



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UN TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN PARA
AGUA SUBTERRÁNEA EMPLEADA COMO FUENTE DE
CONSUMO HUMANO EN EL RECINTO SAN JOSÉ CANTÓN
NARANJITO-PROVINCIA DEL GUAYAS.**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: PAOLA TATIANA GALLEGOS MARIDUEÑA

DIRECTOR: Dr. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA, MSc

Riobamba -Ecuador

2023

©2023, Paola Tatiana Gallegos Maridueña

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Paola Tatiana Gallegos Maridueña, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son verdaderamente originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de julio de 2023



Paola Tatiana Gallegos Maridueña
C.I. 030288891-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo Titulación; tipo: Proyecto de Investigación, **DISEÑO DE UN TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN PARA AGUA SUBTERRÁNEA EMPLEADA COMO FUENTE DE CONSUMO HUMANO EN EL RECINTO SAN JOSÉ CANTÓN NARANJITO-PROVINCIA DEL GUAYAS**, realizado por la señorita: **PAOLA TATIANA GALLEGOS MARIDUEÑA** , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Paulina Fernanda Bolaños Logroño, MSc PRESIDENTA DEL TRIBUNAL	 _____	2023-07-28
Dr. José Gerardo León Chimbolema, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2023-07-28
Ing. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2023-07-28

DEDICATORIA

Con profunda admiración, respeto, y amor dedico el presente trabajo de investigación a mis padres Patricio y Anita quienes desde el primer momento que decidí emprender este viaje me dieron su apoyo y lo han seguido haciendo hasta la actualidad. Ellos son merecedores de este logro al igual que yo, porque ha sido un trabajo en equipo, sin ellos no lo hubiese logrado y su sacrificio dio frutos. Papitos, les agradezco con el alma todo el esfuerzo realizado, sin ustedes la trayectoria hubiese sido más difícil, es a ustedes a quienes debo la persona que hoy en día soy, cumplieron como padres y estoy muy agradecida con Dios por permitirme nacer en esta familia, seguiré llenándolos de orgullo porque se merecen todo lo bonito de la vida, y yo se los quiero dar. A mis hermanos Danny y Aarón quienes siempre han recalcado mis virtudes y me han inspirado a cumplir mis propósitos, el ser un ejemplo para ustedes me motiva a mejorar cada día, los amo mucho. A mi esposo Alejandro quien es merecedor de este logro porque confió en mí desde el primer momento y me demostró todo su apoyo de mil maneras posibles, si bien esta investigación tiene un solo autor, es justo mencionarte como mi mejor colaborador; sin ti llevar a cabo esta investigación hubiese sido difícil, has sostenido mi mano en los peores momentos y has sido el principal motivador para que concluya con esta etapa, te amo. A mi sobrino Ismael por ser alegría en mi vida y levantarme el ánimo todos los días, sé que tu sigues mis pasos y me encargaré de darte el mejor ejemplo junto con tu mamita y tus abuelitos. A mis tíos Martha, Marcelo, Klever, Luis, Jorge y Digna por siempre estar pendientes de mí a la distancia y demostrarme su cariño y apoyo a cada momento. A mis abuelitos paternos y maternos por ser una motivación y gran ejemplo de esfuerzo, perseverancia y humildad. A mis amigos Lizeth, Fransheska, Gregory, Gio, Isa por ser mi familia foránea y brindarme una amistad sincera, sin ustedes tampoco lo hubiese logrado, infinitas gracias por aceptarme en su vida y brindarme su apoyo y buenos consejos. Me demostraron que la amistad entre mujeres no tiene envidia, que aún hay caballeros y buenos amigos, y que el camino es más fácil si cuento con ustedes.

Paola

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento para con Dios, pues es quien me permitió cumplir con este objetivo tan significativo para mí y para mi familia. Únicamente él conoce que tan fácil o que tan difícil me resultó lograr esta meta, pero al igual que siempre, es mi guía y fortaleza para no darme por vencida. A mis padres, hermanos, y sobrino por siempre tener las palabras adecuadas para subirme el ánimo y no darme por vencida. Cada uno de nosotros es diferente, pero he sabido tomar lo bueno y aprender de los errores que cada uno cometemos para no tropezar con la misma piedra e ir superando juntos cada obstáculo que se nos presente y así también celebrar cada logro alcanzado. A mi esposo porque está al pie del cañón junto conmigo, en las buenas y en las malas somos el mejor equipo, te agradezco por todo el amor que me brindas y por ser mi inspiración. A la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo por darme la oportunidad de convertirme en una ingeniera llena de conocimientos y experiencias. Gracias por no cortar mis alas y permitirme ser partícipe de varias actividades académicas y de vinculación que han contribuido a mi formación humana y profesional, sin duda alguna la mejor etapa de mi vida la viví en la ESPOCH con muchos aciertos y desaciertos que se han convertido en enseñanzas. Al Doctor Gerardo León por haber aceptado dirigir esta investigación depositando su confianza en mí. Siempre estuvo dispuesto a resolver mis dudas e interrogantes ayudándome a encontrar soluciones y abierto a compartir sus conocimientos conmigo. A la Doctora Gina Álvarez por la guía y asistencia brindada dentro y fuera del laboratorio, siempre con buena actitud y predispuesta a ayudarme. A la familia Maridueña Camino por abrirme sus puertas en cada visita técnica con fines investigativos realizada al recinto San José, y su predisposición a compartir información necesaria para esta investigación. A la Ingeniera Cumandá Carrera por asistirme en este trabajo y ser una excelente asesora, gracias por su amabilidad y predisposición.

