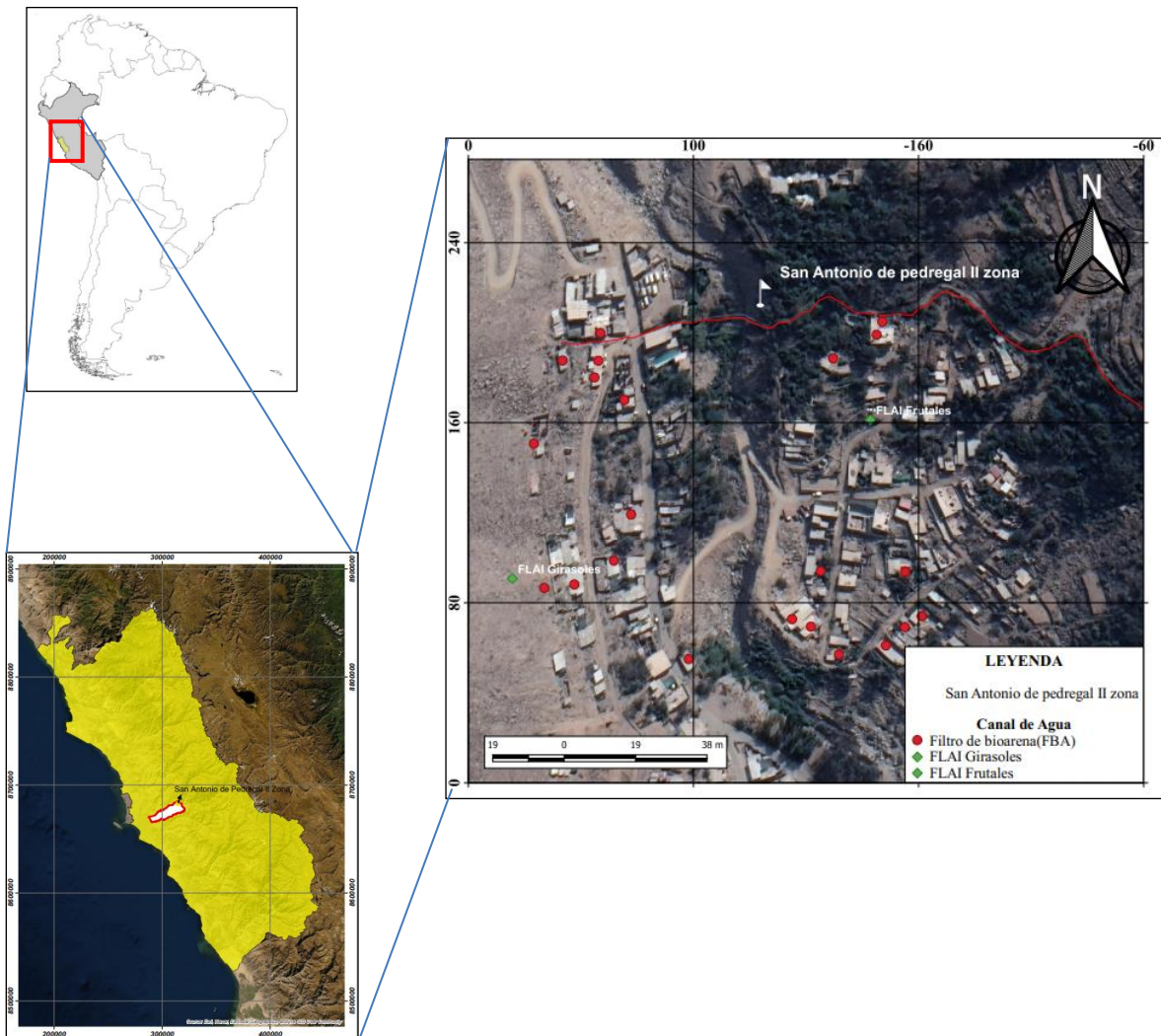


Figura 14: Ubicación de la zona de estudio

3.2. Materiales y equipos

En la Tabla 9 se enumeran los suministros, herramientas y maquinaria utilizados para crear los filtros FBA y FLAI domésticos y comunitarios necesarios para el estudio. Además, se indican las curvas de nivel, la programación para el vuelo del dron y el software utilizado en la etapa de gabinete del procesamiento de imágenes LIDAR.

Tabla 9: Materiales, equipos y herramientas computacionales

Equipos	Características técnicas	Uso-aplicación
Vehículo aéreo no tripulado	Modelo Matrice 300rtk.	Permitió el acoplamiento de las cámaras y el levantamiento de imágenes del área de estudio.
Cámara Lidar	Marca LiDARit Explorer R, rango máximo de reflectividad 150m, precisión laser 2 cm a 150 m, ecos 2, altura máxima de acceso 100 m	Permitió la captura de imágenes ópticas (TIF y Radiométrica).
Medidor portátil de pH	Medidor portátil de pH/CE/TDS a prueba de agua (gama alta) HI991301 Hanna	El HI991301 está diseñado para medir pH, conductividad (EC), sólidos disueltos totales (TDS) y temperatura con una sola sonda. El medidor es resistente al agua y está clasificado para condiciones IP 67.
Software	Características técnicas	Uso-aplicación
Pix4D	Software fotogramétrico, desarrollado por la compañía suiza Pix4D, para la plataforma de vehículos aéreos no tripulados.	Para el pre - procesamiento de las imágenes térmicas y multi - espectrales.
ArcGis	Herramienta de software de sistema de información geográfica	Para el procesamiento de los ortomosaicos de las imágenes térmicas y multispectrales.

Nota. IP 67: Equipo hermético al polvo y protegido contra la inmersión. Durante 30 minutos a profundidades de 150 mm – 1000 mm.

Asimismo, en la Figura 15 se presenta el recorrido del dron Matrice 300rtk en el poblado San Antonio de Pedregal.



Figura 15: Posible recorrido del dron en la zona de estudio

FUENTE: Google Earth (2022)

3.3. Procedimiento

Por otro lado, el procedimiento secuencial seguido en la tesis se detalla en la Figura 16.

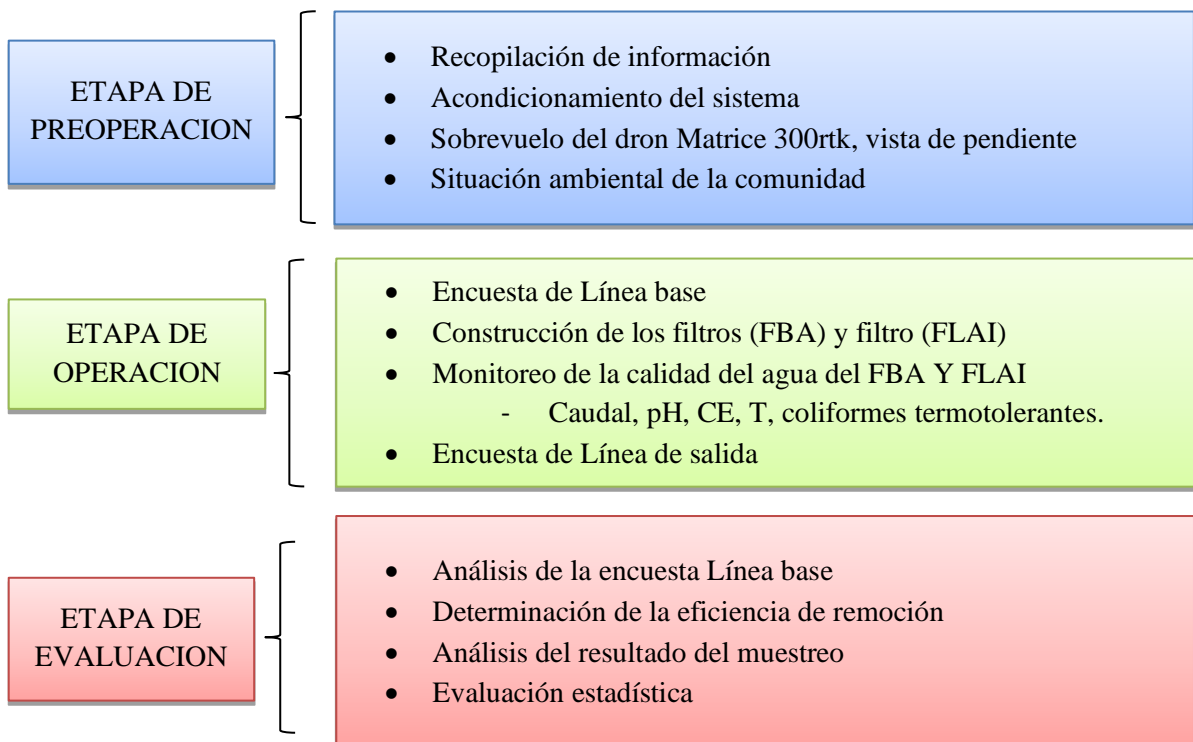


Figura 16: Etapa del proceso metodológico para el estudio

3.3.1. Duración

El desarrollo de esta investigación inició en febrero de 2022, y se tomó hasta principios de 2023 para completar la etapa preoperativa y establecer los parámetros operativos. Tras el desarrollo de las actividades y un periodo de tiempo en el que se observó el consumo de agua de los habitantes de San Antonio de Pedregal II, la investigación se utilizó como los protocolos necesarios debido a la situación en la que se encontraba el país como consecuencia de la pandemia, resultando un tiempo efectivo de 12 meses a tener en cuenta.

3.3.2. Pre operación

En esta etapa se consideró las siguientes acciones:

a. Recopilación de información

En primer lugar, se buscó el informe técnico y los planos del proyecto "Tratamiento de agua para consumo doméstico mediante el sistema de filtrado Bioarena para el Hogar San Antonio de Pedregal II". La ONG AguaSan, que diseñó y ejecutó el proyecto en 2010, entregó la información.

Posteriormente, se realizó un diagnóstico in situ observando cada componente del sistema y preguntando al personal beneficiado en años anteriores cómo funcionaba.

b. Acondicionamiento del sistema

Identifica todas las tareas que tuvieron que completarse antes de que el sistema de biofiltro de arena pudiera ponerse en marcha, muchas de las cuales llevaron más tiempo del previsto debido a la dificultad de adquirir arena aceptable y libre de arcilla o polvo. A continuación, se detalla toda las actividades realizadas para preparar la puesta en marcha del proyecto en San Antonio de Pedregal II.

Tras un diagnóstico inicial, fue necesario ubicar un lugar adecuado para la implantación de los materiales y la construcción de los filtros domiciliarios y comunal, por lo que se solicitó a unos de los pobladores brindar como apoyo el espacio de su terreno para guardar todo los materiales y equipos que se van a utilizar.



Figura 17: (a) Vista del lugar donde se realizó la construcción de los filtros-casa de uno de los pobladores (02/02/2022), (b) Vista del lugar donde se implementó el filtro comunitario (02/02/2023)

En lo que respecta al lugar de instalación del filtro comunitario, debido al mal acceso el cual impedía el traslado del material a la parte superior, se buscó otra reubicación para la construcción de sus bases del FLAI, teniendo un lugar apropiado de acceso para poder trabajar en la construcción de las bases de los tanques como actuadores de filtro. La Figura 18 muestra la fotografía del cambio de lugar en la implementación del filtro comunitario y el acceso para los materiales.



Figura 18: Vista del lugar de implementación del filtro comunitario FLAI

c. Sobrevuelo del dron Matrice 300rtk, vista de pendiente

Tras una visita por los asentamientos, se propuso el vuelo del Dron con el fin de ver si el lugar de implementación es la adecuada ya que está en una pendiente que por la cobertura de rocas podría causar por un desprendiendo del cerro el colapso o aplastamiento del filtro, con lo observado mediante el Dron se tomó la decisión que el lugar está apto para la implementación.

Para el desarrollo de esta sección, se precisa del análisis de los datos recopilados por el LIDAR, a partir del sobrevuelo de las cimas de los AA.HH. Los Girasoles y Los Frutales, según el área delimitada por el estudio, con el fin de validar los lugares de instalación de los filtros a escala mayor, posteriormente se realizarán un mapa de perfil topográfico señalizando la ubicación donde se realizó la construcción de los filtros FLAI. Esta etapa del trabajo del proyecto está relacionada a todos los análisis, tratamientos tantos cálculos de variables, para poder así tener los resultados más cercanos y otras personas lo puedan repetir en un proyecto de mejora (Ver Figura 19).

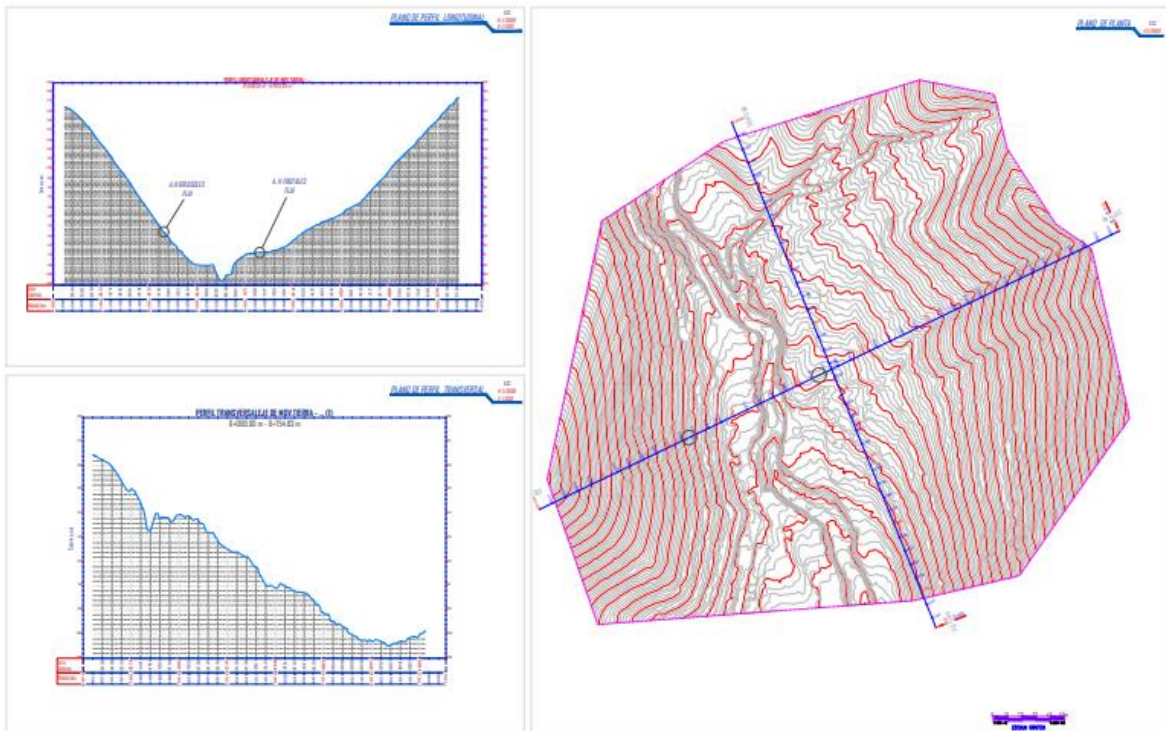


Figura 19: Corte perfil de la zona del proyecto y ubicación de los FLAI

d. Situación ambiental de la comunidad

Tras una visita rápida por los dos asentamientos, se mostró la falta de implementación de depósitos para la basura, o un acopio general para que no estén arrojando sus desechos a los cauces tanto del río y canal, la fuente de agua está expuesta para la comunidad Los Frutales en cambio para la comunidad Los Girasoles el agua viene por tubería, pero del mismo desvió de la hidroeléctrica Moyopampa.

3.3.3. Operación

a. Encuesta de línea base

En marzo de 2022 se implementó el proyecto Agua y Salud en la comunidad de San Antonio de Pedregal Lurigancho-Chosica, donde se realizó la primera visita de diagnóstico con la participación de la comunidad. La capacidad de observar los problemas sociales, de salud y ambientales que han afectado a esta comunidad. Posteriormente, se efectuó una segunda visita donde se le brindó la información de resultados y toma de decisiones, donde la comunidad de manera organizada decidió poner en marcha la alternativa, proteger las fuentes de agua que se consumen y mejorar la higiene en la comunidad “Los Girasoles” y “Los Frutales”, para ello se escogió la opción de instalar filtros Bioarena (FBA) y filtro lento de arena intermitente (FLAI) ellos se comprometieron en proteger los tanques de depósito de almacenamiento de agua. El proyecto proporcionó los materiales y la asistencia técnica requerida y la comunidad se comprometió a participar en el desarrollo de las actividades.

En la recopilación de información mediante la encuesta de entrada previo a la instalación de los filtros en sus domicilios, la finalidad es conocer los servicios básicos y la calidad de agua que se consume en cada comunidad, por lo que se realizó preguntas relacionadas a los servicios básicos, número de familias, niños menores de edad, fuente de agua de consumo. Con las respuestas de cada familia se pudo aclarar las problemáticas con el agua de canal, los menores constantemente están sufriendo de malestares como la diarrea, lo cual la familia lo relacionan con el mal estado que proviene su fuente de agua.

El diseño de la evaluación ambiental en la zona de estudio contempló el diagnóstico inicial o levantamiento de línea base, respecto de las actividades contaminantes, fuentes de contaminación e identificación de problemas ambientales, en general. Asimismo, se describe la intervención respecto de esta problemática, mediante el Proyecto; y finalmente, se evaluó la percepción y opinión de la población respecto de las mejoras de los problemas ambientales identificados.

Durante la visita, el dron Matrice 300 rtk sobrevoló la ciudad, obteniendo nube de puntos y relieves de la ubicación del FLAI comunal, del cual se obtuvo una vista de las comunidades, para así poder observar sus desniveles, el canal visualizado que abastece de agua a las dos comunidades, a lo largo desde su punto de captación y la pendiente peligrosa de deslizamiento de posible caída de piedras que puedan ceder y dañar la estructura que se instaló (Ver Figura 55, Anexo 4).

En San Antonio de Pedregal existe muchos focos de contaminación, los cuales son producidos por la exposición de sus aguas a la intemperie y producido por la misma población que arrojan la basura a su cauce, por el cual se le realizó una encuesta de entrada con el fin de tener datos de posibles contaminantes los cuales causan malestares a los niños y personas mayores de edad (Ver Figura 53, Anexo 2). Por la parte alta al cauce tenemos: vertientes de aguas industriales, vertimiento de aguas residuales de pasivos ambientales, reúso de aguas residuales domésticas, vertimiento de aguas residuales domésticas, vertimiento de agua de riego, botaderos de residuos sólido, etc.

La principal fuente de abastecimiento de agua de la quebrada San Antonio de Pedregal es el canal hidroeléctrico Moyopampa, que abastece a la población con agua que no ha sido tratada ni limpiada y que sólo está disponible para los pueblos por la mañana y a diario. Esto se debe a diversas causas, entre ellas el uso del arroyo como lavandería pública. Utilizan diversos detergentes para lavar la ropa en el agua, contaminando el río al liberar residuos químicos inadecuados para el agua. Los vertidos de aguas residuales al agua son otro problema relacionado con la población local. Evidentemente, estos contaminan y ensucian la cuenca porque arrastran desechos como heces y basura, entre otras cosas. El agua puede verse viajando.

Los residuos domésticos que se depositan en vertederos generan contaminantes químicos solubles que se desplazan por el suelo y se filtran a las capas del subsuelo. Es bien sabido que la basura doméstica contiene una gran variedad de residuos, incluidos los procedentes de pesticidas, detergentes y disolventes.

A partir de lo anterior, se realizaron encuestas con el fin de conocer la satisfacción de los habitantes, caracterizando el consumo de agua, el tipo de tratamiento de agua, disposición de residuos orgánicos e inorgánicos. Además, se realizaron entrevistas a vecinos del distrito de San Antonio de Pedregal Lurigancho-Chosica.

Para definir el número de encuestas, se siguió la ecuación (1):

$$n = \frac{NK^2 E_a E_o}{(N - 1)e^2 + (K^2 E_a E_o)} \dots\dots\dots (1)$$

- n = número de encuestas
- e = Error Máximo admitido (7% de error)
- K = Coeficiente de confianza (1.81)
- E_a y E_o = Son probabilidades de ocurrencia o no de algún hecho. En nuestro caso lo dejamos en 50% cada uno

$$n = \frac{30 * 1.81^2 * 0.5 * 0.5}{(30 - 1) * 0.07^2 + 1.81^2 * 0.5 * 0.5}$$

n = 25.56 ≅ 26

b. Construcción de los filtros (FBA) y filtro (FLAI)

En esta sección se describen los materiales y medios que se utilizarán para la construcción de los filtros y su implementación.

– **Filtros de bioarena (FBA) en la comunidad “Los Girasoles” y “Los Frutales”**

En las comunidades seleccionadas para el proyecto son “Los Girasoles” y “Los Frutales” en la cual se construyeron 30 filtros FBA en total que son de uso domiciliario. A su vez estos filtros en su interior contienen los lechos filtrantes a base de distintos tamaños de Grava el cual se tamizaron con distintos tamaños de malla y se estandarizó. Estos 30 filtros se instalaron en viviendas alejadas ya que son las menos beneficiadas con el filtro comunitario FLAI el cual solo llega a un punto de

pileta como medio de recolección para las personas que estén cercanas y no fueron beneficiadas con el filtro doméstico.

La caja del filtro es un envase de concreto rígido (Ver Figura 54, Anexo 3), que comprende medios filtrantes de grava y arena con granulometría comprendidas entre mayor a 12 mm, menor a 12 mm, menor a 6mm, menor a 3mm y arena fina que pase por la malla de 1mm (Ver Figura 20). Para salir depurada por el conducto de descarga, el agua que llega por la parte superior debe pasar primero por la arena fina lavada, secarse y, a continuación, atravesar las gravas que sirven de medio de drenaje.

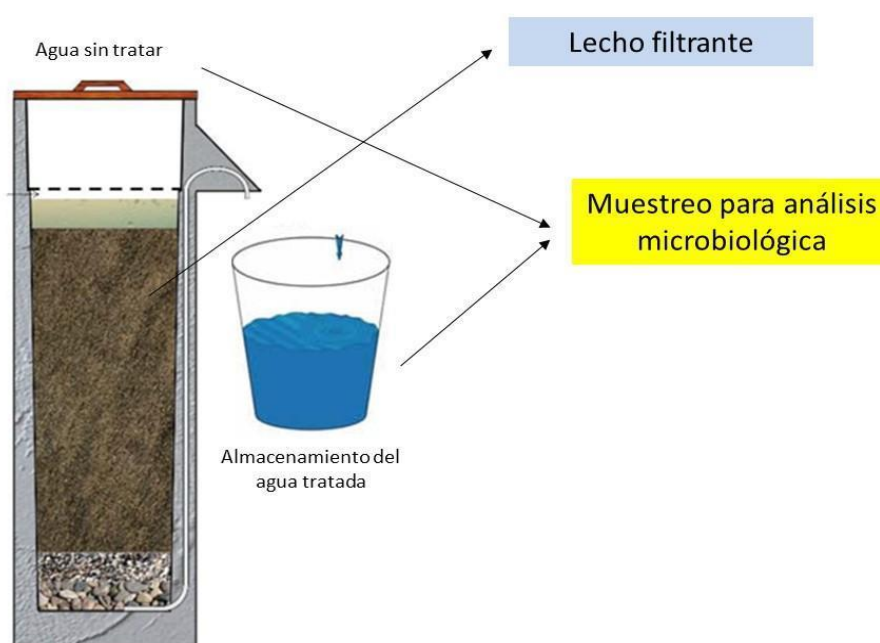


Figura 20: Diagrama del filtro de Bioarena, y el muestreo para los análisis microbiológicos

La filtración se realizó mediante arena fina incorporada al filtro, que tiene una granulometría específica para atrapar patógenos, haciendo que el agua sea pura, sin impurezas y apta para el consumo humano, además de evitar las dolencias estomacales más comunes que se manifiestan en niños y ancianos.

– **Actividades previas de la organización**

En el proyecto se contó con un coordinador general que formaba parte del equipo

profesional, un coordinador técnico para la implementación de los FBA y como personal complementario un profesional de aspecto social y salud.

Por parte de la comunidad se contó con la participación activa de los pobladores de la asociación (la mayoría madres), quienes asistieron a los talleres de sensibilización, además de realizar actividades de faena (trabajos comunales) para la limpieza y seguridad del área de trabajo. También participaron en las actividades de lavado de los medios filtrantes y durante la entrega de los FBA.

– **Selección y capacitación de obreros**

La idea ha sido hacer participar a la comunidad, en esta etapa del proyecto se convocó a personas con experiencia en construcción y con la disposición de aprender sobre los FBA. Así se formó una cuadrilla de trabajadores conformada por cuatro obreros para la construcción de los FBA.

– **Gestión y compra de materiales, equipos y herramientas**

Se utilizaron dos moldes de acero para hacer el filtro. Las herramientas utilizadas se muestran en la Tabla 16. Esto permitió la construcción de dos filtros por día, para un total de 30 filtros. Los materiales comprados fueron entregados a las comunidades de Los Girasoles y Los Frutales, el 12 de abril con una lista de control para que dispusiera su uso por los trabajadores (Ver Figura 21), a ellos se les hizo entrega de sus respectivas herramientas a condición de que fueran devueltas al finalizar la obra.



Figura 21: Herramientas y equipos utilizados en la fabricación de los FBA

Los materiales de gran volumen como la grava y la arena permanecieron en el patio frontal de la comunidad, excepto las bolsas de cemento que se almacenaron bajo techo y con seguridad en la vivienda de uno de la comunidad que nos prestó su almacén más cercano de uno de los obreros. Se llevó un control interdiario del uso de material almacenado.

– **Capacitación en el uso de los filtros domésticos y comunal**

Es necesario realizar capacitaciones para todos los futuros usuarios, miembros del público, con el fin de generar conciencia e impacto beneficioso. Con ellos se realizó un taller educativo: se trataron temas de salud, higiene y protección del medio ambiente y se presentaron los filtros FBA como “una herramienta” para purificar el agua que consumían del canal.

La estrategia para lograr la participación activa de la comunidad en estos talleres consistió en una reunión en un día donde esté disponible y estén descansando, el cual se llevó en la casa de uno de los vecinos de la comunidad con un compartir de almuerzo, con el objetivo que asistan todos los miembros de cada familia por lo menos un representante., así mientras los padres (madres en su mayoría) participaron

de las dinámicas desarrolladas.

Además, se puso como requisito indispensable para la recepción de los FBA la asistencia y participación en los talleres de las familias del AA.HH. los girasoles como también de los Frutales, las que fueron convocadas con la siguiente frase: “Si no asisten al taller dónde explicaremos cómo funcionan los filtros bioarena ¿cómo podrán utilizarlo y cuidarlo adecuadamente?”(Ver Figura 22).



Figura 22: Capacitación del uso adecuado y beneficios de los filtros FBA y FLAI

- **Construcción e instalación del filtro bioarena**
 - Se trata de un conjunto de piezas interconectadas, cada una de las cuales cumple una función determinada. La caja rígida de hormigón contiene un material filtrante compuesto de grava y arena de un tamaño determinado. El agua entrante hará un ciclo a través de cada capa hasta llegar al conducto de descarga, donde se limpia. El producto final, el agua, mostrará los efectos si uno o más componentes fallan. Por eso su construcción se llevó a cabo con el nivel de cuidado que se menciona a continuación en la Figura 58 (Anexo 6).

Para que funcione correctamente, el tanque del FBA debe tener paredes impermeables y un fondo liso, lo que significa que no debe haber huecos ni fracturas. También es crucial que el tubo de descarga, que se instala en el interior de la pared frontal del filtro, esté libre de cualquier impedimento. Para confirmar estos rasgos se recurrió tanto a la inspección visual como a pruebas hidráulicas.

- El molde FBA, inventado por el profesor David Manz de la Universidad de Calgary y mejorado en versiones posteriores por CAWST, es una construcción metálica a base de placas, ángulos y juntas de acero. Esquema del molde de acero FBA con todo detalle. se puede apreciar en la Figura 54 (Anexo 3), y el extractor tipo cruz en la Figura 23.



Figura 23: Molde de acero para fabricación del FBA

- Se utilizó hormigón simple para preparar el hormigón necesario para la construcción de las cajas FBA. La mezcla de cemento andino, agregado fino, agregado grueso y agua se representa en la Figura 24 (Ver Figura 58(1)). Para alcanzar una resistencia de 210 kg/cm^2 a los 28 días, estos ingredientes se

dosificaron en una proporción de mezcla de 36lt:18lt:28lt:28lt:14lt:24lt:18lt (cemento, arena gruesa, arena gruesa fina, arena fina, piedra pequeña y agua).



Figura 24: Preparación del concreto 210 kg/cm²

- Para encontrar obstáculos en el conducto de descarga provocados por el llenado de hormigón, se realizaron pruebas hidráulicas y de curado. Esta prueba consistió en llenar la caja FBA hasta su máxima capacidad de agua y cronometrar a continuación el tiempo que tardaba en llenarse un recipiente de 1 litro. Para garantizar que la tubería no presentaba ningún impedimento, se estableció un caudal de descarga de 1 litro en aproximadamente 85 segundos. El filtro tenía que superar esta prueba para poder seguir produciendo (Ver figura 58(4)); los que fallaban se desechaban porque no se podían refractar. El curado comenzó en cuanto el hormigón se endureció, es decir, 24 horas después de la colada; a continuación, la caja se llenó de agua durante 7 días.
- Resanes y pintado se hicieron para cubrir las grietas, rajaduras o porosidades detectadas después de la prueba hidráulica y durante el curado. Inmediatamente después se retira el agua contenida en la caja y se deja secar, luego se cubre interna y externamente con pasta de cemento las zonas marcadas. Así, todas las superficies de la caja del FBA quedaron lisas y totalmente impermeables. La apariencia de los nuevos FBA fue considerada importante por las madres del

AA.HH. Los Girasoles y Frutales, por ir estos en lugar visible dentro de sus viviendas (Ver Figura 58(5)). Ellas eligieron el color azul agua. El pintado de los FBA se realizó solo después de que estos pasaron la prueba hidráulica, el curado, los resanes y tener la superficie totalmente seca.

- **Tamizado de grava y arena**

La grava y arena se adquirieron en un depósito de construcción, este material debió tamizarse de acuerdo al procedimiento recomendado por CAWST. Para realizar esta tarea se utilizaron mallas de 1/2", 1/4" y calibre 24 (0.7 mm); las mallas fueron enmarcadas con listones de madera para facilitar el tamizado. Se utilizaron dos lampas, plásticos para depositar el material cernido, baldes con capacidad de 20 litros y 4 litros y una carretilla.

La grava y arena tamizadas se guardaron en costales (sacos) según su tamaño en grupos separados, hasta conseguir para los filtros domésticos FBA: 24 litros de arena fina, 2 litros de gravilla mayor a 0.7 mm, 2 litros de grava menor a 6mm, 2 litros de grava menor a 12 mm y 2 litros de grava mayor a 12 mm, por unidad de filtro (Ver Figura 25).

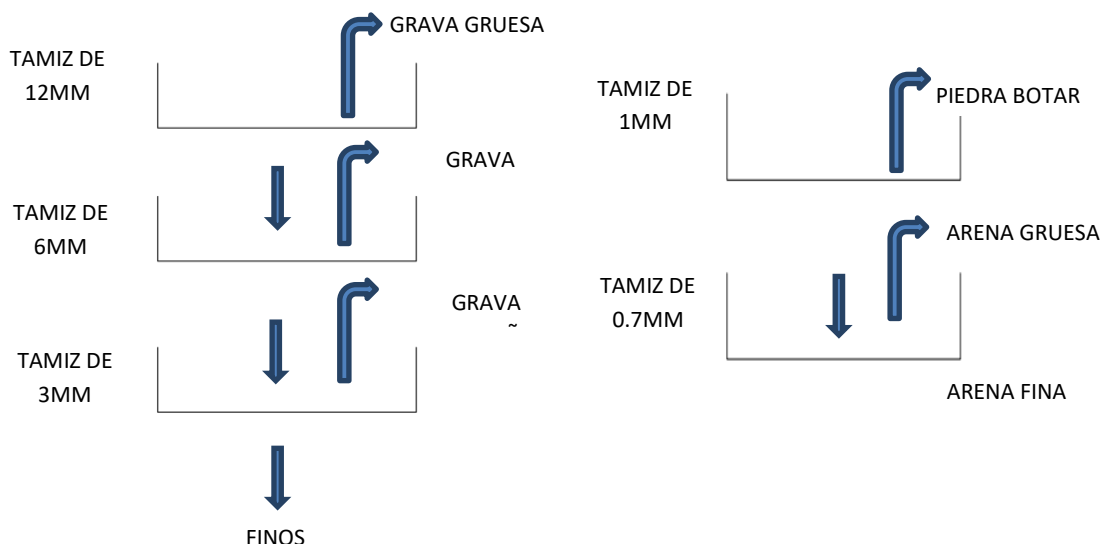


Figura 25: Procedimiento de tamizado para obtención del material filtrante para FBA

FUENTE: CAWST (2012)

El análisis granulométrico del medio filtrante, se realizó en casa mediante el cual se obtuvo la curva granulométrica y valores de coeficiente de uniformidad y módulo de finura. Para este ensayo se analizó la arena obtenida luego de diez lavadas.

Todas las muestras fueron secadas a la intemperie por 24 horas. La curva granulométrica se muestra en el ítem de Anexos

El secado del material lavado (grava y arena) es una actividad importante, cuando la instalación de los medios filtrantes tardará unos días, debido a que, si se envasa el material húmedo, hay riesgo que se desarrollen mohos y bacterias. El secado a la intemperie elimina este riesgo (Ver Figura 26).



Figura 26: Clasificación de medios filtrantes

- Instalación: Se realizó en una brigada de un obrero y consistió en ubicar la caja del FBA en un lugar cercano a la cocina (para su cuidado y un uso rápido), o en su defecto, en un ambiente bajo techo y un suelo nivelado para asegurar su estabilidad. Previamente se verificó que el interior del FBA esté limpio (sin

polvo, escombros o aceite). Se llenó el filtro con agua hasta la mitad de su capacidad, para prevenir la formación de burbujas de aire dentro del material filtrante; se vació en su interior toda la bolsa de grava de mayor de 12mm”; antes, después de vaciar la grava menor de 12mm”, se niveló su superficie de cada capa para mantener un espesor horizontal y homogéneo posterior se instaló la grava de menor a 6mm y posterior la gravilla mayor a 0.7mm. Luego se colocó un balde vacío de litros a la salida del filtro (pico) para recibir el agua que saldría al vaciar la bolsa de arena fina (Ver Figura 27).

La regla niveladora de superficies fue una madera de 1.5 m de largo. El listón tenía marcadas las alturas de cada estrato de material filtrante (CAWST, 2012).

Medio filtrante y grava de separación

Grava de separación y grava de drenaje.

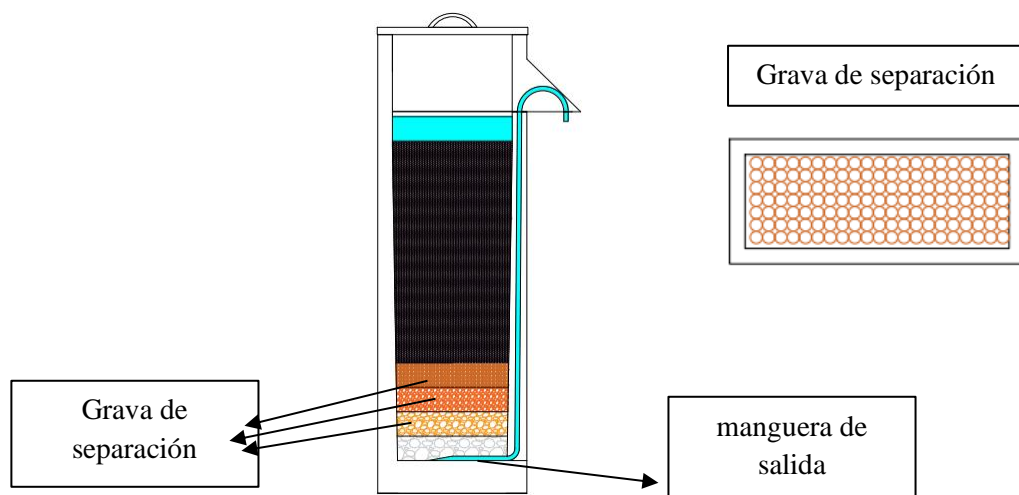


Figura 27: Instalación de las capas de drenaje

La función de las capas de separación es la de evitar la mezcla de los materiales y evitar así la obstrucción del tubo de salida por transferencia de material fino desde la parte alta hacia el fondo del filtro donde está el tubo recolector del agua filtrada.

- **Velocidad de carga hidráulica para el FBA**

FBA

Se analiza el tipo de materiales que se usó para la instalación y el funcionamiento del biofiltro de arena. Con la finalidad de determinar (arena de filtración, grava de drenaje y capa de separación) deben de cumplir con la recomendación del manual, si no se cumple se analizará el reemplazo de los materiales del medio filtrante para su buen funcionamiento en las características establecidas en el manual (CAWST, 2012).

Estas pruebas se realizaron para verificar el caudal de descarga real del FBA (Ver Tabla 19). El flujo adecuado de funcionamiento está relacionado con la eficiencia de depuración microbiológica a través del tiempo de retención del agua dentro del FBA. El caudal de diseño establecido fue de 0.6 litros/ minuto (36 l/hora) (Ver Figura 28). Los materiales utilizados para esta prueba fueron: un recipiente calibrado a capacidad de un litro, un cronómetro y un balde vacío de 20 litros de capacidad. El procedimiento seguido fue:

- Se llenó con agua la capacidad completa del FBA instalado.
- Se puso en cero el cronómetro.
- Se colocó un recipiente calibrado con una capacidad de un litro bajo el conducto de descarga.
- Se tomó el tiempo que demoró en llenar el recipiente.
- Se utilizaron las tablas de conversión mostradas en la Tabla 10.

Tabla 10: Conversión utilizada para cambiar entre litros por minuto y segundos por litro

Lectura (seg/L)	Caudal Q (L/minuto)
60	1.00
70	0.86
80	0.75
90	0.67
100	0.60
105	0.57
110	0.55
115	0.52
120	0.50

FUENTE: Manual del Filtro Bioarena CAWST (2012)

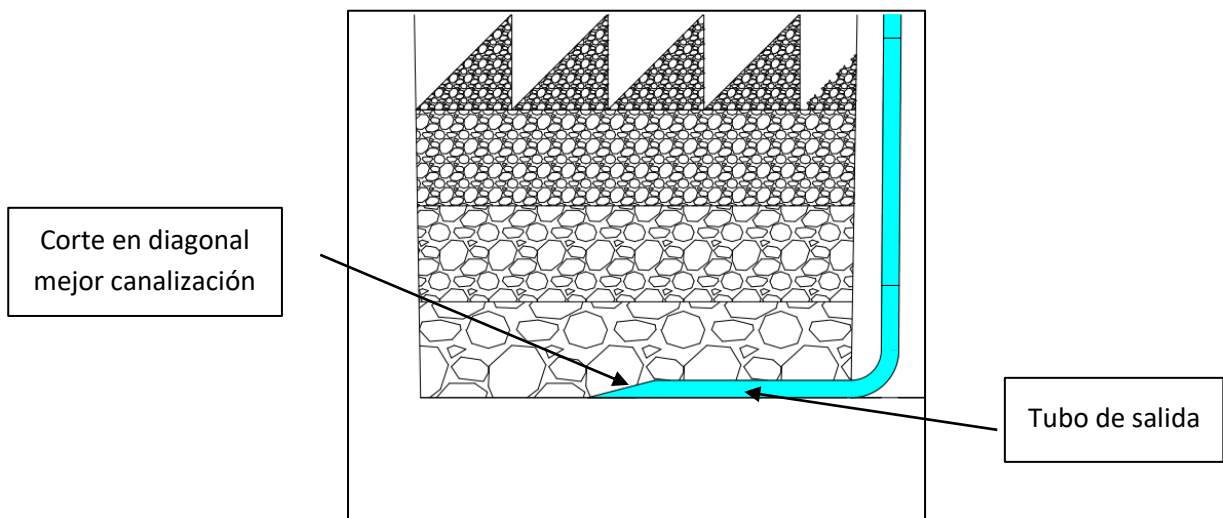


Figura 28: Colocación de la manguera FBA

Filtros lentos de arena intermitente (FLAI)

Para cada comunidad “Los Girasoles” y “Los Frutales” se instaló el FLAI. Fue una actividad que complementó el tratamiento de agua para la comunidad y de suma importancia debido a que mejora la calidad del agua proveniente del canal, para lo cual se realizó un diseño (ver Figura 29), de la superficie donde se instalaron los tanques (Ver Figura 60).