Paola

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Justificación	3
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	3
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
2.1.	Agua	4
2.1.1.	<i>Agua potable</i>	4
2.1.1.1.	<i>Normas de potabilización de agua</i>	4
2.1.2.	<i>Calidad del agua</i>	4
2.1.3.	<i>Propiedades del agua</i>	5
2.1.3.1.	<i>Propiedades físicas</i>	5
2.1.3.2.	<i>Propiedades químicas</i>	6
2.1.3.3.	<i>Propiedades biológicas</i>	7
2.1.4.	<i>Parámetros de calidad del agua</i>	7
2.1.4.1.	<i>Parámetros físicos</i>	7
2.1.4.2.	<i>Parámetros químicos</i>	8

2.1.4.3.	<i>Parámetros biológicos</i>	11
2.1.5.	Agua subterránea	11
2.1.5.1.	<i>Contaminación del agua subterránea</i>	12
2.1.5.2.	<i>Características fisicoquímicas de agua subterránea</i>	13
2.2.	Potabilización de agua subterránea	13
2.2.1.	Captación	14
2.2.1.1.	<i>Métodos de perforación</i>	15
2.2.2.	Caudal	16
2.2.3.	Muestreo	16
2.2.3.1.	<i>Dificultades en la toma de muestra</i>	17
2.2.4.	Transporte	18
2.2.5.	Aireación	18
2.2.6.	Desarenación	18
2.2.7.	Coagulación	18
2.2.8.	Floculación	19
2.2.9.	Sedimentación	19
2.2.10.	Filtración	19
2.2.10.1.	<i>Teoría de filtración por un medio filtrante</i>	21
2.2.10.2.	<i>Medio filtrante</i>	22
2.2.10.3.	<i>Medios filtrantes mixtos</i>	23
2.2.10.4.	<i>Filtros de presión</i>	23
2.2.10.5.	<i>Etapas complementarias de la filtración</i>	24
2.2.10.6.	<i>Parámetros de clasificación de las unidades de filtración</i>	24
2.2.10.7.	<i>Factores que influyen en la filtración</i>	24
2.2.10.8.	<i>Diseño de un filtro lento de arena</i>	25
2.2.10.9.	<i>Criterios de diseño</i>	30
2.2.10.10.	<i>Criterios de operación y mantenimiento del filtro</i>	31
2.2.11.	Desinfección	31
2.2.11.1.	<i>Factores que influyen en la desinfección</i>	31
2.2.11.2.	<i>El cloro en el agua</i>	32
2.2.11.3.	<i>Cloración</i>	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	35
3.1.	Diseño experimental	35

3.1.1.	<i>Tipo de estudio</i>	35
3.1.2.	<i>Localización del proyecto</i>	35
3.2.	Materiales, equipos y reactivos	36
3.3.	Metodología	37
3.3.1.	<i>Medición de caudal</i>	37
3.3.2.	<i>Toma de muestra de agua subterránea</i>	37
3.3.3.	<i>Medición de parámetros in situ</i>	38
3.3.4.	<i>Caracterización física, química y biológica de la muestra de agua</i>	38
3.3.5.	<i>Selección de tratamiento de potabilización</i>	39
3.3.6.	<i>Construcción del filtro lento</i>	39
3.3.7.	<i>Determinación de la densidad y porosidad del medio filtrante</i>	40
3.3.8.	<i>Determinación del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo del medio filtrante</i>	40
3.3.9.	<i>Funcionamiento del filtro</i>	40

CAPÍTULO IV

4.	CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	Caracterización física, química y biológica de la muestra de agua subterránea	42
4.2.	Medición de caudales	47
4.2.1.	<i>Cálculo del caudal</i>	47
4.3.	Diseño del filtro lento de arena	49
4.3.1.	<i>Cálculo del número de unidades</i>	49
4.3.2.	<i>Cálculo del área del medio filtrante</i>	49
4.3.3.	<i>Cálculo del coeficiente del mínimo costo</i>	50
4.3.4.	<i>Cálculo del largo de la unidad</i>	50
4.3.5.	<i>Cálculo del ancho de la unidad</i>	50
4.3.6.	<i>Cálculo de la velocidad de filtración</i>	51
4.3.7.	<i>Cálculo del caudal de salida</i>	51
4.3.8.	<i>Cálculo de la altura del filtro</i>	51
4.3.9.	<i>Cálculo de la altura de seguridad</i>	52
4.3.10.	<i>Cálculo de la altura total</i>	52
4.3.11.	<i>Cálculo de la altura del desagüe</i>	52
4.3.12.	<i>Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la arena gruesa</i>	53
4.3.13.	<i>Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la arena fina</i>	54
4.3.14.	<i>Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la zeolita gruesa</i>	56

4.3.15.	<i>Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la zeolita fina</i>	57
4.3.16.	<i>Cálculo del diámetro de la grava</i>	59
4.3.17.	<i>Cálculo del diámetro de la gravilla</i>	59
4.3.18.	<i>Cálculo del caudal de lavado</i>	60
4.3.19.	<i>Cálculo del volumen para retrolavado</i>	60
4.3.20.	<i>Cálculo de la cantidad de agua filtrada durante el tiempo de carrera</i>	60
4.3.21.	<i>Cálculo de la porosidad de la arena</i>	61
4.3.22.	<i>Cálculo de la porosidad de la zeolita</i>	61
4.4.	Caracterización biológica del agua después del proceso de filtración	65

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1.	Conclusiones	68
5.2.	Recomendaciones	69