- La selección de los tanques es muy importante para el sistema FLAI, se seleccionó el Rotoplas estos recipientes duraderos. El cual cumpla el espacio entregado por la comunidad y que sean adecuados para el sistema. Tanto el volumen como las dimensiones de los recipientes son importantes para el funcionamiento del sistema y la calidad del agua.
- Lugar de construcción de la superficie donde serán instaladas los tanques siguiendo el plano elaborado según la superficie requerida en la comunidad (Ver Figura 60(2)), se construyeron tres superficies para los Filtros lento de arena intermitente (FLAIs) dentro del centro poblado equidistante al conglomerado de viviendas para la implementación de los filtros lentos de arena intermitentes.

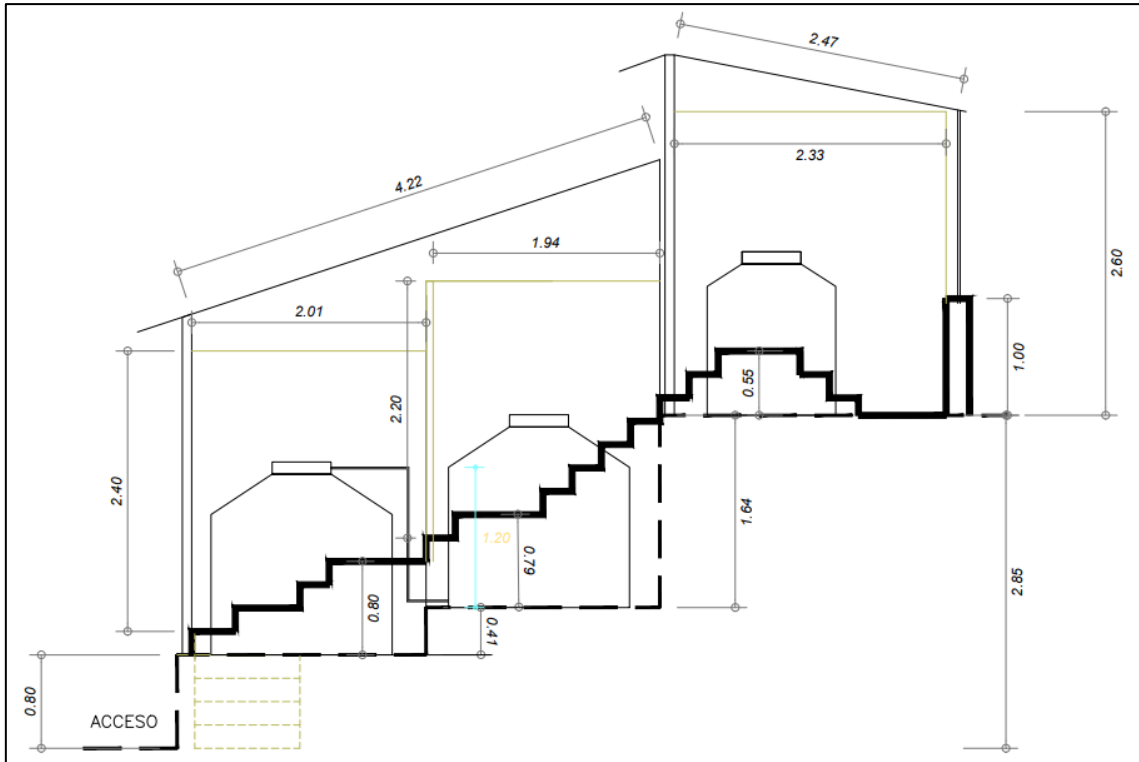


Figura 29: Base de apoyo y losa de concreto del FLAI

FUENTE: Adaptado de CAWST

- La estructura debe de ser de un acceso fácil y seguro. En caso de escaleras de concreto considerar barandas y también en las plataformas elevadas donde se ubica el tanque de recolección donde puedan limpiar de manera segura, a su vez se implementará un cobertizo para la protección de los rayos solares y el clima. Estos pueden ser de madera o estructura metálica que sirvan de un sustento para el techo que puede ser de cualquier otro material madera, calamina etc.

Se colocaron los tanques en la base de apoyo con todo los otros a la altura correcta para que el agua fluya de un sistema a otro mediante la gravedad. La base de apoyo nos ayuda para montar las llaves de agua (Ver Figura 30).



Figura 30: Diagrama del Filtro Lento de Arena Intermitente (FLAI)

- Instalación de tubería se realiza una vez instalado los tanques en su lugar correspondiente (Ver Figura 31), la tubería tanto exteriores como interior del filtro la tubería interior es el medio de drenaje y de mayor diámetro de $1\frac{1}{2}$ y la exterior de $\frac{1}{2}$ (Ver Figura 32).

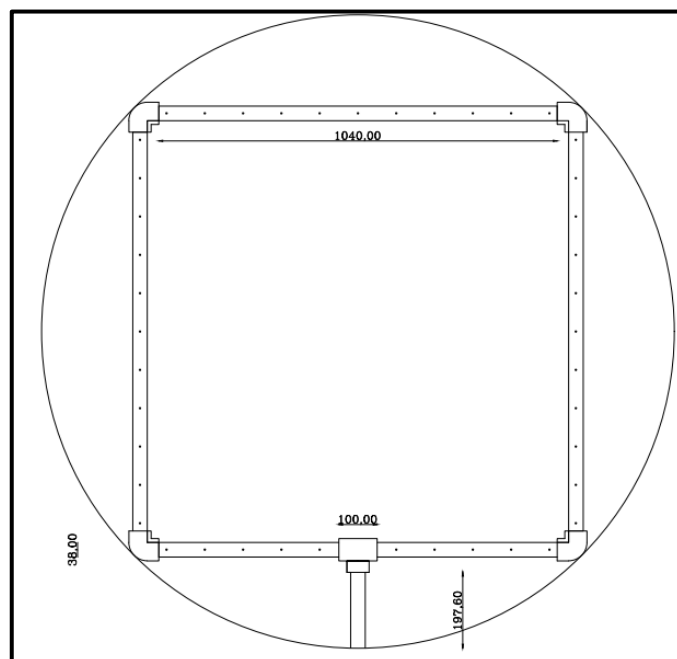


Figura 31: Tubería de drenaje (FLAI)

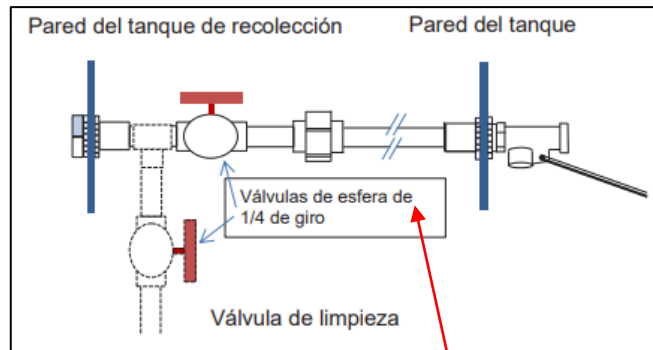


Figura 32: Conexión del tanque recolector y tanque de filtración (FLAI)

FUENTE: Adaptado de CAWST

- Capa de drenaje esta contiene 5 capas: una capa de drenaje de grava gruesa mayor a 12 mm ($> \frac{1}{2}$ ") seguida de una capa de separación de grava mediana de menor a 12 mm ($< \frac{1}{4}$ "), seguida de la capa de grava pequeña de menor a 6mm ($< \frac{1}{4}$ ") seguido por arena gruesa mayor a los 3 mm y por último arena fina de 0.7 mm, Cada una de estas capas tiene 10 cm (4") de grosor. Nótese que, en algunos diseños, se usan profundidades mayores; por ejemplo: en el filtro de San Antonio de Pedregal, se usaron 10 cm de cada capa de gravas y 85 cm de arena fina como medio filtrante.
- Construcción de pileta comunal es una estructura en donde pueda soportar una tubería de agua conectada a la red del tanque de depósito de agua almacenada y filtrada el cual termina en una llave o grifo como se observa en la Figura 33, ubicada en un lugar público, de la cual se obtiene agua para uso doméstico y otros usos, se debe considerar la distancia de acceso a los usuarios, deben ser los más cercas a la población que no ha sido beneficiada con los filtros domiciliarios, la cantidad máxima de consumo es de 62 usuarios ya que la capacidad del tanque de almacén es de 2500 l.



Figura 33: Pileta publica de distribución de agua del filtro lento de arena intermitente (FLAI)

Velocidad de carga hidráulica para el FLAI

En la filtración lenta por arena, la velocidad de flujo máxima permitida está dada por la velocidad de carga hidráulica (VCH) o la velocidad de filtración. La velocidad de carga hidráulica es el volumen aceptable de agua que puede aplicarse por unidad de superficie de arena por unidad de tiempo (Ver Tabla 20).

Cuando se multiplica la velocidad de carga hidráulica (VCH) por la superficie (S) de la parte superior de la capa de arena de filtración, se obtiene la velocidad de flujo (Q). La velocidad de flujo es el volumen medido de agua que fluye por la tubería de salida por hora (o por minuto) (CAWST, 2017).

Ecuación 2: $Q = VCH \times S$

Ecuación 3: $VCH = Q/S$

Q = Velocidad de flujo (litros por hora)

VCH = Velocidad de carga hidráulica (m/hora)

S = Superficie de arena (m²)

$$VCH = \frac{Q}{S}$$

Datos de campo:

Q = 79,1 l/h

Diámetro de tanque 2500 l = 1,55 m

$$VCH = \frac{79,1 \text{ l/h}}{\pi(1,55\text{m})^2}$$

$$VCH = \frac{41,9 \text{ l}}{\text{m}^2\text{h}} \times \frac{1\text{m}^3}{1000\text{l}} = \frac{0,04\text{m}}{\text{h}} < \frac{0,2\text{m}}{\text{h}} \text{ nunca debería superar}$$

El diseño de Camboya usa una velocidad de carga hidráulica meta de 0,12 m/h, que equilibra bien la eficacia de eliminación (calidad) con la necesidad de brindar suficiente agua (CAWST, 2017).

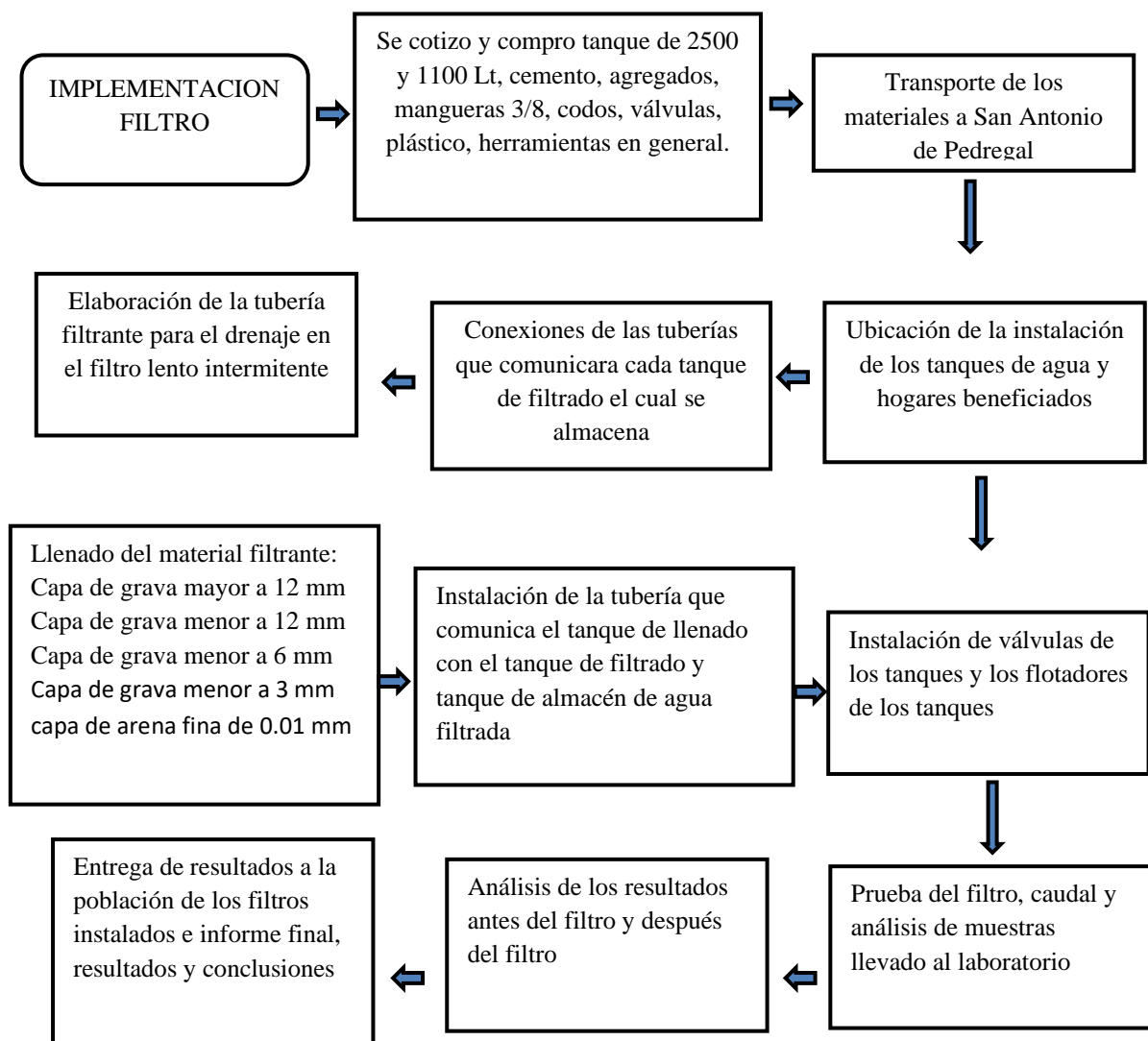


Figura 34: Móldele de implementación del FLAI

c. Monitoreo de la calidad del agua del FBA y FLAI

Conforme a la configuración del sistema de filtrado el criterio de diseño para tubería de salida y obtener un agua apto para el consumo de la comunidad fue evaluar parámetros.

- Carga de operación

Se intentó mantener una carga hidráulica de unos 15 l en la entrada del filtro doméstico durante toda la fase de funcionamiento con el objetivo de evaluar la capacidad del filtro con los mismos parámetros de diseño. Esto se consiguió con una frecuencia de suministro de dos o tres veces al día, con duraciones de filtración de 90 o 120 minutos, dependiendo de la rapidez con que el agua llegara al depósito. El volumen de carga diario fue de 45 l de media.

- Medición de caudal

Este parámetro se calculó utilizando el enfoque volumétrico en las salidas de los filtros colectivos (FLAI) y domésticos (FBA) de la comunidad. Cada filtro se sometió a tres réplicas. La medición se facilitó mediante el uso de una jarra graduada y un cronómetro, esto puede observarse en la Figura 35.



Figura 35: Vista de: (a) Medición de caudal a la salida del filtro FBA, (b) Medición de caudal a la salida del FLAI

El caudal se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V_{\text{recipiente}}}{t} \dots (l s^{-1})$$

Donde:

V recipiente = Volumen del recipiente (l)

T = Tiempo de llenado (s)

- Calendario y frecuencia de la inspección

Durante un mes y medio, se recogieron muestras de caudal una vez a la semana, se inició en julio del 2022 y se concluyó en agosto del 2022, el cual se tomó un promedio del total de caudales obtenidos de cada filtro.

De acuerdo al tiempo y disponibilidad de las personas en su hogar, las pruebas de caudal se realizaron los sábados por la tarde entre el horario de 1:00 pm y 5:00 pm.

- Punto de monitoreo

Se establecieron puntos de seguimiento para evaluar:

- P1: la medición de caudal de los filtros (FBA) y filtro (FLAI) en la comunidad Los Girasoles
- P2: la medición de caudal de los filtros (FBA) y (FLAI) en la comunidad Los Frutales

Estas selecciones de toma de muestra del caudal en ambas comunidades para permitir la representatividad del flujo, la homogeneidad de la muestra y la representatividad.

- Toma de muestra

De acuerdo con el procedimiento de comprobación de la calidad del agua potable, se tomaron muestras de agua de los filtros que sean en horas de la mañana donde las familias aun realizan el primer filtrado del día (Ver Figura 36), así se muestreo en cada hogar seleccionado por la disponibilidad de la familia.

- P1: es la muestra tomada 6 en la comunidad Los Girasoles, el cual se tomó por horas de la mañana, en todos los filtros se recolecto dos muestras, uno en la entrada y otro en la salida del filtro (FBA) haciendo un total de doce muestras recolectadas de los filtros instalados en el hogar, como también se recolecto una muestra en la entrada del filtro FLAI y uno en la salida del filtro (FLAI),

- P2: es la muestra tomada 7 en la comunidad Los Frutales, el cual se tomó horas de la mañana, se realizó 7 antes de suministrar al filtro (FBA) y 7 muestras a la salida del filtro, a su vez se recolecto 1 muestra a la entrada del reservorio de almacenamiento del FLAI y 1 muestra a la salida del filtro comunitario.

- Medición de parámetros de campo

En la Tabla 11 se enumeran las variables que se midieron sobre el terreno y se describen algunos aspectos de la técnica empleada.

Tabla 11: Parámetros medidos en campo

Parámetro	Unidad	Equipo	Volumen de muestra	Tipo de envase	Preservante
pH	-	Medidor portátil de pH/CE/TDS a prueba de agua (gama alta)	100 ml	Plástico	Medido <i>in situ</i>
Temperatura	°C	HI991301 Hanna	100 ml	Plástico	Medido <i>in situ</i>
Conductividad Eléctrica	μS	Medidor portátil de pH/CE/TDS a prueba de agua (gama alta)	100 ml	Plástico	Medido <i>in situ</i>



Figura 36: Medición de parámetros con Medidor HI991301 in situ

- Medición de parámetros de laboratorio

Se utilizo el medidor portátil Hanna HI991301 para examinar la mayoría de los parámetros de control de la Tabla 12, la presencia de Termotolerantes se llevó a La

Molina Calidad Total Laboratorios UNALM (Ver Figura 37).

Tabla 12: Parámetro analizado en laboratorio externo

Parámetro	Unidad	Laboratorio	Método de medición/ensayo
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	La Molina Calidad Total laboratorios UNALM	APHA-AWWA-WEF 23 Rd. Ed. Chapter 9 pág. 68-78 2017 / Microbiológico



Figura 37: Muestra obtenida para análisis Coliformes totales Laboratorio de calidad Total UNALM

d. Encuesta de línea de salida

La encuesta de salida se realizó con la finalidad de obtener datos de conformidad con el funcionamiento y calidad de agua de consumo del filtro domiciliario y comunal, lo que manifestó las familias de la comunidad de “Los Girasoles” y “Los Frutales” están consumiendo agua libre de microorganismos y el semblante de los niños es de estar consumiendo agua purificada.

3.3.4. Evaluación

- **Determinación de la eficiencia de remoción**

La determinación de la eficiencia de los filtros bioarena colocados en los domicilios y los filtros lento de arena intermitente instalados una en cada comunidad “Los

Girasoles” y “Los Frutales”, consistió en calcular el porcentaje de contaminantes eliminados a la entrada y a la salida de cada filtro en función de los resultados de las pruebas.