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Parámetros físicos del agua.....	7
Tabla 2-2:	Parámetros químicos del agua	8
Tabla 2-3:	Parámetros biológicos del agua.....	11
Tabla 2-4:	Criterios de diseño para filtros lento de arena y zeolita.....	30
Tabla 3-1:	Coordenadas UTM de ubicación del proyecto.....	35
Tabla 3-2	Materiales, equipos y reactivos para toma de muestra y análisis en el laboratorio	36
Tabla 3-3:	Materiales y equipos para la elaboración del filtro	37
Tabla 3-4:	Método de determinación para parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua	39
Tabla 4-1	Caracterización física, química y biológica de la muestra de agua subterránea ..	42
Tabla 4-2:	Parámetros de calidad que cumplen con las normas INEN 1108	43
Tabla 4-3:	Resultado de la medición de caudales (L/s).....	47
Tabla 4-4:	Resultados del tamizado de arena gruesa.....	53
Tabla 4-5:	Resultados del tamizado de arena fina.....	54
Tabla 4-6:	Resultados del tamizado de zeolita gruesa.....	56
Tabla 4-7:	Resultados del tamizado de zeolita fina.....	57
Tabla 4-8:	Resultado de criterios de diseño para construcción del filtro lento de arena, zeolita y mixto	62
Tabla 4-9:	Presencia de coliformes totales en el agua después de un proceso de filtración..	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Porcentaje de agua en la tierra.....	11
Ilustración 2-2:	Actividades que generan la contaminación del agua subterránea	12
Ilustración 2-3:	Tipos de pozos de captación.....	15
Ilustración 2-4:	Lavado contracorriente del filtro.....	21
Ilustración 3-1:	Mapa de ubicación del punto de muestreo	36
Ilustración 3-2:	Mapa de ubicación del punto de muestreo y localidades aledañas.....	36
Ilustración 4-1:	Variación del caudal en una semana de medición.....	48
Ilustración 4-2:	Curva granulométrica arena gruesa.....	54
Ilustración 4-3:	Curva granulométrica arena fina	55
Ilustración 4-4:	Curva granulométrica zeolita gruesa.....	57
Ilustración 4-5:	Curva granulométrica zeolita fina	58
Ilustración 4-6:	Eficiencia del proceso de filtración para remover coliformes totales	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1:	Caudal	16
Ecuación 2-2:	Número de unidades en el filtro lento	25
Ecuación 2-3:	Área del medio filtrante.....	25
Ecuación 2-4:	Coefficiente de mínimo costo (filtro)	26
Ecuación 2-5:	Largo del filtro	26
Ecuación 2-6:	Ancho del filtro	26
Ecuación 2-7:	Velocidad de filtración	27
Ecuación 2-8:	Caudal de salida del filtro.....	27
Ecuación 2-9:	Altura del filtro.....	27
Ecuación 2-10:	Altura del desagüe.....	28
Ecuación 2-11:	Diámetro de la grava	28
Ecuación 2-12:	Diámetro de la gravilla.....	28
Ecuación 2-13:	Caudal de lavado (filtro)	29
Ecuación 2-14:	Volumen de agua para proceso de retro lavado	29
Ecuación 2-15:	Volumen de agua filtrada	29
Ecuación 2-16:	Diámetro de tubería para el filtro	30
Ecuación 2-17:	Área de orificios	30

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

ANEXO B: SISTEMA DE FILTROS

ANEXO C: PLANOS DE LOS FILTROS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

OMS	Organización Mundial de la Salud
Etc	Etcétera
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
ONU	Organización de las Naciones Unidas
pH	Potencial de hidrógeno
atm	Atmósferas
CO₂	Dióxido de carbono
Ppm	Partes por millón
SAE	Servicio de Acreditación Ecuatoriano
NTU	Unidades nefelométricas
Pt-Co	Unidades de platino-cobalto
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
nm	Nanómetros
Fe	Hierro
PO₄⁻³	Fosfatos
SO₄⁻³	Sulfatos
UFC/100 mL	Unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros
L	Litros
mL	Mililitros
mg	Miligramo
°C	Grados centígrados
N	Concentración normal
M	Concentración molar
Q	Caudal
V	Volumen
T	Tiempo
h/d	Horas al día
m/h	Metros por hora
m²	Metros cuadrados
m	Metros
m³	Metros cúbicos

s	Segundo
cm	Centímetro
AgNO₃	Nitrato de plata
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
CaCO₃	Carbonato de calcio
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
HCO₃⁻	Bicarbonato
Ao	Área de orificios

RESUMEN

Se realizó el diseño de un tratamiento de potabilización para una familia del recinto San José, cantón Naranjito quienes al igual que la comunidad del recinto, bombean agua subterránea y la utilizan para consumo humano sin un análisis y garantía de calidad. Se realizó la medición del caudal aplicando el método volumétrico con el que se obtuvo un valor de 0,111 L/s. Se caracterizó física, química y biológicamente al recurso subterráneo obteniendo un parámetro fuera de norma que corresponde a coliformes totales, mismo que dio un promedio de 195 UFC/100 mL cuando las normas INEN 1108: Agua potable-Requisitos estipulan su ausencia como condicionante para que un recurso sea apto para el consumo humano. El tratamiento elegido para cumplir con la normativa fue un proceso de filtración. Se elaboraron tres filtros con composición diferente en lo que refiere a medios filtrantes; teniendo así un filtro lento de arena, un filtro lento de zeolita y un filtro lento mixto (arena y zeolita) para comparar la efectividad de remoción tanto de la arena como de la zeolita. Se logró una remoción del 100% con el filtro mixto, logrando obtener un recurso apto para el consumo humano al cumplir con los límites permisibles estipulados en las normas INEN 1108; constituyendo un procedimiento factible en cuanto a funcionamiento y construcción ya que el costo de fabricación es accesible para la comunidad de San José. La arena es el medio filtrante que brinda mejores procesos de remoción en comparación con la zeolita.

Palabras clave: <POTABILIZACIÓN>, <COLIFORMES>, <CALIDAD DEL AGUA>, <FILTRACIÓN>, <REMOCIÓN DE CONTAMINANTES >.



1664-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The purification treatment was designed for a family from the San José compound, Naranjito canton, who, like the community of the compound, pump groundwater and use it for human consumption without an analysis and quality guarantee. The flow measurement was carried out applying the volumetric method, with which a value of 0.111 L/s was obtained. The underground resource was physically, chemically, and biologically characterized, obtaining a non-standard parameter that corresponds to total coliforms, which gave an average of 195 CFU/100 mL when the INEN 1108: Drinking water - Requirements standards stipulate its absence as a condition for a resource is fit for human consumption. The treatment chosen to comply with the regulations was a filtration process. Three filters with different compositions in filter media were made: a slow sand filter, a slow zeolite filter and a mixed slow filter (sand and zeolite) to compare the removal effectiveness of both sand and zeolite. A 100% removal was achieved with the mixed filter, managing to obtain a resource suitable for human consumption by complying with the permissible limits stipulated in the norm INEN 1108, constituting a feasible procedure in terms of operation and construction since the manufacturing cost is affordable for the community of San José. Sand is the filter medium that provides better removal processes compared to zeolite.

Keywords: <POTABILIZATION>, <COLIFORMS>, <WATER QUALITY>, <FILTRATION>, <REMOVAL OF POLLUTANTS>.



Ing. Angel Paul Obregón Mayorga, Mgs.
C.I. 0601927122

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso esencial para la vida, razón por la cual su abastecimiento en condiciones óptimas de salubridad, suficiencia y accesibilidad comprende una de las principales competencias para las municipalidades. En la actualidad, el líquido vital aún cuenta con peligros químicos y microbiológicos, siendo una causa de preocupación tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo; es decir, aún es un problema global. Según reportes de la *National Academy of Sciences* se registra 1,8 millones de personas mueren anualmente a causa del consumo de agua contaminada; mientras que decenas de millones de individuos enferman por la misma causa. La situación es alarmante pues a pesar del progreso (tecnológico, científico, industrial, etc.) que ha tenido la humanidad en las últimas décadas, aún existe un 18% de la población mundial que no dispone de agua apta para el consumo humano y otro 42% que no tiene acceso a servicios básicos de saneamiento pese a que la ONU declare el acceso al agua limpia como un derecho básico de la humanidad (Cano, 2021, p.1).

En Ecuador tan solo el 49% de los cantones tienen un servicio racionado de agua potable; mientras que el 54% de cantones poseen un servicio malo o irregular. Estas cifras colocan a la nación ecuatoriana entre los países de América con los peores mecanismos de distribución y servicio de agua potable. Se adjunta la problemática de pérdidas del recurso debido a un ineficiente proceso de control en cuanto a gestión técnica del agua. En algunas ciudades del Ecuador ya se han palpado las consecuencias de la falta de salubridad, así, por ejemplo, en Tulcán se ha registrado un perfil epidemiológico de 5 años de investigación que arroja como principal causa el consumo de agua insegura dando origen a enfermedades vinculadas con el recurso hídrico (Cano, 2021, p.2).

En base a lo mencionado, es menester centrar una investigación en el recinto San José, cantón Naranjito, provincia del Guayas; puesto que la actividad agrícola intensiva característica de la zona constituye un problema ambiental debido al uso excesivo de agroquímicos como fertilizantes, herbicidas y plaguicidas específicos para cada cultivo. Esta actividad se viene efectuando desde muchos años atrás, por lo que, como consecuencia del uso progresivo de agentes contaminantes; los recursos como suelo y agua se han visto afectados. El sector cuenta con una fuente de agua subterránea que transita por debajo del suelo agrícola y es la principal fuente de abastecimiento para consumo humano en la zona; por lo que, la población puede presentar afecciones en la salud a largo plazo como consecuencia del consumo de un recurso posiblemente contaminado con agroquímicos y con déficit de calidad atribuido a la composición natural del agua (Naranjito, 2014, p.2).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

Los recursos hídricos son los más abundantes del planeta, ocupando las $\frac{3}{4}$ partes del globo terráqueo; sin embargo, el 97,2% del volumen total lo constituye el agua salada, motivo por el cual no puede ser utilizada para satisfacer la necesidad básica de consumo humano sin antes haber pasado por un costoso tratamiento de desalinización, es así que, únicamente se aprovecha el agua dulce para uso doméstico incluido el consumo; no obstante, el hombre en la ejecución de sus múltiples ocupaciones de manera indirecta ha ocasionado la contaminación de algunas fuentes de agua dulce e incluso por acción natural el agua de los cuerpos hídricos ha sido involucrada con una serie de compuestos que afectan su calidad en diversa magnitud, acorde a la concentración y tiempo de interacción con las sustancias ajenas a su composición natural (Hiriart, 2017, p.2). En tal virtud resulta indispensable la instalación de plantas de tratamiento de agua para garantizar la calidad del líquido vital evitando así múltiples enfermedades.

En un trabajo de titulación de la Universidad de Guayaquil se menciona que en la actualidad existe un descontento en la población del cantón Naranjito, ya que las personas tienen varias inquietudes sobre la calidad del recurso hídrico que ha sido distribuido como agua de consumo humano últimamente. En este mismo trabajo de investigación se establece como punto de enfoque la turbidez, ya que es el parámetro problema del agua del cantón debido a la concentración de compuestos minerales como sales de magnesio y calcio que están presentes en el agua para consumo de la zona urbana y rural proveniente de pozos. La falta de agua potable en la zona rural conlleva a la búsqueda de una alternativa para conseguir el líquido vital sea cual sea su condición de calidad recurriendo así a pozos subterráneos, tanqueros de agua o incluso agua precipitada; comprometiendo la salud pública al ser un peligro latente la ingesta de un recurso contaminado (Toapanta, 2020, p.24).

Con los antecedentes mencionados el proyecto se basa en el diseño de una planta de potabilización de agua en el recinto San José, cantón Naranjito; para asegurar el consumo de agua con características que se enmarcan en la legislación ambiental del país.