Para expresar la eficiencia de eliminación de contaminantes en porcentaje se utilizó la siguiente fórmula:

$$E = (C_i - C_f)C_i^{-1} \times 100$$

Donde:

E: eficiencia de remoción de contaminantes (porcentaje)

C_i: Concentración inicial

C_f: Concentración final

- **Monitoreo y evaluación de los filtros instalados**

Para validar los resultados de la implementación de los FBA y FLAI en “San Antonio de pedregal” se realizó un proceso de monitoreo y evaluación que se inició después de haber culminado la fase de instalación. Para esto se eligieron cuatro indicadores para medir el buen funcionamiento de los FBA y el impacto en las familias. El primer indicador consistió en evaluar la operación y el mantenimiento de los FBA por parte de los usuarios, el segundo consistió en detectar la cantidad de coliformes termotolerantes en las aguas de los FBA, el tercero consistió en conocer la opinión de los usuarios mediante encuestas, y el cuarto en el análisis de costos de la implementación.

- **Evaluación de la operación y mantenimiento de los FBA en vivienda de cada usuario y FLAI de cada AA.HH.**

Para evaluar la operación y mantenimiento de los FBA por las familias fue necesario cerciorarse que los FBA se encontrasen correctamente instalados y operativos como se observa en la (Figura 38), esto se logró con una primera visita a las viviendas. Se eligió como indicador de operación y mantenimiento el comportamiento constante en el tiempo del caudal de descarga de los FBA basándose en pruebas hidráulicas que se realizaron en nueve mediciones en los filtros en cada vivienda.

La primera visita: control de instalación.

Se verificó que:

- El filtro se encuentre nivelado y estable
- La tapa de madera bien colocada y limpia
- El difusor bien colocado sobre sus ranuras con los orificios libres de obstrucciones
- El nivel del agua se mantenga 5 cm por encima del nivel de la arena
- No existan fugas de agua a través de las paredes
- La manguera de conducción de agua sobresalga 5 cm con relación a la nariz del filtro



Figura 38: Medición de Caudal del filtro domiciliario (FBA) y filtro intermitente (FLAI)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Situación ambiental en la comunidad San Antonio de Pedregal II³

La encuesta de entrada tomada a los pobladores permitió identificar los principales problemas con el medio ambiente, siendo los principales la quema de basura, el no tener un lugar de acopio para residuos sólidos, y la contaminación del río Rímac y Santa Eulalia (aguas arriba) donde se arroja residuos y aguas grises que finalmente van a las fuentes de agua que ellos consumen). Entonces, este hallazgo muestra una evidencia de que en la comunidad existen fuentes de contaminación.

La población encuestada de un total de 30 personas 15 en cada comunidad “Los Girasoles” y “Los Frutales” afirma que el 43% hace sus necesidades en silo, por lo que el 50% de las familias sus necesidades las realizan alejada de sus viviendas, en ocasiones los silos están construidas en las riberas del cauce de un río, y que finalmente deriva en problemas de contaminación en relación a la emisión de malos olores y la aparición de roedores, que, en última instancia, afecten a las personas de la comunidad. Esto genera problemas sociales, puesto que siempre hay quejas y conflictos por las plagas que invaden viviendas y en ocasiones los depósitos de agua. En ese sentido, en la Figura 39 se aprecia información donde las familias realizan sus necesidades fisiológicas.

³ Cabe señalar que la información estadística se sistematizó y desarrolló en la hoja de cálculo de Excel.

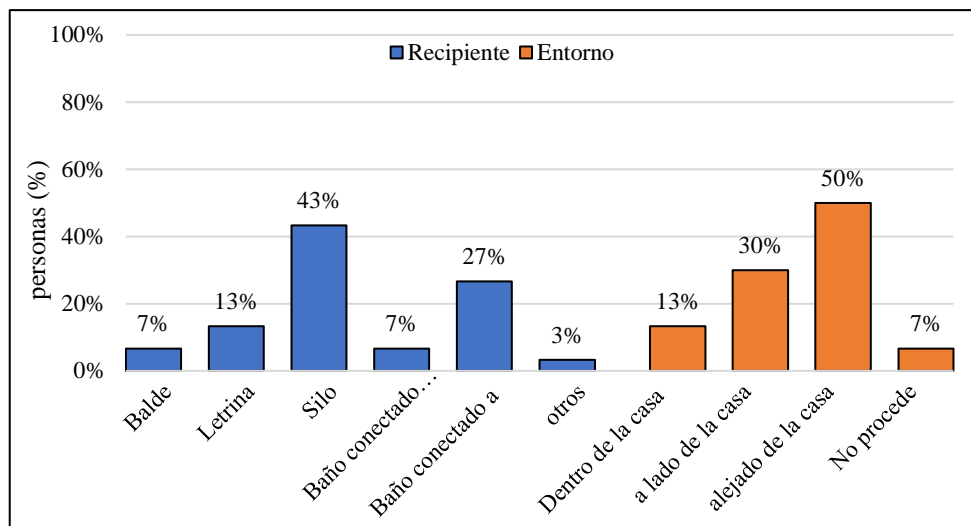


Figura 39: Porcentaje de familias que indican el lugar donde realizan sus necesidades fisiológicas

La información recaudada sobre la calidad del agua del lugar de estudio mediante la encuesta, los habitantes afirman que el 60% del agua que están consumiendo no es de buena calidad sino regular y un 27% afirma la calidad de agua que consume es mala no apto y solo el 13% afirma consumir agua buena, en la Figura 40 se muestran las respuestas referidas a la declaración sobre la calidad del agua) debido a la percepción, sabor y olor del agua, lo cual lo califican como muy buena, buena, regular, mala y muy mala. Uno de los factores en tener contaminación en las aguas manifestadas por las familias es que el 77% es provenientes de los relaves mineros sufridos constantemente, la contaminación por residuos de basura es el 57% manifestada por las familias, el 20% manifiesta que la contaminación es por aguas residuales, en la Figura 41 se manifiesta , sobre fuentes contaminantes del agua en la zona de estudio, por lo cual toman otras medidas de tratamiento y cuidado de sus aguas protegiéndolo en recipientes sellados antes de poder darle su uso, a su vez la población manifiesta que el problema de los contaminantes del agua producto de los coliformes termotolerantes da como producto que se enfermen del estómago por tal manifiestan lo siguiente:

- 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 el cual está expuesto a todo tipo de contaminantes.
- Hay problemas estomacales en los niños.

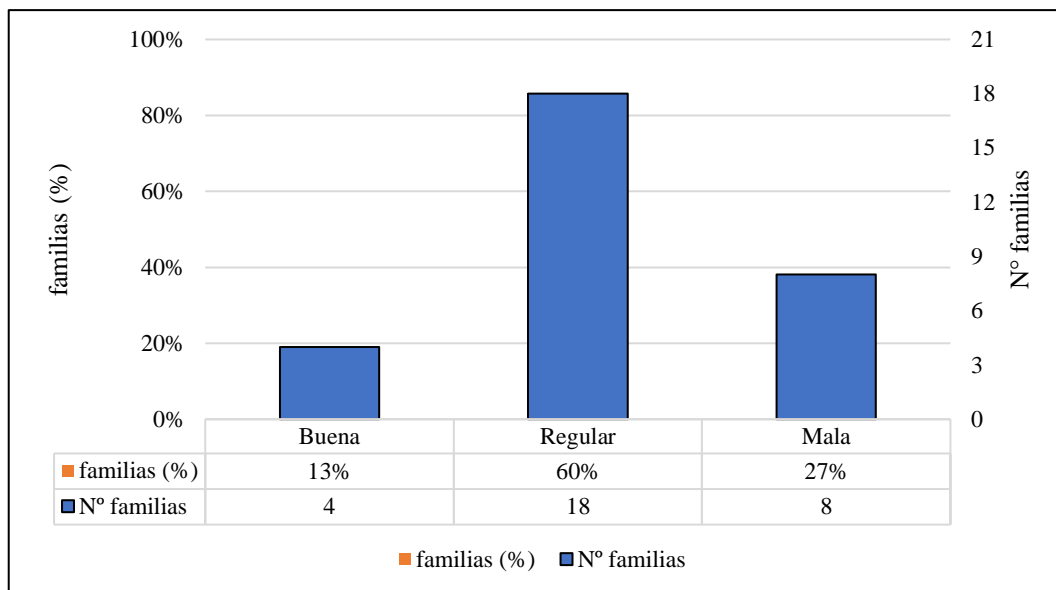


Figura 40: Porcentaje de pobladores en percepción de la calidad del agua y fuentes de contaminación en la zona de estudio

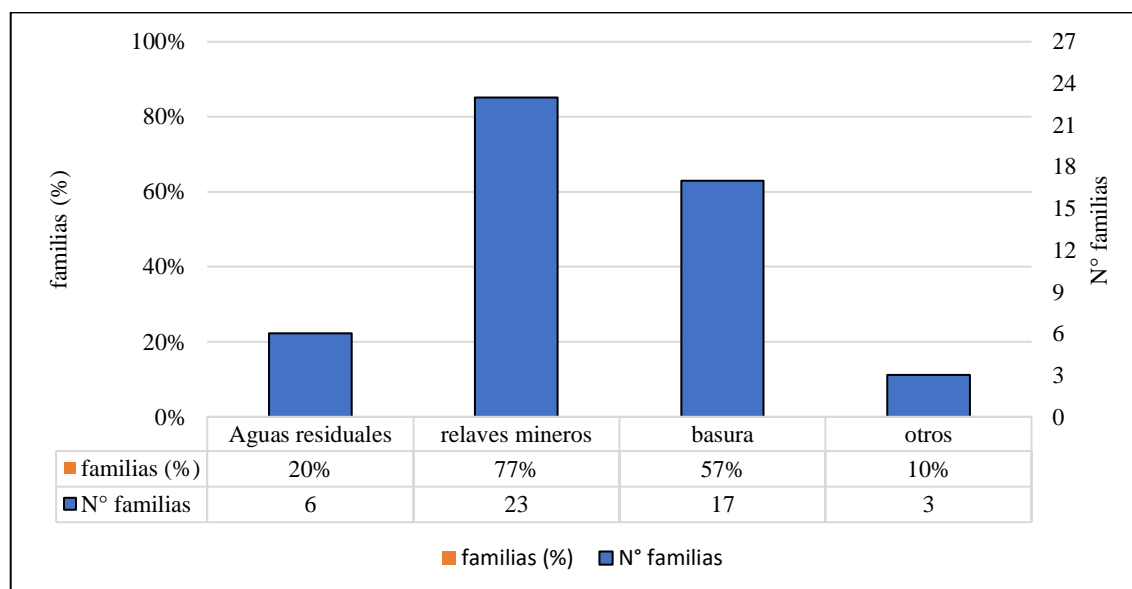


Figura 41: Porcentaje de familias manifiestan la fuente de contaminación en la zona de estudio

Las familias encuestadas manifiestan en cuanto a los servicios básicos, el 47% de las familias cuentan con luz, el 33% de la familia cuenta con desagüe, y otros tipos de servicios que facilitan el desarrollo de los niños, en cuanto al aseo de lavado de manos en su mayoría que es el 97% de las familias responden que el lavado de las manos siempre es antes de cocinar, antes de comer, antes de alimentar a los niños, después de ir al baño y solo el 13% manifiesta que se lava las manos después de cambiar los pañales de los niños.

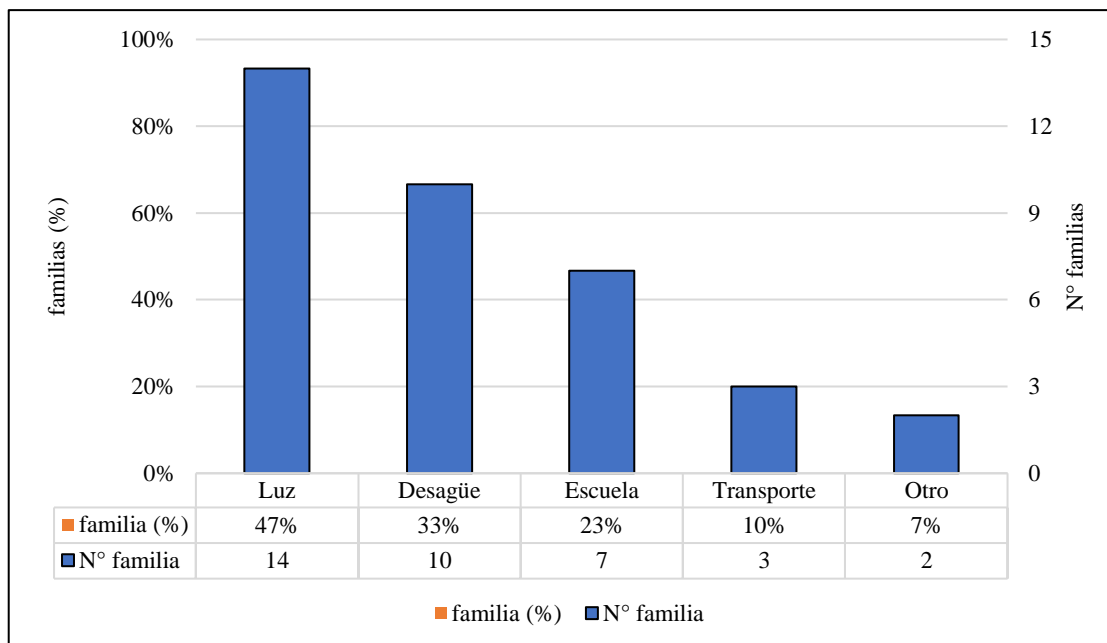


Figura 42: Porcentaje de personas que cuentan con servicios básicos

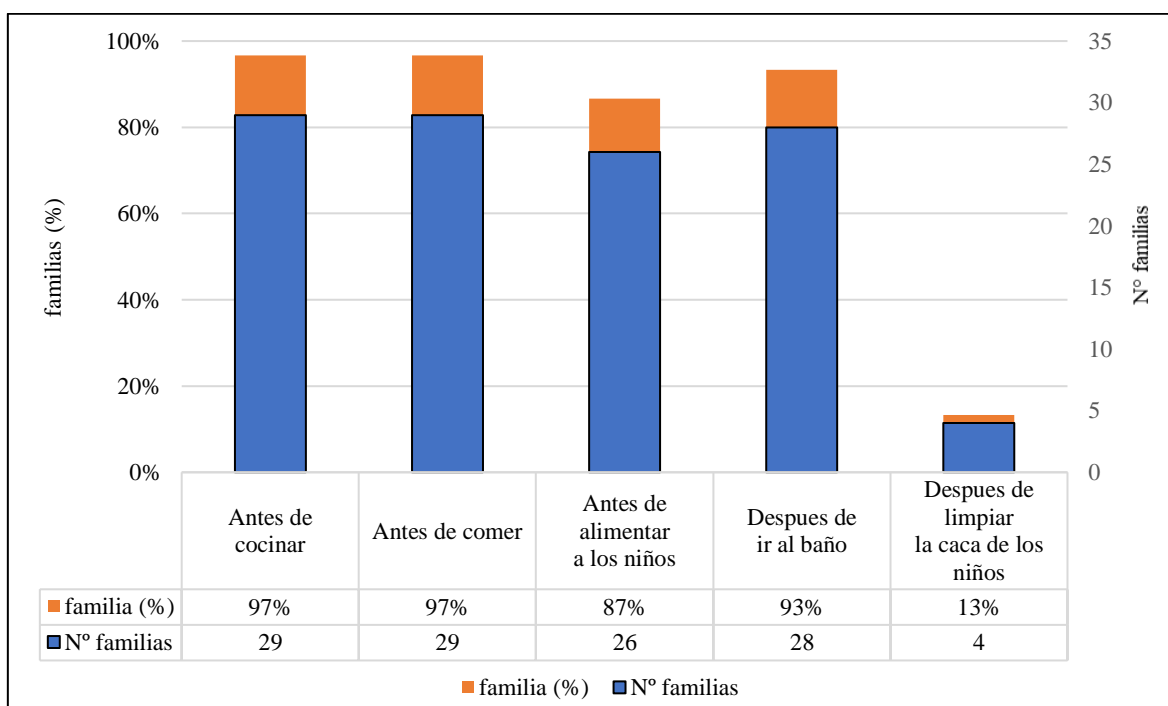


Figura 43: Porcentaje de personas que realizan sus aseos luego de una labor

En la Figura 44(a) las familias encuestadas manifiestan que el 93% su consumo de agua es del canal proveniente del desvío de la toma de la hidroeléctrica Moyopampa, una minoría del 3% asegura comprar agua embotellada o en ocasiones comprar del camión cisterna, en la Figura 44(b) se manifiesta en cuanto al agua que consumen del canal, el 97% de las familias prefiere hervir el agua como fuente de eliminar microorganismos del agua, el 20%

manifiesta que en tiempos que el agua llega con gran cantidad de sedimentos prefieren hacer reposar el agua en un recipiente por unos 10 a 15 minutos, el 17% toma el tratamiento de eliminar patógenos mediante la incorporación de cloro.

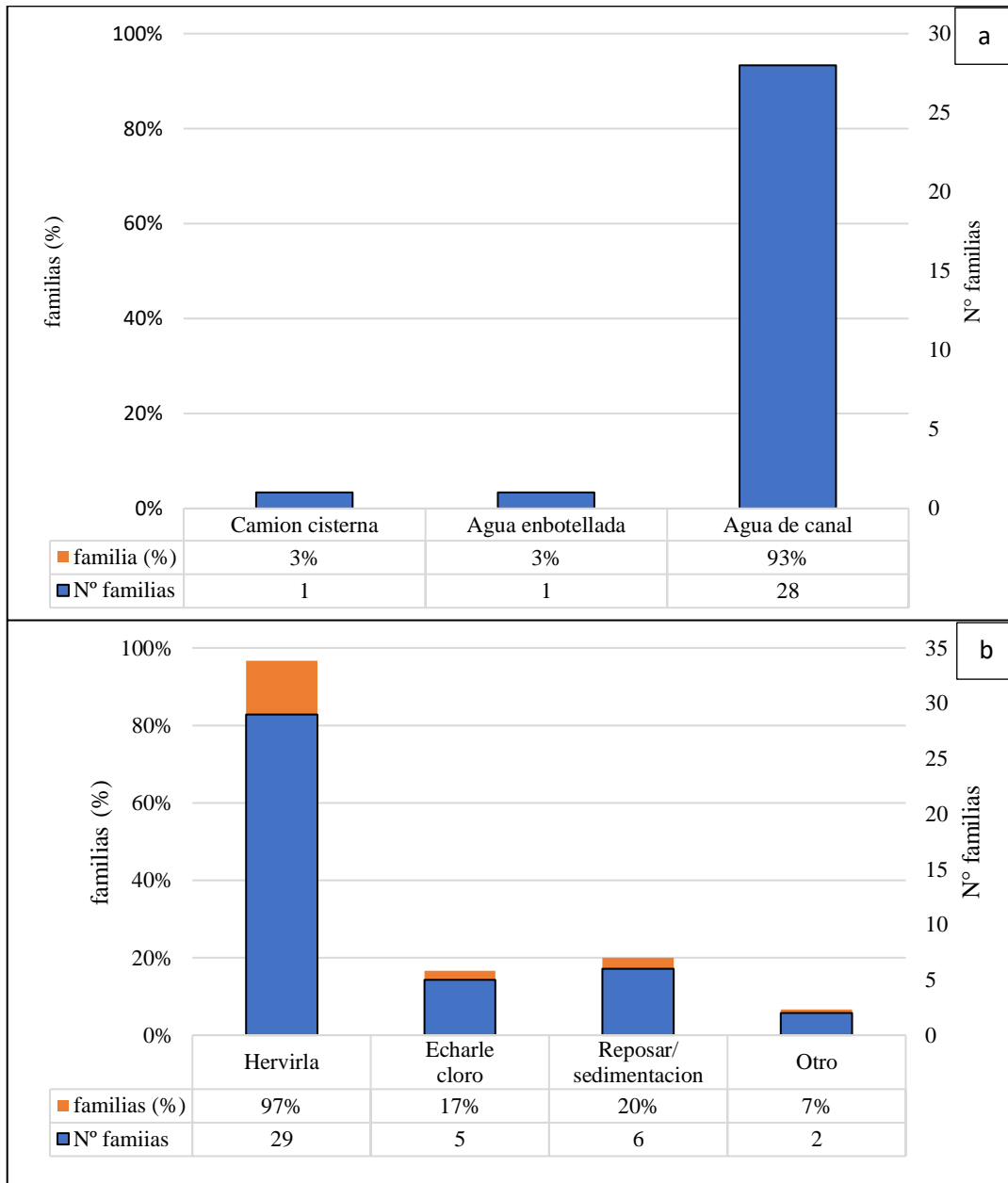


Figura 44: (a) Porcentaje de familias de los medios que adquiere el agua, (b) porcentaje de familias que eliminan microorganismos del agua

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

Los datos de agua de la Tabla 13, muestran los resultados del análisis de agua tomadas en la zona de estudio. Cabe precisar que un primer resultado corresponde a la etapa anterior al suministro del agua al FBA. Así, se observa que el 46.15% de los beneficiarios tienen un tratamiento previo antes de suministrar el agua dentro del reservorio del filtro por lo cual no se encontraron deposiciones, a su vez que el 53.85% de la población está consumiendo agua no apta dentro de lo establecido en el reglamento de calidad del agua para el consumo humano D.S. 091-SA-2010, aprobado el año 2010 por el ministerio de salud (Ver Tabla 15), como parte de la ley general de salud (Ley N°26842). Por lo cual se manifiesta en los niños los problemas estomacales.