1.2. Justificación

Consumir agua potable es una necesidad ya que ayuda a proteger la salud de la población. En la mayoría de las zonas rurales del país se evidencian condiciones de vida precarias que desembocan generalmente en problemas de salud; por lo tanto, el principal objetivo es garantizar el consumo de un recurso que cumpla con la Norma INEN 1108 y de esta manera se contrarresten problemas sanitarios originados o relacionados con el agua. La carencia de un sistema de distribución de agua potable de calidad a la población del recinto “Brigada San José”; así como en otros sectores rurales del cantón Naranjito conlleva a que las personas busquen la manera de adquirir este recurso vital sin conocer el tipo de agua que están ingiriendo. La presente investigación se enfoca en la ejecución de un análisis físico, químico y microbiológico del agua subterránea que es de consumo comunitario en la población de estudio, para de esta manera brindar un tratamiento de potabilización en función a los parámetros que deben ser ajustados para enmarcarse en los límites permisibles contenidos en la tabla 1 del libro VI anexo 1 del TULSMA. Al ser una competencia de los gobiernos locales, se despertará el interés en resolver el problema de saneamiento en las autoridades competentes tras el desarrollo de esta investigación. En el cantón Naranjito tanto el área urbana como rural se abastece del agua de pozos, pero en el área rural al existir zonas agrícolas se da el consumo de líquido no contabilizado a causa de perforaciones que ejecutan los propietarios de hectáreas de terrenos sobre la tubería matriz creando fugas de agua y dando lugar a la aparición de fuentes de contaminación e infección del recurso (Naranjito, 2014, p.2).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar un proceso de potabilización del agua subterránea empleada para el consumo humano en el recinto San José, cantón Naranjito.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad actual del agua subterránea mediante análisis físicos-químicos y microbiológicos.
- Esbozar técnicas y procedimientos viables para el tratamiento del agua con base en la caracterización preliminar.
- Comparar la efectividad de la arena y zeolita como medios filtrantes en un filtro lento

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Agua

2.1.1. Agua potable

La Organización Mundial de la salud (OMS) define al agua potable como aquel recurso apto para el consumo humano y todo uso doméstico habitual en donde se involucra la higiene personal (Organización Mundial de la Salud 2018). Constituye el líquido vital libre de microorganismos que pueden causar enfermedades y comprometer la salud de la población (Carvajal et al., 2019, p.12).

2.1.1.1. Normas de potabilización de agua

En Ecuador el agua potable se rige a una normativa ambiental vigente, estandarizada a nivel nacional. En esta norma de calidad se establecen los límites máximos permitidos de ciertos componentes físicos, químicos y biológicos que están presentes en el agua, de manera que si existe cualquier componente en una cantidad que rebasa el límite máximo permitido pues se debe someter a un proceso de corrección para obtener un líquido vital potable y apto para el consumo humano y así no comprometer la salud de la población. Esta norma es la NTE INEN 1108.

2.1.2. Calidad del agua

Se refiere a las condiciones del agua en su estado natural o alterado por acciones antropogénicas; enfocado esencialmente en las características físicas, químicas y biológicas del recurso. La calidad del agua es determinada mediante el contraste de las características físicas y químicas de una muestra de agua con normas de calidad estandarizadas y reglamentadas. Las normas de calidad han sido establecidas tras un proceso de investigación científica cuyo propósito fue determinar el nivel de toxicidad de ciertos compuestos presentes en el agua, aceptable para seres humanos y otros organismos vivos. Este concepto ha sido implementado principalmente para agua de consumo humano; sin embargo, se puede definir la calidad del recurso en función de otros usos para los cuales esté destinado (Organización Mundial de la Salud, 2018, p.5).

La pérdida de calidad del líquido vital ha sido un motivo de preocupación en los últimos tiempos, llegando al extremo de ser una problemática mundial, puesto que el crecimiento poblacional, la

expansión de la zona industrial y agrícola, la mala gestión ambiental y la falta de conciencia de la población, entre otros; han sido las causas inminentes de las alteraciones en el ciclo hidrológico y consecuente calentamiento global (Villena, 2018, p.4).

Un agua de calidad es un agua que no causa daño y así como las actividades humanas causan alteración, también procesos naturales conllevan a la modificación de las propiedades del agua; se citan de este modo procesos de erosión, evapotranspiración, sedimentación de lodos y sales, lixiviación de compuestos orgánicos y procesos biológicos (Villena, 2018, p.12).

2.1.3. Propiedades del agua

El agua es el recurso más abundante e importante del planeta; es así como la vida siempre se desarrolla en un medio acuoso, incluso la formación de seres no acuáticos se da en un medio interno hídrico.

2.1.3.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del agua están determinadas por los enlaces de puente de hidrógeno, los cuales se encuentran en mayor cantidad en el agua sólida, ya que en este estado se forma una red cristalina. Una molécula de agua entonces contiene átomos rodeados tetraédricamente por cuatro átomos de hidrógeno de otras moléculas de este líquido vital (Rojas y Luis, 2019, p.7). De esta manera se citan las siguientes propiedades físicas:

- **Incolora.** - el agua como su nombre lo indica, carece de color. La apreciación de colores en ríos, lagos, mares, océanos, etc.; se debe al reflejo de la luz sobre este recurso ya que tiene la capacidad de absorber más fácilmente las longitudes de onda cortas (Rojas y Luis, 2019, p.3).
- **Carece de sabor y olor.** – a diferencia de otras sustancias, el agua por sí misma no posee un olor ni un sabor característico. La única manera de que el agua adquiriera un sabor es porque ha sido alterada de alguna manera ya sea mediante la adición de saborizantes o sustancias afines, e incluso por el arrastre de partículas pertenecientes a otros elementos como plástico, minerales, frutas, etc (Rojas y Luis, 2019, p.2).
- El agua se encuentra en **tres estados**: sólido, líquido y gaseoso (Rojas y Luis, 2019, p.2).

- **Densidad.** – el agua posee menor densidad en estado sólido que en estado líquido. La densidad del agua es 1000 Kg/m^3 sin embargo, este valor cambia a medida que la temperatura asciende o desciende (Rojas y Luis, 2019, p.3).
- **Punto de ebullición.** – el agua llega a un estado de ebullición cuando alcanza los $100 \text{ }^\circ\text{C}$ siempre y cuando se cumpla la condición de estar a 1 atmósfera (atm) como registro de presión atmosférica. Si la presión atmosférica es menor a 1 entonces el punto de ebullición disminuye (Rojas y Luis, 2019, p.4).