Tabla 13: Datos de Análisis de agua antes de suministrar al filtro bioarena (FBA)

N°	producto	N. Coliformes Termotolerantes (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 15 filtros en total de la población de “Los Girasoles” y “Los Frutales”, el cual los resultados de la muestra de agua llevado al laboratorio de calidad total nos indica que el agua no presenta coliformes termotolerantes (Ver Tabla 14), por lo tanto, es apto para consumo el 100% de los filtros han removido los coliformes termotolerantes lo cual no lleva a concluir con la encuesta realizada a la población en la que nos indica que ya no se enferman del estómago.

Tabla 14: Datos de análisis de agua después de suministrar al filtro bioarena (FBA)

Nº	Producto	N. Coliformes termotolerantes (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 45(a) se puede observar mediante barras que la muestra recolectada y analizada en el laboratorio de calidad total certificada arrojó un resultado de que el agua antes de suministrar al filtro es que es 53.3% del agua contiene coliformes termotolerantes, a su vez el resultado en la salida del filtro el agua es que el 100% de las muestras tiene <1,8 NMP/100 ml el cual es cero y no presenta coliformes termotolerantes por lo tanto esta apta para consumo de las personas. En la Figura 45(b) se puede observar que el FLAI en la entrada del agua antes de entrar al filtro contiene coliforme 2 NMP/100 mL y en la salida luego del filtrado es cero de coliformes termotolerantes.

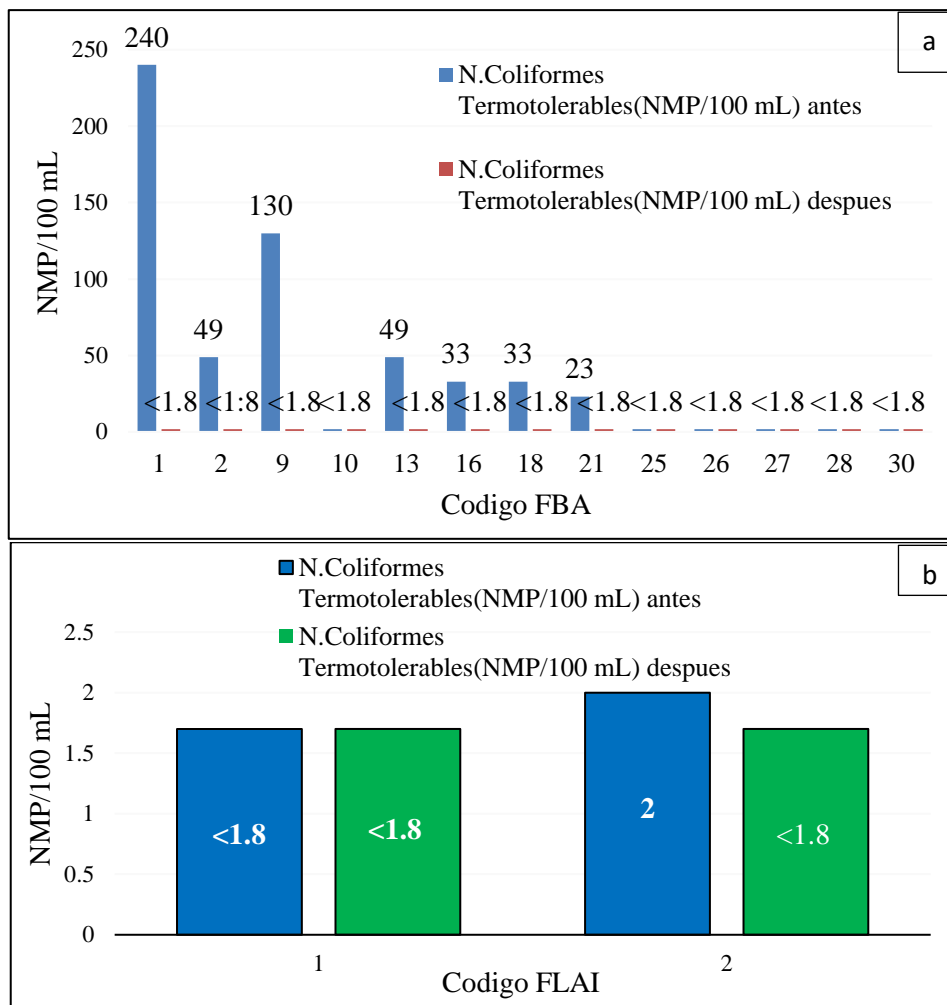


Figura 45: Variación de coliformes termotolerantes FBA(a), FLAI(b)

En la recolección de muestras también se analizó el pH un parámetro en el cual mediante la Figura 46(a) del FBA y Figura (b) del FLAI podemos identificar que antes de suministrar el agua al filtro el pH es similar en todas las pruebas, pero al ver el resultado en la salida observamos que hay una fluctuación de 7.38 hasta 11.78 por lo cual esto es debió a la presencia de carbonatos en el suelo utilizado para estas pruebas de los filtros, lo cual hace que el agua sea más básico por la disociación de sus componentes, aumentando el pH. En la Figura 46(b) el FLAI no muestra tanto esta variación esto debido que están en constante movimiento y el agua se mantiene a una temperatura de ambiente el cual no se llega a disociar sus elementos del agua por el incremento de la temperatura y es menos su pH.

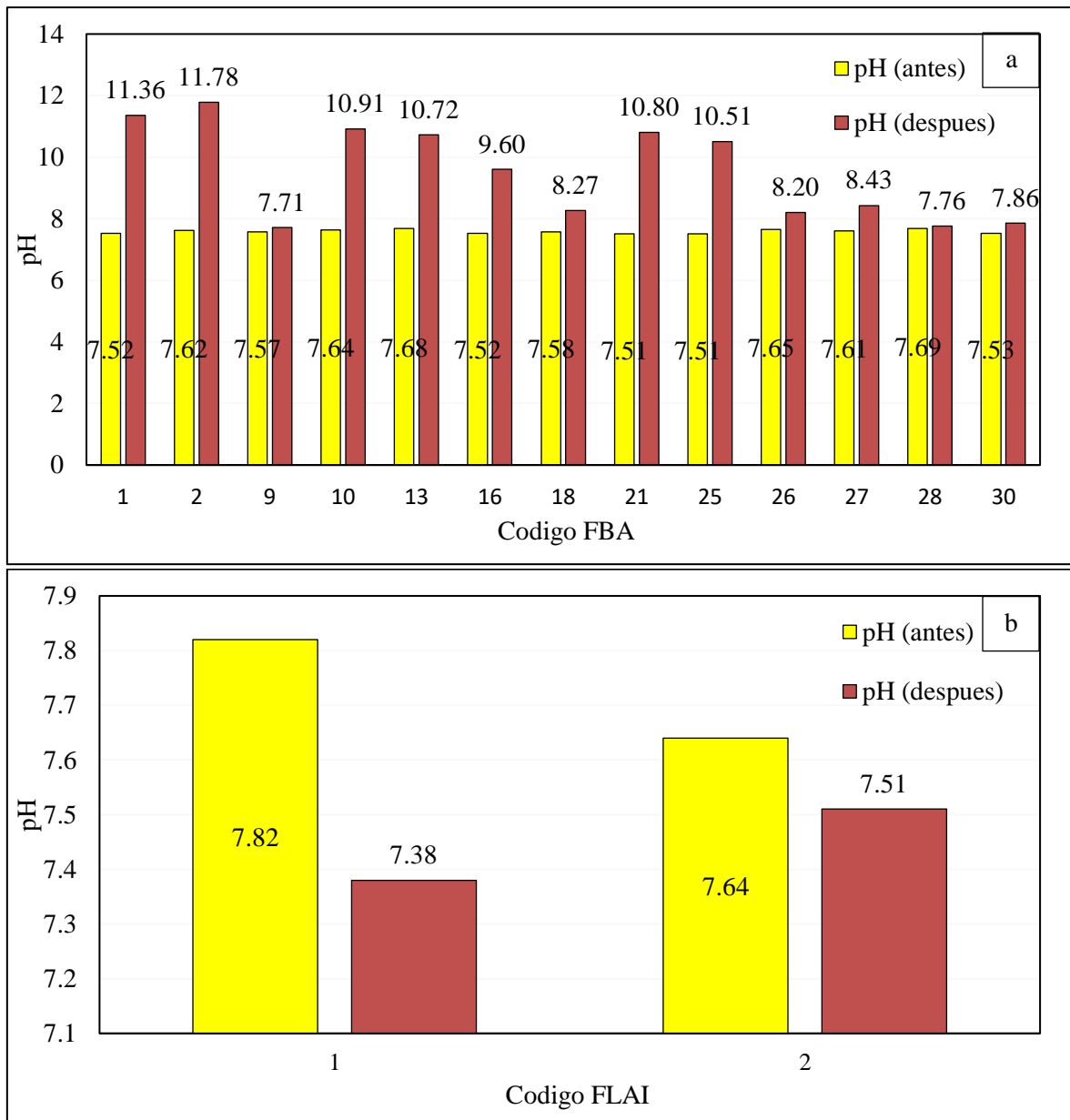


Figura 46: Variación de pH FBA(a), FLAI(b)

En la Figura 47(a) y 47(b) podemos observar que hay un incremento de la concentración eléctrica debido al incremento de la disociación de los elementos del agua debido al incremento de la temperatura esto sucede tanto en el FBA y el FLAI, pero en este último es mínimo la variación, para obtener la variación de los parámetros con respecto a la variación de conductividad eléctrica (mS/cm) en la muestra de agua antes y después del filtrado.

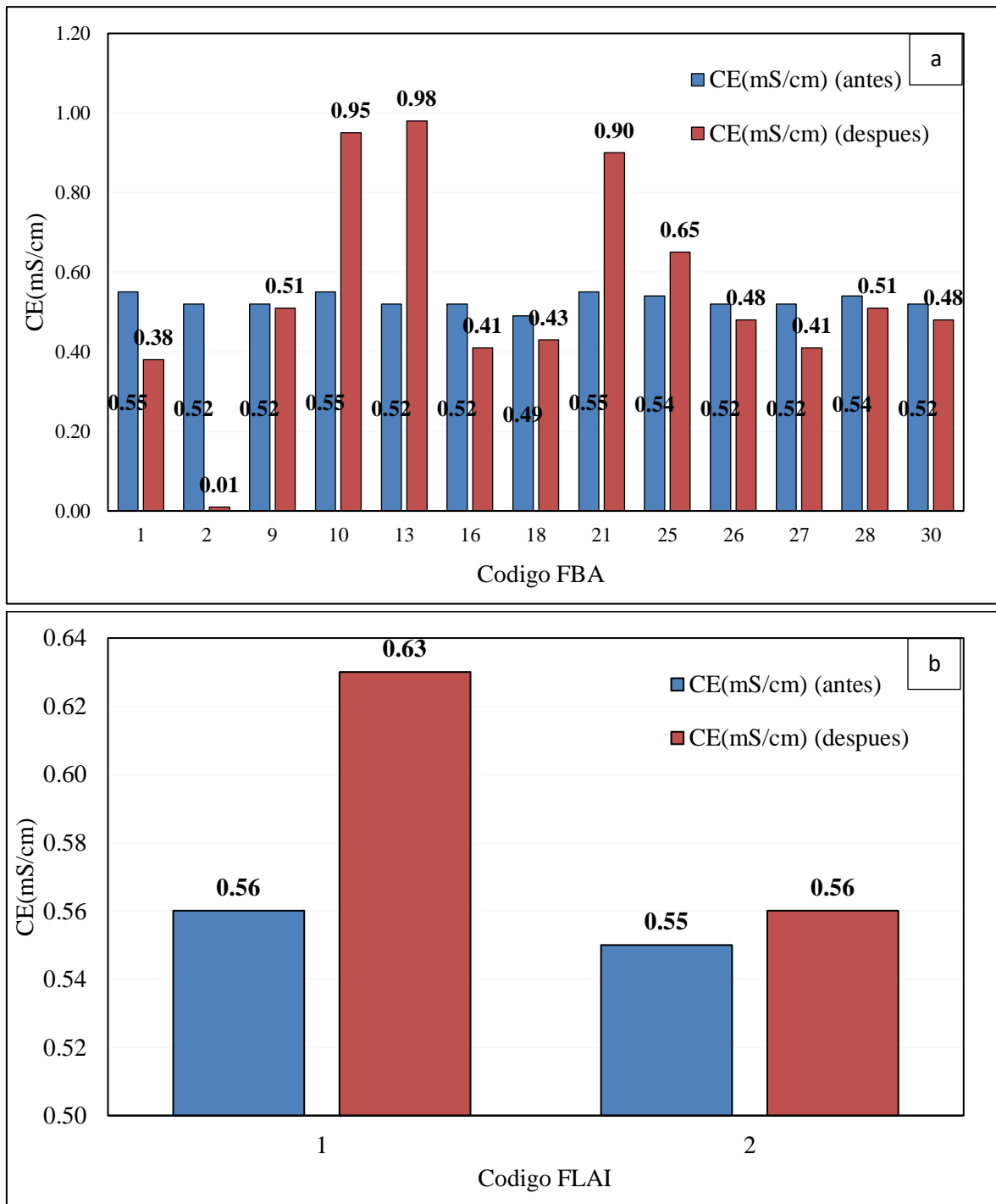


Figura 47: Variación de la CE (mS/cm) FBA(a), FLAI(b)

En la Figura 48(a) datos del FBA se observa que la concentración de sólido disueltos totales en el agua después del filtrado hay un ligero incremento en sales inorgánicas así se muestra en cinco filtros por lo que nos lleva a ver que hay sustancias de sales en mayor concentración por el reposo o menos uso del filtro, esto puede afectar al hervir el agua se forme “sarro”, las sustancias disueltas no amenazan la salud, pero pueden incitar a los consumidores a dejar

de beber o usar el agua a pesar que sea segura el agua de entrada está en el rango de 0-300 mg/l agua de excelente calidad el cual son 8 filtros, y las otras cinco muestras de salida están en el rango de 300-600 agua de nivel bueno. La Figura 48(b) nos muestra que los sólidos disueltos en el FLAI el incremento es mínimo por lo cual es un agua de rango de 0-300 mg/L agua de excelente calidad.

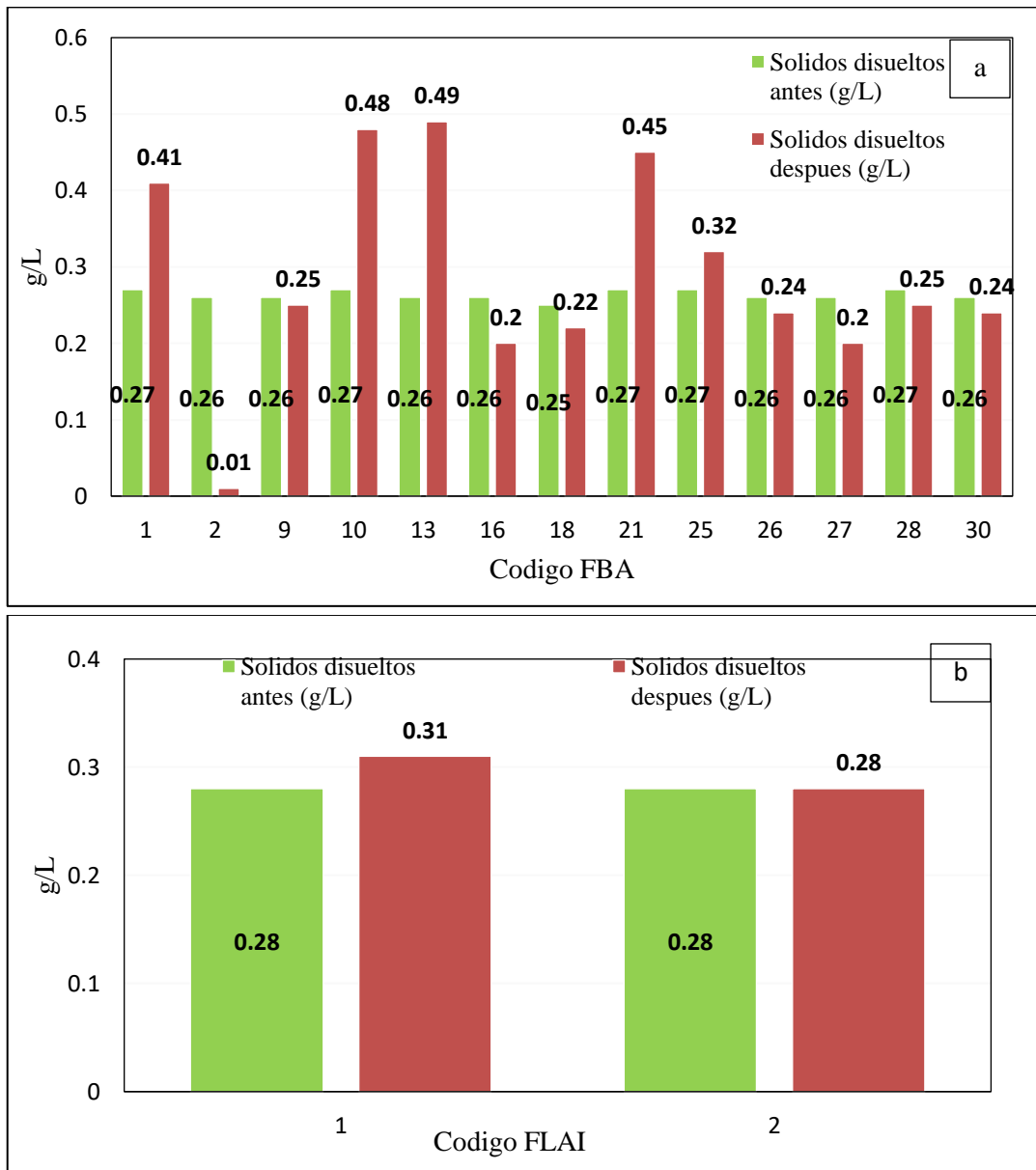


Figura 48: Variación de sólidos disueltos (g/L) FBA(a), FLAI(b)

En la Figura 49(a) y 49(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 (ver los datos en las tablas 12 y 13).