2.1.3.2. *Propiedades químicas*

Al ser la mayoría de las sustancias solubles en el agua, se cataloga a este recurso como el disolvente universal. Constituye el compuesto químico más familiar debido a su importancia en los diferentes procesos químicos que ocurren en los seres vivos, en la naturaleza, en las industrias, laboratorios y demás. El agua es un recurso neutro en cuanto a pH, pues no posee acidez ni basicidad, pero se combina con sales para formar hidratos y reacciona con óxidos de metales para originar ácidos. Actúa como catalizador en varias reacciones químicas (Rojas y Luis, 2019, p.3).

El ángulo que se forma entre dos enlaces covalentes entre oxígeno e hidrógeno corresponde a 105° y la longitud de dicho enlace es $0,96$ angstroms; requiriendo 115 kcal/mol para romper dicho enlace covalente de una molécula de H_2O (Rojas y Luis, 2019, p.6). Entonces, por la presencia de enlaces por puentes de hidrógeno se tienen las siguientes propiedades químicas del agua:

- **Elevada fuerza de cohesión.** – las moléculas de agua presentan una elevada fuerza de cohesión ya que los puentes de hidrógeno que se forman se mantienen unidas de forma intensa, lo que no sucede con otros compuestos similares (Rojas y Luis, 2019, p.2).
- **Líquido incompresible.** – se le llama un líquido incompresible ya que no es fácil reducir el volumen del agua al aplicar presión. La justificación es porque las moléculas están enlazadas entre ellas conservando una distancia intermolecular más o menos fija, por esa razón hay varios organismos que usan agua para elaborar sus esqueletos hidrostáticos, tal es el caso de los anélidos y celentéreos (Rojas y Luis, 2019, p.2).
- **Tensión superficial elevada.** – la superficie del agua opone gran resistencia a romperse. Esta propiedad permite que varios organismos puedan caminar sobre el agua y su vida se asocia a esta película superficial (Rojas y Luis, 2019, p.2).

- **Capilaridad.** – es una propiedad ligada estrechamente con la tensión superficial, y por lo tanto se encuentra relacionada o en dependencia de la cohesión y la fuerza intermolecular. La capilaridad es la responsable del ascenso o descenso por el tubo; propiedad sumamente importante para las plantas, ya que de esta manera se hace posible el ascenso de la sabia bruta por la xilema (Rojas y Luis, 2019, p.2).
- Posee **calor específico y calor de vaporización elevados.** Estas propiedades provocan que se absorba de una manera más eficaz el calor liberado en las diferentes reacciones bioquímicas exotérmicas, o por el contrario permiten que se elimine con una variación mínima de temperatura (Rojas y Luis, 2019, p.2).

2.1.3.3. *Propiedades biológicas*

- **Termorregulador.** – el agua tiene un comportamiento térmico único, gracias al cual es el principal responsable de regular la temperatura en el organismo, conservando una temperatura corporal constante que es independiente del entorno y la actividad metabólica (Gomez, 2019,p.5).
- **Amortiguador y regulador de cambios térmicos.** – evita cambios bruscos de temperatura en los diferentes organismos gracias a la capacidad de absorber una gran cantidad de calor (Gomez, 2019,p.5).

2.1.4. *Parámetros de calidad del agua*

2.1.4.1. *Parámetros físicos*

Tabla 2-1: Parámetros físicos del agua

PARÁMETRO	DEFINICIÓN
Potencial de hidrógeno (pH)	El pH es un parámetro muy importante para determinar la calidad del agua, por ello es una de las pruebas esenciales y frecuentes en el análisis químico del agua. Varios procesos ocurridos durante el tratamiento de agua como la neutralización ácido-base, coagulación, precipitación, desinfección y control de corrosión dependen del pH. La mayoría de las aguas son ligeramente básicas gracias a la

	presencia de carbonatos y bicarbonatos; mientras que las aguas naturales normalmente presentan un pH entre 4,00 y 9,00. El pH en aguas subterráneas varían entre 6,50 y 8,50 (Rincón, 2017, p.2).
Temperatura	Las aguas subterráneas poseen temperaturas considerablemente estables. Cuando desciende la localidad del agua con excepción de las zonas tectónicas y volcánicas, se da un incremento de 1°C por cada 33 metros; mientras que en zonas de sedimentación la temperatura del recurso líquido es menor (Murphy et al., 2019, p.2).
Conductividad eléctrica	Hace referencia a la capacidad que tienen ciertos líquidos de conducir la electricidad. El agua es un recurso versátil, de manera que puede ser un conductor de electricidad a medida que se incrementen la cantidad de electrolitos disueltos. En el caso de las aguas subterráneas los valores oscilan entre los 100 y 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductividad aumenta con la temperatura (Solís et al., 2018, p.1).
Turbidez	Este parámetro es afectado por la presencia de partículas de materia orgánica e inorgánica que se encuentran fragmentadas y son muy finas; así como la presencia de coloides y microorganismos. La turbidez es importante cuando se trata de obtener productos que son para consumo humano (Rincón, 2017, p.3).
Color	El color del agua es una propiedad organoléptica cuya ventaja es la atracción de la radiación. La presencia de material orgánico en las aguas subterráneas es el causante del color en el recurso y es indicativo de contaminación, pues a simple vista un agua colorida es desagradable (Osorio, 2018, p.3).

Fuente: (Gomez, 2019).