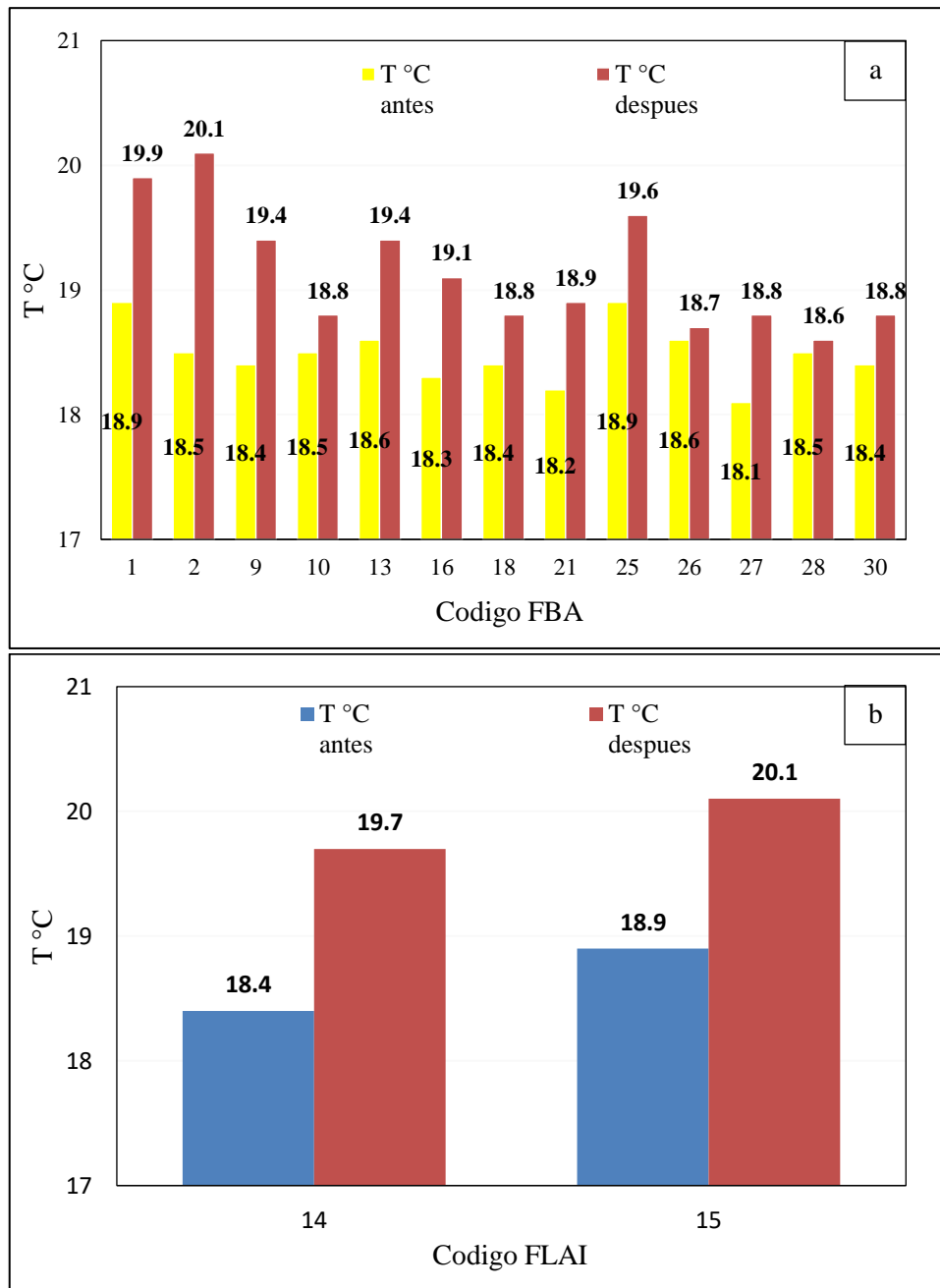


Figura 49: Variación de la T °C FBA(a), FLAI(b)

4.3. 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 al del canal que consumen actualmente (Ver Tabla 21). 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 le daba diarrea, antes cada tres veces al día iban al baño ahora no, se siente mejor sin diarrea, tienen estomago sano, los niños toman agua de frente y no les hace daño, han mejorado mis alimentos...”.

4.3.1. 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 (Ver Anexo 8). Los resultados promedio de los 9 FBA en cada comunidad evaluados a lo largo de seis meses se presentan en la Figura 50(a).

Tomando como base de los datos de la Tabla 19. Se elaboró el siguiente gráfico, donde se observa un valor que oscilan entre 25.2 l/h a uno mayor 42.6 l/h. El valor esperado era de 36 l/hora en el FBA ver Anexo 10; 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 9 días se presentan en la Tabla 20 y Figura 50(b).

A pesar que los valores del caudal que no llega a lo esperado 94,8 l/h y estos son menor notablemente del esperado, la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes de los FLAI alcanzo el 100% resultando eficiente (Ver Tabla 20).

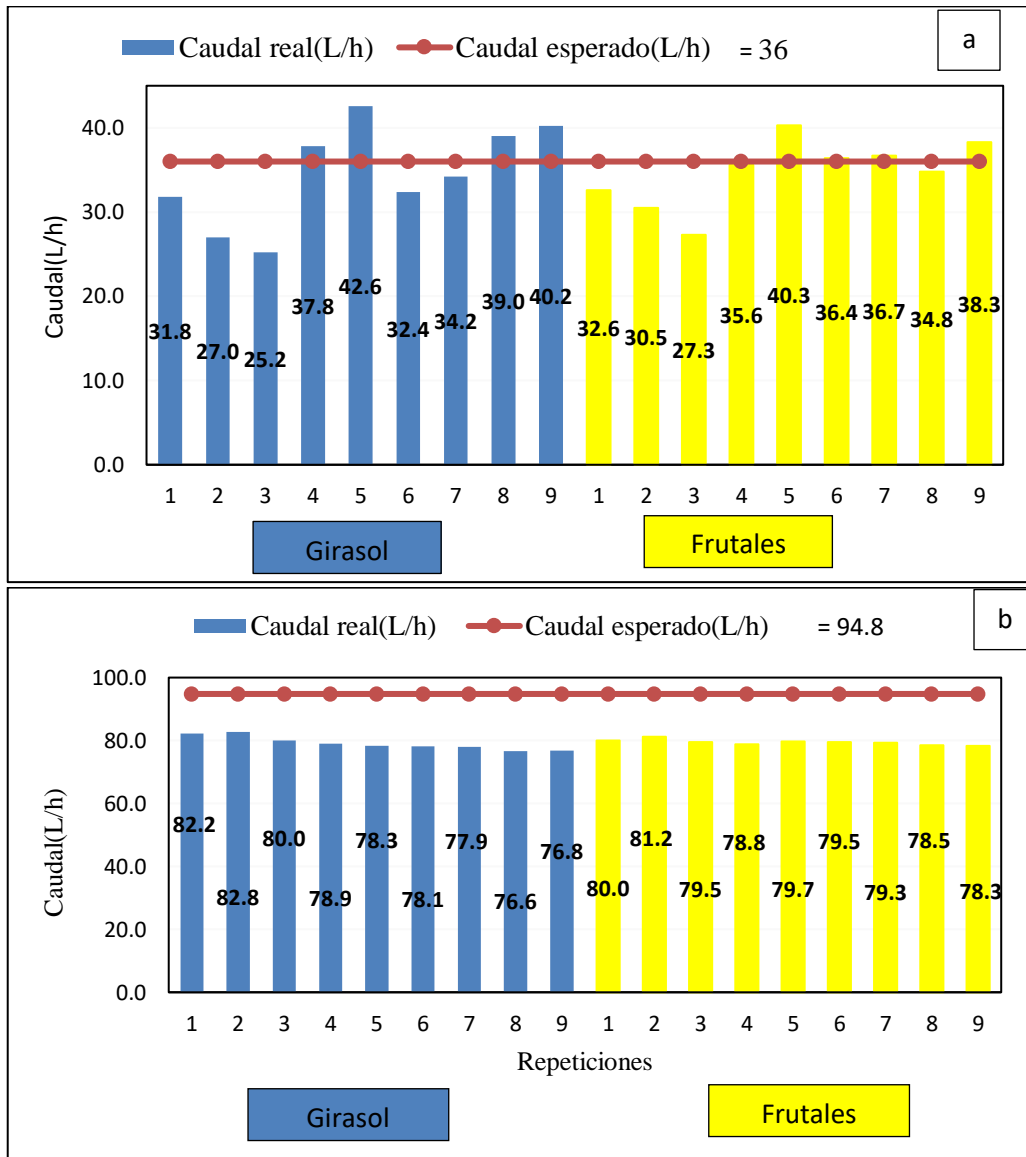


Figura 50: Caudal promedio del FBA(a), FLAI(b)

Con los datos de la Tabla 21 observamos que el resultado en la eficiencia de remoción para coliformes termotolerantes es un 99.9 por ciento 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 51 Como los microbios quedaron atrapados en los poros del filtro, se eliminaron los coliformes termotolerantes, lo que dio como resultado un agua limpia que cumple las limitaciones de la norma MINSA/DIGESA.

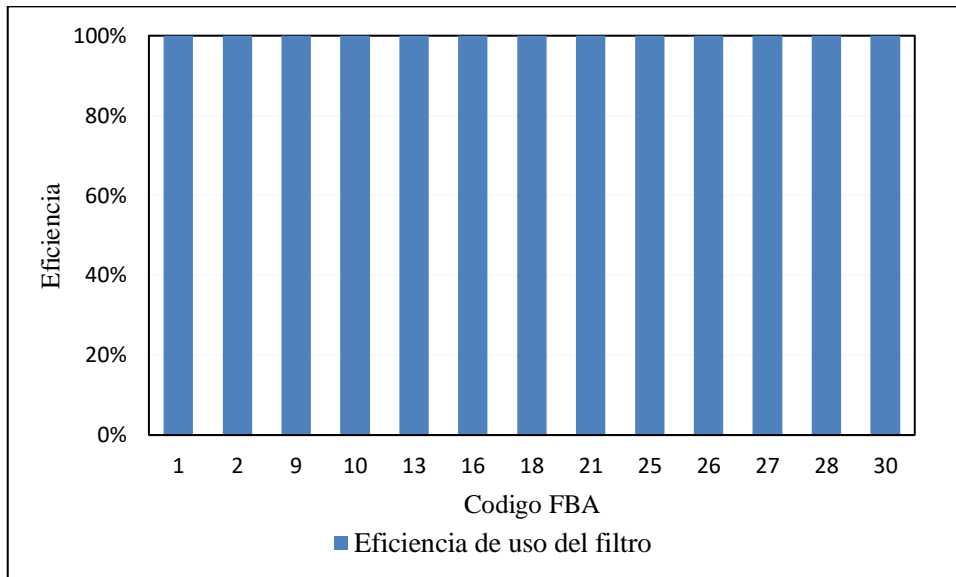


Figura 51: Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro bioarena (FBA)

Analizando la eficiencia del filtro lento de arena intermitente (FLAI) para este parámetro fue de 100% con los datos de la Tabla 22, 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 (Ver Figura 52). La presencia de coliformes termotolerantes antes del suministro de agua se debía principalmente a que la materia orgánica o las heces de perro, pollo u otros contaminaban el agua del canal. Las bacterias quedaban atrapadas en los poros del filtro, lo que provocaba su eliminación (Lerma, 2012; van Halem, 2006).

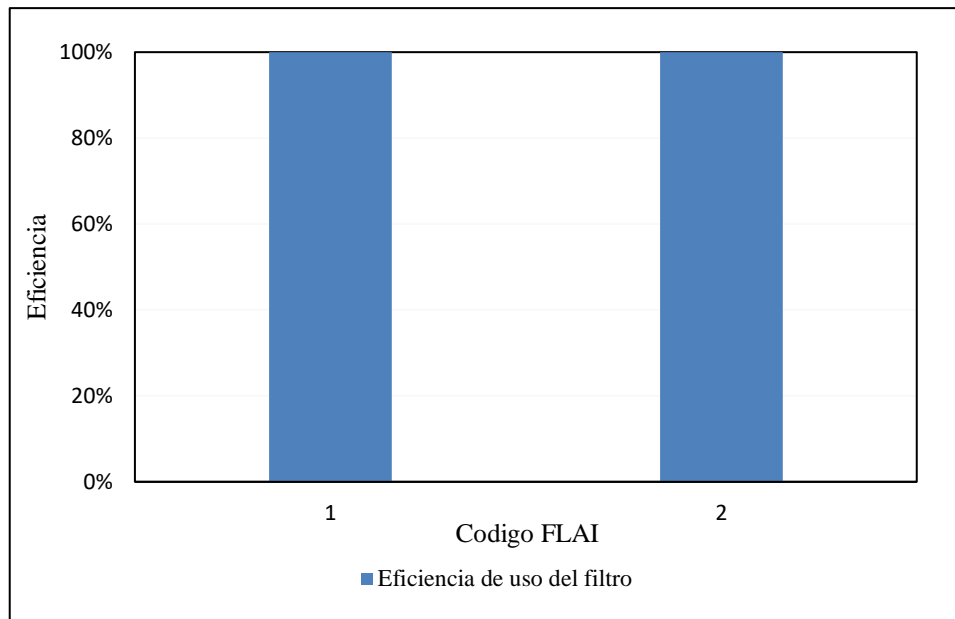


Figura 52: Porcentaje de eficiencia en coliformes termotolerantes en el filtro lento de arena intermitente (FLAI)

4.4. Discusión de resultados

- Estos problemas de escasez de agua, provocados por el crecimiento de la población en sus periferias, los conflictos entre usuarios y los deficientes servicios de saneamiento, surgen en las regiones con mayor actividad industrial o agrícola (Baeza, 2018).

En la tesis “Evaluación de la calidad de aguas superficiales en la cuenca del rio Rímac mediante análisis multivariado para el periodo 2011-2018” de Alderete (2022), menciona la calidad del agua del río principal de la cuenca del Rímac está siendo impactada negativamente por la descarga de desechos domésticos e industriales, operaciones mineras, agricultura, ganadería, desechos de la construcción y vertederos municipales en las riberas del río. Una encuesta realizada en las dos comunidades de “Los Girasoles” y “Los Frutales” reveló el problema del consumo de agua con materia orgánica y residuos de sedimentos durante la temporada de lluvias.

- En la tesis “Uso de astillas de madera de mezquite (prosopis) en un sistema de biofiltros para tratar aguas residuales municipales” de Sosa (2015), menciona que durante los primeros 60 días de operación, notaron una mínima disminución en la concentración (menor a una unidad logarítmica), pero a partir del día 63 notaron que

su disminución era de forma exponencial, logrando en el final de su etapa (día 77 de operación) una remoción equivalente a dos unidades logarítmicas en los biofiltros con esto no se logró con la normatividad, los resultados obtenidos en el análisis del agua usando arena fina de un tamaño de 1 mm, se obtuvo a los 15 días de instalado el filtro una mejora en tanto calidad, apariencia y sabor del agua, pasado los 30 días lo cual es lo que nos recomienda el manual de (CAWST, 2011), pasado esos 30 días la capa biológica generada por el constante uso del filtro, para su funcionamiento e eliminación de microorganismos que contiene el agua, el muestreo se tomó pasado 90 días el cual nos arrojó, que el 99.9% de los filtros están cumpliendo su función de eliminar coliformes fecales y así cumpliendo el estándar de calidad para el agua el cual es apto para el consumo humano.

- En la tesis “Construcción y evaluación de un filtro bioarena piloto para mejorar la calidad de agua para consumo humano en la localidad de Huariquiña, distrito de Matucana-Provincia Huarochirí” de Cachay (2013) en cuanto a los coliformes totales, en sus pruebas entregadas por el laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C. se observó que no hubo reducción de coliformes Totales. En nuestro resultado de análisis de agua para coliformes fecales entregada por el laboratorio de Calidad total de la UNALM, el agua antes de suministrar al filtro, nos indica que el 53.85% de las muestras contienen Coliformes fecales y en la salida del filtro ya no se manifestaron presencia de dicho contaminante.
- En la tesis de Sosa (2015), en cuanto al pH, entre 4.5 y 5.6 esto debido posiblemente a la presencia de ácidos carboxílicos y fenólicos extraídos de la madera por el lavado del material durante la etapa, en la tesis de Cachay (2013) el pH tuvo una pequeña variación de 7.57 y 7.47 utilizando el cuarzo como medio de filtración, nuestro análisis de pH en el biofiltro de arena in situ, utilizando arena fina de 1mm, nos arrojó un aumento de pH de 7.71 y 11.78 en la salida del agua, este incremento es debido a la presencia de carbonatos en la arena el cual por el lavado o paso del agua por la gradiente erosiona así manifestando un incremento en la concentración.
- En cuanto a la eficiencia del biofiltro usando material de madera como medio de purificación en la tesis de Sosa (2015) nos indica para coliformes fecales se mantuvo

por debajo del límite máximo permisible menores a 1000, la remoción obtenida para coliformes fecales fue suficiente del sistema pudieran cumplir con los LMP de la USEPA (2012) en Arizona, Nuevo México, Australia, España y Grecia para su uso en riego de cultivo no alimentarios. En la tesis de (Cachay, 2013) para la eficiencia del biofiltro no hubo reducción de coliformes Totales, según los resultados obtenidos por Environmental Testing Laboratory S.A.C. en cuanto a nuestro análisis y resultados emitido por el laboratorio de calidad de la UNALM, que los filtros bioarena son 99.9% eficientes en remoción de coliformes fecales.

V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo al trabajo de campo, se puede señalar que el agua para consumo humano en la comunidad San Antonio de Pedregal II está expuesta a contaminación de materia orgánica por ausencia de depósitos para la basura, alcantarillado y silos expuestos a que los roedores se manifiesten en la comunidad, lo que ocasiona malestares estomacales en la población que bebe dicha agua.
2. Del análisis de la calidad de agua, se obtiene una concentración de coliformes termotolerantes de 240 NMP/100 ml, pH de 7.69, CE de 0.55 mS/cm, sólidos disueltos de 0.27 mg/L y una temperatura de 18.9 °C. Esto evidencia que el 53 % de las muestras están contaminadas, lo que, finalmente, indica que el agua no es apta para el consumo humano, según el reglamento del D.S. 091-SA-2010,
3. La eficiencia de los filtros domésticos (FBA) y comunitario (FLAI), respecto de la eliminación de coliformes termotolerantes, es de un 99.9 %, por lo que se puede afirmar que la calidad del agua para consumo humano ha mejorado sustancialmente, puesto que el indicador pertinente arroja <1,8 NMP/100 mL, equivalente a cero. Este resultado es común en ambos filtros. Asimismo, la medición de caudales de los filtros bioarena (FBA) está en el rango de 27 – 40 l/h, mientras que el caudal de 36 l/h es el estándar recomendado. Por tanto, con este rango de caudal, se puede tener un flujo aceptable para que los coliformes no pasen los medios filtrantes y sean eliminados en la capa de arena. En el caso del filtro lento de arena intermitente (FLAI), el caudal resultó menor a 94,8 l/h, debido al diámetro de 1/2” de la tubería, siendo lo recomendable un diámetro de 3/4”.

4. De acuerdo a lo anterior, se puede concluir, en base al recojo de información primaria realizado en la comunidad San Antonio de Pedregal II, que el uso de ambos tipos de filtro, conllevan a una mejora en la salud de la población, en la medida en que se reducen los malestares estomacales. Por tanto, se puede señalar que la eficiencia de ambos tipos de filtro ha sido comprobada *in situ*.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar periódicamente un diagnóstico continuo de la superficie de la arena, sobre todo en las estaciones en donde el agua llega con mucho sedimento, ya que de estas depende el buen funcionamiento del filtro FBA y FLAI, así evitar las obstrucciones por acumulación de partículas.
2. Continuar estudiando el comportamiento y composición de la capa fina (arena), ya que esta información complementara los resultados del incremento del pH por la posible presencia de carbonatos en la arena, debido a que las arenas utilizadas en diferentes departamentos contienen composiciones distintas.
3. Sistematizar los datos sobre el rendimiento del filtro en Perú para ofrecer sustitutos duraderos para la filtración del agua a escala nacional.
4. Si es conveniente la instalación de los filtros, esto debido a que el costo de fabricación es poco menos de 200 soles, el cual con un mantenimiento adecuado el tiempo de vida es de 10 a 20 años.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar Hernandez, D. (2009). *Diseño Montaje del Laboratorio de Filtro lento de Arena para agua potable*.
- Alderete, M.B. (2022). Evaluación de la calidad de aguas superficiales en la cuenca del río Rímac mediante análisis multivariado para el periodo 2011-2018 (tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- ANA. (2017). *Riesgos Climáticos en el Perú – Lima. Ministerio de Agricultura y Riego*. ANA.
<http://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2016/PueblosAndinosEcologia/files/ana.pdf?fbclid=IwAR2M8ORHSP-CJMmbKDrSFC2j1aNOjWo7aujVj7-fTbiFIMKy6Hq7V2hUmYA>
- AQUAFONDO. (2016). Estudio de Riesgos Hidricos y Vulnerabilidad del Sector Privado en Lima Metropolitana y Callao en un Contexto de Cambio Climatico.
https://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2016/11/estudio_riesgos_hidricos.pdf
- ASTM C 136-01. (2001). Standard Test Method Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *ASTM International*.
- Baeza Gómez, E. (27 de marzo de 2018). Sequía y Escasez Hídrica: conceptos relacionados, situación actual y experiencia comparada en varios países para. Asesoría Técnica Parlamentaria, pág. 10.
- Barrios, C., Agüero, R., Torres, R. & Lampoglia, T. (2009). Guia de Orientacion en Saneamiento Basico para alcaldias de municipios rurales y pequeñas comunidades.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BARRIOS%20et%20al%202009%20Guia%20de%20orientacion%20alcaldes.pdf
- Ben Amar, R., Ellouze, E., Gupta, B. & Ayadi, M. (2001). Microfiltration efficiency in the treatment of wastewater from leather industry. *Revue des Sciences de l'Eau*, 14, 445-464. <https://10.7202/705427ar>
- Bowles, J. (2018). *Análisis del tamaño de las partículas de los suelos (ASTM D 422-03)*.
<http://www.lem.uni.edu.pe/cecfic/archivos/Clasificacion%20de%20suelos%20-%20MAD.pdf>

- Brinovcar, C., Crumb, J., Taylor, K., Clarke, P. & Habash, M. (2022). Assessing Trends of Physical and Chemical Parameters During Elevated Cyanobacteria Growth Periods in a Drinking Water Reservoir in Ontario, Canada (2011–2016). *Water, Air, and Soil Pollution*, 233. <https://10.1007/s11270-022-05728-0>
- Cachay, K. (2013). Construcción y evaluación de un filtro bioarena piloto para mejorar la calidad de agua para consumo humano en la localidad de Huariquiña, distrito de Matucana-Provincia Huarochirí (tesis de grado). Universidad César Vallejo. 110 p.
- CAWST. (2012). *Manual de construcción del filtro de bioarena*. Canadá.
- CAWST. (2017). *Manual técnico: Filtro de arena lento intermitente (FALI)*. Canada. www.resources.cawst.org
- Chavéz de Allain, A. (2012). *Origen y efectos de la contaminación*. Piura, Perú.
- Clunes, J., Dorner, J., Bravo, A., Jara, R. & Zuñiga, F. (2022). DID WE UNDERESTIMATE SILT AND CLAY CONTENT IN THE TEXTURAL ANALYSIS? *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 38, 94-103. <https://10.29393/CHJAAS38-9DWJF50009>
- 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. <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. <https://doi.org/10.1590/1980-549720200086>
- Fernández Surribas, B. (2010). H2O Elixir de la vida. Argentina. Obtenido de <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>
- Gabriels, D. & Lobo, D. (2006). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. 14. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/982
- Harkness, 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. <https://10.1016/j.scitotenv.2022.154782>
- Haya, L. & Bajos, P. (1978). Haya, L., & Bajos, P. (1978). *Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua de la OMS*. <https://www.ircwash.org/sites/default/files/255.1-78FI-18897.pdf>
- Hussain, A., Priyadarshi, M., Qureshi, F., & Ahmed, S. (2023). Risk Assessment on Human

- Health With Effect of Heavy Metals. *Applied Water Science Volume 1: Fundamentals and Applications*, 401- 419. <https://10.1002/9781119725237.ch15>
- Iwashita, M., Otsuka, Y. & Katoh, M. (2022). Predicting the particle size distribution of fine-grained and sandy soils using deep learning for classifying recovered soils separated from tsunami deposits. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24, 1304-1316. <https://10.1007/s10163-022-01404-x>
- Jing, P., Sheng, J., Hu, T., Mahmoud, A., Guo, L., Liu, Y. & Wu, Y. (2022). Spatiotemporal evolution of sustainable utilization of water resources in the Yangtze River Economic Belt based on an integrated water ecological footprint model. *Journal of Cleaner Production*, 358. <https://10.1016/j.jclepro.2022.132035>
- Jing, Z., Lu, Z., Mao, T., Cao, W., Wang, W., Ke, Y., Sun, W. (2021). Microbial composition and diversity of drinking water: A full scale spatial-temporal investigation of a city in northern China. *Science of the Total Environment*, 776. <https://10.1016/j.scitotenv.2021.145986>
- Job, C. (2022). A Review of Low-Impact Development Factors Affecting Managed Aquifer Recharge. *Groundwater*. <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. <https://10.4324/9780429303807-8>
- Khaustov, V., Tyupin, V. & Agarkov, N. (2020). Drain water of tyrnyauz deposit during and after operation. *Gornyi Zhurnal*, 2020, 100-104. <https://10.17580/gzh.2020.10.12>
- Landrigan, F., Stegeman, J., Fleming Lora, E., Aleman, D., Anderson, D., Backer, L., Demeneix, B. (2020). Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health*, 86, 1-64. <https://10.5334/aogh.2831>
- Lerma, D. (2012). *Filtros ceramicos, una alternativa de agua segura*. Universidad Tecnologica de pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4f716ba2-540c-4341-bf43-7e9b4e6a8c9c/content>
- Li, D., Zhao, Q., Zhang, S., Wu, F., Yu, X., Xiong, Z., . . . Xing, B. (2019). Filtration-based water treatment system embedded with black phosphorus for NIR-triggered disinfection. *Environmental Science: Nano*, 6, 2977 - 2985. <https://10.1039/c9en00774a>
- Loyola, R. y Soncco, C. (2007). Salud y calidad de agua en zonas urbano-marginales. *Management*, 15, 111- 127.

- McHiouer, F., Boughrous, 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. <https://doi.org/10.12912/27197050/147450>
- Mendoza, M. (1996). *Impacto del uso de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca río Sábalos, cuenca del río San Juan, Nicaragua*.
- MINSA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- MVCS. (2014). Resolución Ministerial N°336-2014. Recuperado de <https://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/documentos/saneamiento/RM-336-2014-VIVIENDA.pdf>
- Mukhamedzhanov, M., Rakhimov, T. & Rakhmetov, I. (2020). Drinking groundwater of western Kazakhstan and the problems of their pollution. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020-August*, 473 - 479. <https://10.5593/sgem2020/1.1/s02.059>
- 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. <https://10.1016/j.jwpe.2022.103077>
- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano, cuarta. ed.* Suiza.
- ONU. (2019). *UN-Water Policy Brief on Climate Change and Water (September 2019 version) - World*. Relief Web. <https://reliefweb.int/report/world/un-water-policy-brief-climate-change-and-water-september-2019-version>
- Ortiz Montano, O.J. (2007). Análisis Geográfico sobre la calidad del agua de los pozos que utilizan biofiltros al sur de Ahuachapan, departamento de Ahuachapan, El Salvador. 19-20.
- Palmgren, T., Fajt, J., Danilov, A. & Burnett, D. (2013). Aireación y microfiltración para la remoción de sólidos de aguas producidas del esquisto barnett. *Society of Petroleum Engineers - SPE Americas E and P Health, Safety, Security, and Environmental Conference 2013*, 570-573. <https://978-162748141-0>

- Pegram, G. (2016). Global water scarcity: risks and challenges for business. Center for Sustainable Business.
- Povilaítis, A., Rudzianskaite, A., Miseviciene, S., Gasiunas, V., Misekkaite, O. & Zivatkauskiene, I. (2018). Efficiency of drainage practices for improving water quality in Lithuania. *Transactions of the ASABE*, 61, 179-196. <https://10.13031/trans.12271>
- PREDES. (2000). *Estudio de Riesgo y Propuesta de Prevención de la Quebrada El Pedregal*. Centro de Estudios y Prevención y Desastres, Lima. <https://www.predes.org.pe/wpcontent/uploads/2019/11/Estudio-de-riesgo-de-la-quebrada-Pedregal-ChosicaPREDES.pdf>
- PREDES. (2017). *Quienes somos*. Obtenido de <https://www.predes.org.pe/institucional/>
- Racar, M., Dolar, D., Karadakić, K., Čavarović, N., Glumac, N., Ašperger, D. & Košutić, K. (2020). Challenges of municipal wastewater reclamation for irrigation by MBR and NF/RO: Physico-chemical and microbiological parameters, and emerging contaminants. *Science of the Total Environment*, 722. <https://10.1016/j.scitotenv.2020.137959>
- Rivas, M. y Garcia, W. (2017). *Evaluación de la filtración lenta de arena para la potabilización del agua en el corregimiento de San Jose´ de Playón*. Cartagena.
- Romero, M. (2008). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf
- Salazar-Ceballos, A. y Alvarez-Miño, L. (2020). Public Health and Sustainable Development: training future generations in a developing country. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588. <https://10.1088/1755-1315/588/3/032021>
- Sánchez, N. (s.f.). Granulometría de suelos. <https://civilgeeks.com/2013/11/25/granulometria-suelos-ing-nestor-luis-sanchez>.
- SEDAPAL. (2014). *Plan Maestro de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, junio 2014, Gerencia de desarrollo e investigación, Gerencia de desarrollo e investigación SEDAPAL*.
- Sierra Ramírez, C.A. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la U.
- Sileshi, R., Pitt, R. & Clark, S. (2010). Enhanced biofilter treatment of urban stormwater by optimizing the hydraulic residence time in the media. *Watershed Management Conference 2010: Innovations in Watershed Management under Land Use and*

- Climate Change - Proceedings of the 2010 Watershed Management Conference*, 394, 587-597. [https://10.1061/41148\(389\)54](https://10.1061/41148(389)54)
- Sosa, D. (2015). Uso de astillas de madera de mezquite (prosopis) en un sistema de biofiltros para tratar aguas residuales municipales (tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Durango, México. 90 p.
- Sun, L., Zhao, H., Zhong, H., Xia, D. & Nevsky, A. (2019). Study on electrokinetic parameters of composite coagulants-flocculants. *ChemChemTech*, 62, 46-56. <https://10.6060/ivkkt.20196211.6012>
- Sun, M., Winter, L., Qin, M. & Luo, J. (2022). Valuable resources in water: Why and how to recover? *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15. <https://10.1016/j.rcradv.2022.200089>
- SUNASS. (2020). Memoria 2020: Agua potable y saneamiento. Más esenciales que nunca. Recuperado de <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/08/MEMORIA-2020-FINAL.pdf>
- 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. <https://10.1016/j.scitotenv.2022.154012>
- Toirac, J. (2012). Caracterización Granulométrica de las Plantas Productoras de arena en la Republica Dominicana, su impacto en la calidad y costo del Hormigon. *ciencia y sociedad*, 3, 293-334. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024622003.pdf>
- Torres Puentes, A. (2017). *Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstico*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/13975/u754548.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres Parra, C.A., y Villanueva Perdomo, S. (2014). El filtro de arena lento: Manual de armado, instalación y monitoreo. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- UNESCO. (2019). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304?locale=en>
- UNICEF. (2015). Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene. *informe de actualización de 2017 e indicadores de referencia de los ODS*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260291/97892435128>
- USEPA. (2012). Manual-Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R-12/618.US Agency for

- International Development. Washington, DC.
- van Halem, D. (2006). *Filtros de olla impregnados de plata cerámica para agua potable doméstica tratamiento en los países en desarrollo*. Universidad Tecnológica de Delft.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HALEM%202006%20Ceramic%20Silver%20Impregnated%20Pot%20Filters%20for%20Household%20Drinking%20Water%20Treatment%20in%20Developing%20Countries.pdf
- Vázquez Salgado, L., Olveira, 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. <https://10.1111/jfd.13514>
- Vu, H., Merkel, B. & Wiche, O. (2022). Major ions, trace elements and evidence of groundwater contamination in Hanoi, Vietnam. *Environmental Earth Sciences*, 81. <https://10.1007/s12665-022-10402-z>
- WWAP. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*.
- Yang, K., LeJeune, J., Alsdorf, D., Lu, B., Shum, C.K., Liang, S. (2012). Global distribution of outbreaks of water-associated infectious diseases. *PLoS Negl Trop Dis*. 6(2):e1483.
- Zatoń, K., & Błaszak, M. (2015). The microbiological and sanitary state of sand in the municipal bathing beach in Szczecin. *Journal of Ecological Engineering*, 16, 40 - 45. <https://10.12911/22998993/60452>
- Zhang, G.-X., Lv, T.-H., Zhou, D., Zheng, S.-W., Yao, M.-D., Yu, C.-G., & Li, T.-L. (2019). Effects of high-temperature treatment on root knot nematode and Fusarium wilt in continuous cucumber cropping soil. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 25, 917-924. <https://10.11674/zwyf.18252>
- Zhang, Y., Sun, R., Zhou, A., Zhang, J., Luan, Y., Jia, J., . . . Zhang, J. (2018). Microbial community response reveals underlying mechanism of industrial-scale manganese sand biofilters used for the simultaneous removal of iron, manganese and ammonia from groundwater. *AMB Express*, 8. <https://10.1186/s13568-017-0534-7>
- Zhuge, D., Chen, M., Yang, X., Zhang, X., Yao, L., Li, L., . . . Liu, S. (2022). Toxin-Enabled “On-Demand” Liposomes for Enhanced Phototherapy to Treat and Protect against Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Infection. *Small*, 18. <https://10.1002/sml.202203292>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: LMP DEL REGLAMENTO DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE MINSA

Tabla 15: LMP de parámetros de Calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
3. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1500
4. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1000
5. Temperatura	°C	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8/100 ml

FUENTE: Límites Máximo Permisibles de Parámetros de calidad MINSA (2010)

ANEXO 2: ENCUESTA DE LÍNEA BASE – 2022

Fecha					
Hora					
Nombre del encuestador					
Datos generales					
Nombre completo	en que departamento nació	Edad	Genero	Estado civil	grado de escolaridad
vivienda					
Material del piso	Material del techo	Estado del piso			
Ocupacion					
¿A que se dedica principalmente el jefe(a) de la familia?			¿en que distrito trabaja?		
¿Cuántos días a la semana trabaja?			¿es continuo/estable su trabajo?		
¿A que se dedica principalmente el segundo(a) aportante de la familia?			¿en que distrito trabaja?		
Animales y mascotas dentro de casa					
¿Qué mascotas tiene?					
Crianza de Animales					
¿Qué animales cria?	¿Quién se encarga de cuidar a sus animales?	¿Cuáles son las enfermedades que sufren con mas frecuencia sus animales?			
Familia					
¿Cuántas personas viven en su casa?			¿Cuántos hijos tiene?		
Hijos					
¿Cuántos hijos tiene menores de 10 años?					
Agua					
¿Qué agua utiliza para cocinar?	¿En que almacena el agua?	¿Cuánto tiempo pierdes para recolectar/complementar las necesidades de agua de tu familia?			
¿Cuánto dinero gastas mensualmente para conseguir agua?			¿Cantidad de agua que usa diario?		
¿Cantidad de agua para cocinar y beber?	¿Cantidad de agua para bañarse e higiene personal?	¿Cantidad de agua para animales?			
¿Cantidad de agua para riego?	¿Limpia su fuente de almacenamiento de agua?	¿Con que frecuencia?			
¿Ustedes tienen agua constante?	¿Qué hace con el agua antes de tomarla?				
Salud y Nutricion					
¿Tienen o han tenido sus hijos problemas estomacales?			¿Ha tenido diarrea en los dos ultimos meses alguno de sus hijos menores de 10 años?		
¿Qué le da para tratar la diarrea, si es que alguno de sus hijos tiene?			¿Dónde busca ayuda o tratamiento?		
Cuando su hijo esta con diarrea ¿Cómo se daría cuenta que se esta poniendo mas grave?			En su opinion ¿Cuál es la causa de los problemas estomacales?		
¿Dónde van cuando alguien en su familia se enferma?		¿Dónde consigue tus alimentos?		¿Almuerza en el comedor comunitario/olla comun?	
¿En que momentos o situaciones se lava usted las manos con jabon?					
Servicios y necesidades					
¿Con que servicios cuenta?	¿Dónde hacen generalmente sus necesidades usted y su familia?			¿Dónde esta ubicado?	
Medio Ambiente					
¿Existen problemas con el medio ambiente en la zona?		¿Qué problemas encuentras?		¿Qué tan buena es su calidad de agua actualmente?	
¿Cuáles serían los agentes contaminantes del agua que consume?					