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

2.1.4.2. Parámetros químicos

Tabla 2-2: Parámetros químicos del agua

PARÁMETRO	DEFINICIÓN
Sólidos disueltos	Los sólidos disueltos son aquellos sólidos que siguen presentes en el agua tras un proceso de filtración, es decir, pasan por el filtro. Determinar sólidos

	es importante ya que afectan de forma negativa la calidad del agua, y al determinar este parámetro se puede tener un mejor control de los procesos usados en tratamientos biológicos y físicos del agua, y así cumplir con la normativa que regula su vertimiento (Torres y Lozano, 2017, p.5).
Dureza	Este parámetro se determina al sumar la concentración de iones calcio y magnesio presentes en el agua. Hablando químicamente, la presencia de cationes metálicos bivalentes ocasiona la dureza y se evidencia por la formación de precipitados al reaccionar con el jabón e incrustaciones al reaccionar con ciertos aniones. Los iones hierro y aluminio también causan dureza pero tiene una solubilidad limitada en presencia del pH del agua natural por lo que sus concentraciones son despreciables (Rincón, 2017, p.2).
Cloruros	La presencia de cloruros en el agua es un indicativo de salinidad, por ello cuando se incrementa este parámetro simultáneamente incrementa la corrosividad del agua. Un elevado contenido de cloruros no permite que el recurso sea usado para consumo humano, e incluso no es apto para ganadería ni para la vegetación (Colmenares y Mare 2017, p.4).
Calcio	La presencia de carbonatos y sulfatos de calcio dan lugar a la aparición de este parámetro en el agua. No debe superar los 1000 ppm en el agua de consumo humano, caso contrario ocasiona anomalías y daños en la salud (Lopez et al., 2022, p.3).
Magnesio	Los silicatos y dolomías conllevan a la presencia de magnesio en el agua. Este elemento incide directamente en la dureza del agua (Lopez et al., 2022, p.3).
Alcalinidad	Refiere a la facultad que tiene el agua para neutralizar ácidos. En la mayoría de los acuíferos naturales, la alcalinidad es causada por la presencia de sales de bicarbonato formadas por acción del dióxido de carbono sobre materiales básicos. Existen varios compuestos que alcalinizan el agua como sales débiles (silicatos, fosfatos, boratos), ácidos orgánicos no muy resistentes a la oxidación biológica, hidróxidos, amoníaco, entre otros (Rincón, 2017, p.4).
Bicarbonatos	Su presencia se atribuye al dióxido de carbono (CO ₂) diluido de la atmosfera, carbonatos, caliza, al mismo suelo y algunos minerales. Este parámetro se relaciona con la alcalinidad del agua (Muñoz et al. 2018, p.6).
Sulfatos	Se encuentra naturalmente en varios minerales. La mayor concentración se encuentra en aguas subterráneas ya que se forman a medida que el agua fluye a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, por lo que parte de este sulfato se disuelve en el agua subterránea

	(Bolaños et al., 2017, p.5).
Amonios	La presencia de este compuesto en el agua se debe a procesos agrícolas y ganaderos, así como a la generación de aguas residuales domésticas e industriales. La presencia de amonio minimiza la concentración de oxígeno disuelto que es necesario para la vida que se desarrolla en el agua; además apresura la corrosión de metales (Deus et al., 2021, p.4).
Nitritos	Están presentes en menor cantidad que los nitratos, y se forman por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno. En ocasiones actúa como agente oxidante y reductor, por ello debe estar en condiciones de oxigenación baja (Bolaños, 2017, p.3).
Nitratos	En comparación con los nitritos, los nitratos predominan en aguas subterráneas y superficiales. Debido a su capacidad de filtración a través del suelo, se encuentran en mayor cantidad en aguas subterráneas. Se originan por el uso de fertilizantes nitrogenados, o por la contaminación a causa de excretas humanas y animales. Estos compuestos son solubles y no se adhieren a compuestos del suelo, razón por la cual se transportan fácilmente en el agua (Bolaños et al., 2017, p.2).
Hierro	Su presencia en el agua ocasiona precipitados y coloración no deseada. Puede encontrarse formando parte de compuestos orgánicos (Guillen et al. 2021, p.4).
Fosfatos	Su presencia abundante en el agua ocasiona eutrofización. Tienen efecto ablandador en el agua. En las aguas subterráneas se comenta que provienen de ciertos minerales de las rocas magmáticas, y en cantidades superiores a 1.5 mg/d origina enfermedades bucales (Bolaños et al., 2017, p.2).
Sólidos totales	Hace referencia a todos los sólidos presentes en el agua; es decir sólidos suspendidos y disueltos. Los sólidos afectan la calidad del agua en diferentes formas; por ejemplo: una alta concentración de sólidos disueltos conlleva a tener un agua de baja potabilidad que desencadenan reacciones fisiológicas no favorables en los seres humanos. Analizar este parámetro ayudar a controlar diferentes procesos usados en los tratamientos físicos y biológicos usados para que el recurso cumpla con la normativa legal vigente (Rincón, 2017, p.4).

Fuente: (Rincón, 2019).

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

2.1.4.3. Parámetros biológicos

Tabla 2-3: Parámetros biológicos del agua

PARÁMETRO	DEFINICIÓN
Coliformes totales	Están presentes en heces y en el medio ambiente (aguas con muchos nutrientes, suelo, materia vegetal en proceso de descomposición). Comprende a las bacterias Gram negativas aerobias y anaerobias facultativas, aquellas que no forman esporas, tienen forma de bastón fermentadoras de lactosa y se desarrollan en medios salinos biliare y agentes tensoactivos. La presencia de coliformes indica un ineficiente tratamiento de agua o mal sistema de distribución; además es la causa de enfermedades gastrointestinales y otras afecciones a la piel, oídos y ojos (Guanilo et al., 2021,p .2).

2.1.5. Agua subterránea

El agua subterránea es aquella que se deposita y transporta en el subsuelo, dando origen a los acuíferos. El agua de lluvia es la principal fuente de aporte para incrementar, reducir o mantener constante el volumen de agua, gracias a los procesos de infiltración. Existen otras fuentes que aportan a la aparición de agua subterránea como son los ríos, arroyos, lagos y lagunas. Este líquido está por debajo del nivel freático y satura los poros o espacios (fisuras) que haya en el terreno por el cual circula, de esta manera emerge naturalmente a la superficie por medio de vertientes, manantiales o causes fluviales. Se mueve de zonas de recarga a zonas de descarga con velocidades que pasan de metro/año a cientos de metro/día (Gómez y Barrero, 2019, p.2).