Figura 53: Encuesta de entrada

ANEXO 3: ESTRUCTURA DE ACERO PARA LA CONSTRUCCION DE UN FBA

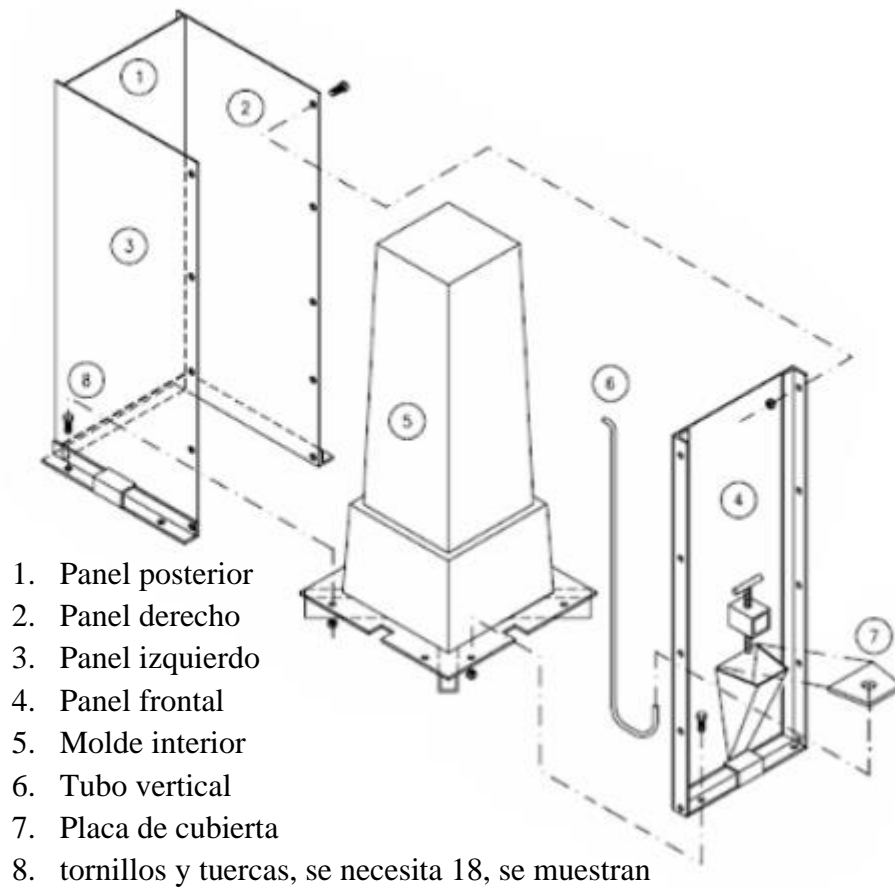


Figura 54: Partes de la estructura de acero para la elaboración de un FBA

ANEXO 4: CANAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

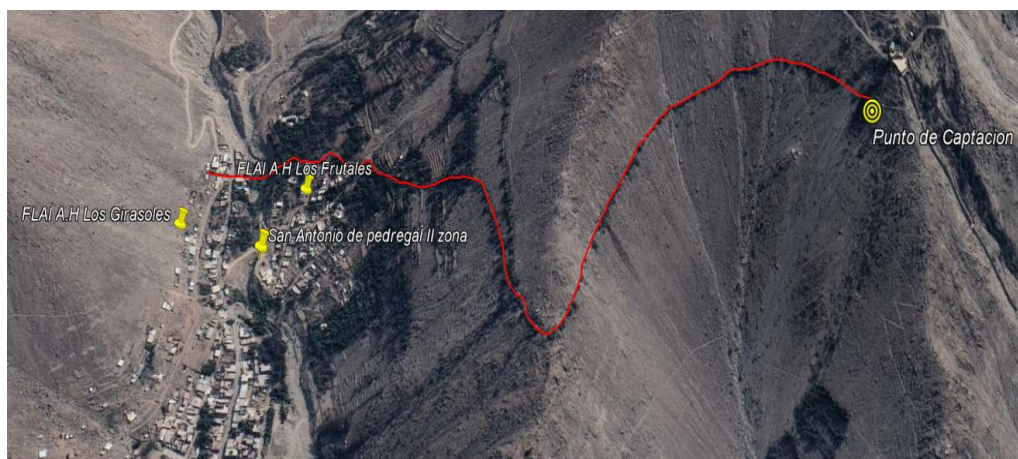


Figura 55: Ruta del canal de abastecimiento de agua de la zona de pedregal

ANEXO 5: PLANO DE PLANTA Y DE ELEVACION DEL FLAI

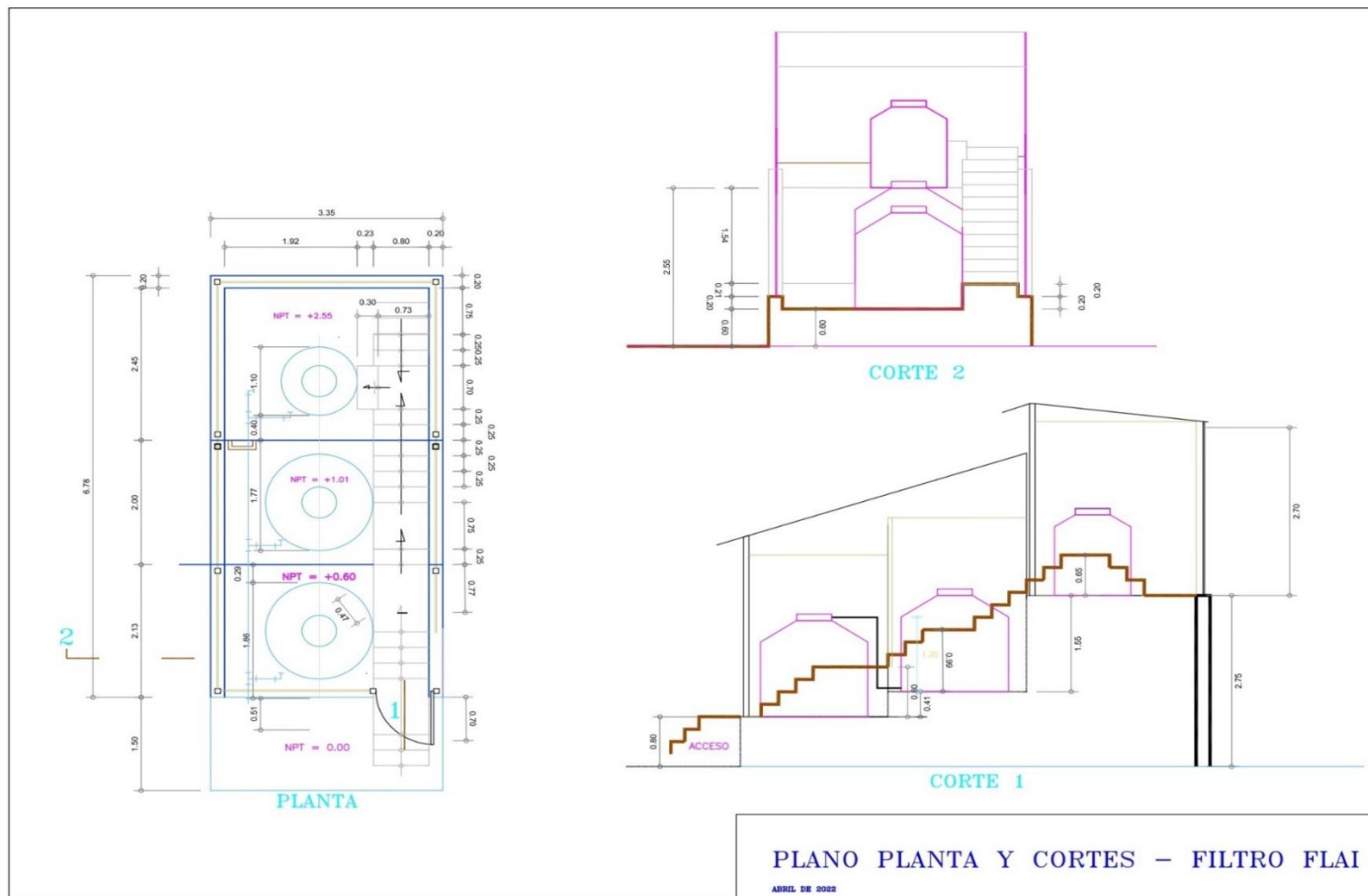


Figura 56: Plano de construcción del FLAI

ANEXO 6: PANEL FOTOGRAFICO



Figura 57: Vuelo con Dron Matrice 300RTK (1), Propuesta de ubicación del FLAI (2).



Figura 58: Pasos para la elaboración de FBA

Nota. Preparado de mezcla (1), molde listo (2), llenado del molde (3), prueba del caudal del filtro (4), pintado (5), e instalado (6).



Figura 59: Tamizado del medio filtrante

Nota. Tamizado (1), deposito (2), lavado del medio filtrante (3), secado (4), embolsado (5), entrega e instalación (6) y análisis del agua (7).



Figura 60: Pasos para la construcción e instalación del FLAI

Nota. Acondicionamiento de la base (1), construcción de los laterales (2), bases culminados (3), instalación de los tanques (4), empaquetado de los medios filtrantes (5), llenado del filtro (6), prueba de caudal (7) y análisis del agua (8).

ANEXO 7: MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DEL FBA Y FLAI

Tabla 16: Detalle de materiales en la construcción de un FBA

FILTRO BIORENA - FBA				
	Materiales/ Instrumentos	Unidad	1 FBA Cantidad	30 FBA Cantidad
CONSTRUCCION	Moldes de acero + tuercas	Unid.	1	2
	Nivel de mano	Unid.	1	1
	llave inglesa para tubo	Unid.	2	2
	Comba de goma	Unid.	2	5
	Tuercas de repuesto molde	Unid.	15	15
	llaves de combinación hexagonal # 16	Unid.	2	4
	Bruña de canto	Unid.	1	1
	Arena fina	Lt	14	420
	Arena gruesa	Lt	18	540
	Grava menor a 6mm	Lt	24	720
	Arena de 1mm	Lt	28	840
	Cemento	bolsas	1/2	15
	Agua	Lt	18	540
	Pintura	Lt	0.27	8
	Base para pintura	kg	1	30
	Tapas	unid.	1	30
	Manguera de descarga	m	2	60
	Placa difusora	unid.	1	30
	pañó de limpieza	Unid.	1	6
	Cinta masking tape	unid.	1	3
	Espátula	unid.	1	2
	Brochas	unid.	1	2
	Aceite	ml	75	2250
	Lija	unid.	1	6
	Pico	unid.	2	2
	Lampa	unid.	2	2
	INTERIOR	Grava mayor a 12 mm	Lt	2
Grava menor a 12 mm		Lt	2	60
Grava menor a 6 mm		Lt	2	60
Grava menor a 3 mm		Lt	2	60
Arena de 1 mm		Lt	24	720

Tabla 17: Detalle de materiales en la construcción del FLAI

FILTRO LENTO DE ARENA INTERMITENTE - FLAI				
	Materiales/ Instrumentos	Unidad	1 FLAI	2 FLAI
CONSTRUCCION	Tanque de agua Rotoplas 1100	unid.	1	2
	Tanque de agua Rotoplas 2500	unid.	2	4
	Teflón	unid.	2	4
	Sierra corta tubos	unid.	1	1
	Codos, T, adaptadores, 1/2"	unid.	6	12
	Codos, T, adaptadores, 1 1/2"	unid.	5	10
	Pegamento PVC	unid.	1	2
	Tina para lavar los medios filtrantes	unid.	2	2
	Mechero	unid.	1	1
	Tubos 1 1/2"	unid.	1	2
	Sacos	unid.	20	20
	Reducción de 3/4" a 1/2"	unid.	4	8
	Boya	unid.	3	6
	Cemento	bolsas	20	40
	Arena	m3	2	4
	Piedra chancada	m3	1.5	3
	Tubos 1/2"	unid.	2	4
INTERIOR	Grava mayor a 12 mm	Lt	150	300
	Grava menor a 12 mm	Lt	150	300
	Grava menor a 6 mm	Lt	150	300
	Grava menor a 3 mm	Lt	150	300
	Arena de 1 mm	Lt	1300	2600

Se consideró 30 FBA y 2 FLAI instalados.

ANEXO 8: CAUDAL A LA SALIDA DE LOS FILTROS FBA Y FLAI

Tabla 18: Caudal promedio de descarga según fecha de monitoreo del FBA

Detalle	Filtro	Fecha	Q (L/h) (Real)	Q (L/h) (Esperado)
FBA Girasoles	1	27-May	31.8	36.0
	2	10-Jun	27.0	36.0
	3	24-Jun	25.2	36.0
	4	8-Jul	37.8	36.0
	5	22-Jul	42.6	36.0
	6	5-Ago	32.4	36.0
	7	19-Ago	34.2	36.0
	8	2-Set	39.0	36.0
	9	23-Set	40.2	36.0
FBA Frutales	1	14-Jun	32.6	36.0
	2	2-Jul	30.5	36.0
	3	16-Jul	27.3	36.0
	4	30-Jul	35.6	36.0
	5	13-Ago	40.3	36.0
	6	27-Ago	36.4	36.0
	7	10-Set	36.7	36.0
	8	17-Set	34.8	36.0
	9	24-Set	38.3	36.0

(*) tres lecturas por medición

Tabla 19: Caudales promedios de descarga del FLAI

Detalle	Repeticiones	Fecha	Q (L/h) (Real)	Q (L/h) (Esperado)
FLAI Girasoles	1	1-Jun	82.2	94.8
	2	2-Jun	82.8	94.8
	3	3-Jun	80.0	94.8
	4	6-Jun	78.9	94.8
	5	7-Jun	78.3	94.8
	6	8-Jun	78.1	94.8
	7	9-Jun	77.9	94.8
	8	10-Jun	76.6	94.8
	9	11-Jun	76.8	94.8
FLAI Frutales	1	11-Jul	80.0	94.8
	2	12-Jul	81.2	94.8
	3	13-Jul	79.5	94.8
	4	14-Jul	78.8	94.8
	5	15-Jul	79.7	94.8
	6	16-Jul	79.5	94.8
	7	18-Jul	79.3	94.8
	8	19-Jul	78.5	94.8
	9	20-Jul	78.3	94.8

(*) Nueve repeticiones por filtro comunitario

ANEXO 9: EFICIENCIA DE USO DEL FILTRO BIOARENA

Tabla 20: Eficiencia de uso del filtro bioarena (FBA)

producto	N. Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) antes	N. Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) después	Norma (DIGESA)	Eficiencia de uso del filtro
FBA - 01	240	<1.8	<1.8	100%
FBA - 02	49	<1.8	<1.8	100%
FBA - 09	130	<1.8	<1.8	100%
FBA - 10	<1.8	<1.8	<1.8	100%
FBA - 13	49	<1.8	<1.8	100%
FBA - 16	33	<1.8	<1.8	100%
FBA - 18	33	<1.8	<1.8	100%
FBA - 21	23	<1.8	<1.8	100%
FBA - 25	<1.8	<1.8	<1.8	100%
FBA - 26	<1.8	<1.8	<1.8	100%
FBA - 27	<1.8	<1.8	<1.8	100%
FBA - 28	<1.8	<1.8	<1.8	100%
FBA - 30	<1.8	<1.8	<1.8	100%

Tabla 21: Eficiencia de uso del filtro bioarena (FLAI)

producto	N. Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) antes	N. Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) después	Norma (DIGESA)	Eficiencia de uso del filtro
FLAI - 01	<1.8	<1.8	<1.8	100%
FLAI - 02	2	<1.8	<1.8	100%

ANEXO 10: RESULTADOS DEL ANALISIS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS
N° 005996 - 2022

SOLICITANTE : AGROSANIDAD S.A.C.
DIRECCIÓN LEGAL : CAL.LA LADERA NRO. 205 URB. LAS VIÑAS LIMA - LIMA - LA MOLINA
RUC: 20544429800 Teléfono: 927346313
PRODUCTO : Agua Potable FBA - 01
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : FM: 14-11-22
O: GIRASOLES
ANTES - 9:21 AM
CANTIDAD RECIBIDA : 300 ml de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en frasco sellado a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIO REFERENCIA : S/S N°EN-003891 -2022
PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 11/11/2022
ENSAYOS SOLICITADOS : MICROBIOLÓGICO
PERIODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS :
ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- N. Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	240

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :
1.- APHA-AWWA-WEF 23 Rd. Ed. Chapter 9 Pág. 68-78 2017

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 14/11/2022 Al 21/11/2022.

ADVERTENCIA :
1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 21 de Noviembre de 2022



**Dirección
Técnica**

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM



Biol. Lourdes M. Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Pág 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

 la molina calidad total

Figura 61: Presencia de coliformes en el agua antes de suministrarla al FBA



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

INFORME DE ENSAYOS

N° 005994 - 2022

SOLICITANTE : AGROSANIDAD S.A.C.
DIRECCIÓN LEGAL : CAL.LA LADERA NRO. 205 URB. LAS VIÑAS LIMA - LIMA - LA MOLINA
RUC: 20544429800 Teléfono: 927346313
PRODUCTO : Agua Potable FBA - 01
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : FM: 14-11-22
 O: GIRASOLES
 DESPUES - 9:30 AM
CANTIDAD RECIBIDA : 300 ml de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en frasco sellado a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-003891 -2022
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 11/11/2022
ENSAYOS SOLICITADOS : MICROBIOLÓGICO
PERIODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- N. Coliformes Fecales (NMP/100 mL.)	<1,8

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- APHA-AWWA-WEF 23 Rd. Ed. Chapter 9 Pág. 68-78 2017

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 14/11/2022 Al 21/11/2022.

ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 21 de Noviembre de 2022



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

[Firma]
 Biol. Lourdes Margarita Berco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794
 E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal



Figura 62: Resultado de análisis de agua después del filtrado en el FBA



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

INFORME DE ENSAYOS

N° 005999 - 2022

SOLICITANTE : AGROSANIDAD S.A.C.
DIRECCIÓN LEGAL : CAL.LA LADERA NRO. 205 URB. LAS VIÑAS LIMA - LIMA - LA MOLINA
RUC: 20544429800 Teléfono: 927346313
PRODUCTO : Agua Potable FLAI - 02
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : FM: 14-11-22
 O: FRUTALES
 ANTES- 11:02 AM
CANTIDAD RECIBIDA : 300 ml de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en frasco sellado a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-003891 -2022
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 11/11/2022
ENSAYOS SOLICITADOS : MICROBIOLÓGICO
PERIODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- N. Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	2,0

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- APHA-AWWA-WEF 23 Rd. Ed. Chapter 9 Pág. 68-78 2017

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 14/11/2022 Al 21/11/2022.

ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 21 de Noviembre de 2022



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Lourdes Barco
 Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794
 E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal



Figura 63: Presencia de coliformes en el agua antes de suministrarla al FLAI.



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

INFORME DE ENSAYOS

N° 005997 - 2022

SOLICITANTE : AGROSANIDAD S.A.C.
DIRECCIÓN LEGAL : CAL.LA LADERA NRO. 205 URB. LAS VIÑAS LIMA - LIMA - LA MOLINA
RUC: 20544429800 **Teléfono:** 927346313
PRODUCTO : Agua Potable FLAI - 02
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : FM: 14-11-22
O: FRUTALES
DESPUES- 11:05 AM
CANTIDAD RECIBIDA : 300 ml de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en frasco sellado a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-003891 -2022
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 11/11/2022
ENSAYOS SOLICITADOS : MICROBIOLÓGICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- N. Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	<1,8

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- APHA-AWWA-WEF 23 Rd. Ed. Chapter 9 Pág. 68-78 2017

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 14/11/2022 Al 21/11/2022.

ADVERTENCIA :

- 1- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 21 de Noviembre de 2022



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

[Firma]
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CEP - N° 01232

Pág 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Figura 64: Resultado de análisis de agua después del filtrado en el FLAI.

ANEXO 11: MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL FILTRO FBA Y FLAI

Mantenimiento del FBA

Lo principal es la ubicación del filtro el cual debe de estar alejado de la luz solar directa de la lluvia de los animales y de los niños debe de ir en una superficie plana lo recomendable es instalara cerca de la cocina donde esté protegido y sea fácil de su limpieza, si no se tiene espacio en la parte dentro de la casa ubicarla cerca bajo un techo

Cerca de la casa, el filtro como está lleno de grava, arena y agua no se debe de mover además de ser pesada se mueve la arena y puede dejar de funcionar.

Mantenimiento del filtro en caso deje de fluir agua

1. Quitar la pata
2. Vierta agua hasta que sobrepase la altura del difusor
3. Extraer el difusor
4. Sumergir la palma de la mano hasta que toque la arena
5. Remueva la arena aproximadamente unas tres veces
6. Saque el agua sucia con un recipiente
7. La arena debe de estar plana y nivelada
8. Lavar la tapa y el difusor con agua y jabón luego enjuague
9. Poner el difusor ya limpio al igual que la tapa
10. Limpiar con cloro o agua con jabón el tubo de salida del filtro
11. Lavarse las manos con agua y jabón
12. Vierta un balde de agua al filtro y veras con qué rapidez sale nuevamente

Recomendación y el agua que sale del filtro sigue siendo menor vuelva a repetir el procedimiento anteriormente mencionado, la limpieza se debe hacer una vez a la semana parte externa parte interior cuando el caudal sea poca.

Mantenimiento del FLAI

Una vez instalado el FLAI, hay aspectos en tener en cuenta sobre su mantenimiento. Los encargados de la localidad deben ser los responsables de mantener en óptimas condiciones el sistema. Por lo cual deben de tener capacitación técnica y estar bien familiarizados con el procedimiento para el funcionamiento.

La capacitación técnica del mantenimiento del filtro se debe de dar durante la instalación del

mismo filtro, es muy importante que los encargados sientan cómodos con el conocimiento sobre el filtro y sientan la confianza en operarlas y sientan como si fuera propio de ellos y definan roles en responsabilidad los encargados.

Limpieza del tanque de recolección

1. Cierre la válvula de salida del tanque de recolección para aislar este tanque con el tanque de filtrado
2. Llene el tanque de recolección con agua
3. Revuelva los sedimentos del fondo del tanque para que se suspendan en el agua.
4. Drene el tanque de recolección usando la válvula de limpieza no drenar el agua hacia el tanque de filtración.

No es recomendable desinfectar este tanque ya que el agua se filtra en el FLAI y el cloro puede eliminar los procesos biológicos del tanque de la filtración.

Limpieza del tanque de filtración

5. Dejar que el tanque del filtrado se llene hasta que haya 10-15 cm de agua por encima de la arena. Cerrar la válvula que conecta el tanque de recolección y el tanque de filtrado para evitar que siga ingresando agua al tanque de filtrado.
6. Agitar suavemente la arena en círculos con la mano o puedes ayudarte de una pequeña herramienta de mano para poder levantar los sedimentos de la superficie de arena solo 2 cm de la arena.
7. Abrir la válvula de limpieza o en caso sacar con un recipiente para poder sacar toda la suciedad del tanque de filtración.
8. Repita los pasos de 1 a 3 veces hasta que la superficie de arena se vea limpia y el agua de limpieza este mas cristalina.
9. Lave el exterior de los tanques y superficie ya que este está lleno de contaminantes biológicos por la salpicadura del agua.

Limpieza del tanque de almacenamiento de agua filtrada

1. Llene el tanque con agua filtrada hasta una altura de $\frac{1}{4}$ de su capacidad, luego restriegue la superficie con un cepillo de mango largo, una escoba o un palo de

escoba envuelto en una tela limpia para que los sedimentos del fondo y los lados del tanque se suspendan.

2. Drene el agua y los sedimentos del tanque
3. Repita los pasos 1 a 2 veces hasta que el tanque se vea libre de sedimentos
4. Llene el tanque con el agua del filtro

En este tanque si se puede poner solución clorada no afecta el tanque de filtrado

Recomendación este proceso hacerlo al menos cada seis meses o si fuera necesario, más frecuentemente a fin de mantener limpios los tanques y la zona, también se recomienda tener dos juegos de elementos de limpieza uno para limpiar el tanque de almacenamiento y otro para limpiar los demás componentes.