El agua de la hidrosfera	% del agua total del planeta	Periodo de renovación
Océanos	97,5	2500 años
Agua subterránea	0,76	1400 años
Casquetes polares	1,74	9700 años
Lagos	0,007	17 años
Ríos	0,0002	16 días
Humedad atmosférica	0,001	8 días
Biomasa	0,0001	algunas horas

Ilustración 2-1: Porcentaje de agua en la tierra

Fuente: (Gómez y Barrero, 2019).

2.1.5.1. Contaminación del agua subterránea

La contaminación hace referencia a una alteración en las propiedades físicas, químicas y/o biológicas de un recurso, en este caso el agua. Esta modificación se puede dar de forma natural o inducida. La primera se da generalmente por el contacto constante del agua subterránea con formaciones sedimentarias del tipo marino, salino, o el contacto con yacimientos de metales, petróleo o sustancias radioactivas; y la inducida o artificial se da por incidencia urbana, rural o actividades como la explotación de pozos. Las principales actividades antropogénicas que generan contaminación son los vertidos domésticos, lixiviados de vertederos, lixiviados industriales, uso de agroquímicos, ganadería, entre otras. El agua subterránea contaminada es más difícil de detectar debido al simple hecho de que no está a la vista, por ello el contaminante tiene mayor duración en el medio y generalmente ya la contaminación ha avanzado cuando se logra detectar; es decir, gran parte del acuífero ha sido afectada. Una vez que se identifica la contaminación, se debe buscar la fuente para dar con el contaminante y estudiar su movilidad, toxicidad y persistencia (Cerón et al. 2021). De manera natural existen factores como el clima, la temperatura, el tipo de terreno por el que se desplaza el agua subterránea y los gases que son aportados como CO₂ y oxígeno los que modifican la composición del agua subterránea (Cerón et al ., 2021, p.1).

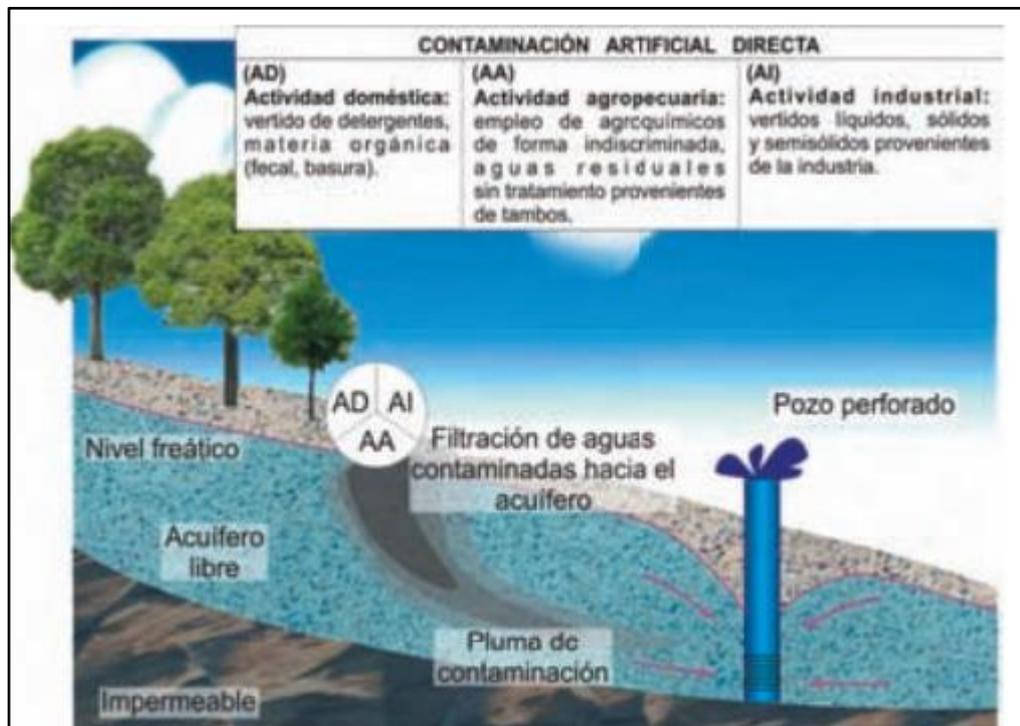


Ilustración 2-1: Actividades que generan la contaminación del agua subterránea

Fuente: (Caraballo y Xavier, 2017).

2.1.5.2. Características fisicoquímicas de agua subterránea

Las aguas subterráneas tienen mayor posibilidad de diluir materiales en comparación con las aguas superficiales, pues pasan en contacto prolongado con formaciones geológicas por donde se desplaza, así como la presencia del CO₂ y oxígeno disuelto sin olvidar la baja velocidad a la que circulan. Por lo mencionado con anterioridad, las aguas subterráneas presentan generalmente una mayor concentración iónica que una escorrentía del mismo origen. Procesos como la evapoconcentración de sales atmosféricas como aerosoles, polvo y sales disueltas en el agua lluvia; la interacción del agua con minerales presentes en el suelo por medio de hidrólisis o el cambio de estado de oxidación-reducción o la incorporación de aguas salinas no lavadas son procesos que otorgan la composición natural del agua subterránea.

Los iones presentes en mayor cantidad en el agua subterránea son calcio, magnesio, sodio y potasio; mientras que los aniones que destacan son bicarbonatos, sulfatos y cloruros. Este tipo de aguas contienen cantidades considerables de ácido silícico no disociados que se puede expresar como sílice disuelta. Los iones y sustancias disueltas no mencionadas se encuentran generalmente en cantidades más pequeñas, pero todo esto es condicionado por factores como el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto que esté presente en el recurso. El pH se encuentra entre 6,50 y 8,00; mientras que la temperatura en la parte superior del acuífero es poco variable y responde a la media anual de la temperatura de la zona. La temperatura aumenta 1°C por cada 33 metros de profundidad como dato general. Ahora, la mayoría de las aguas subterráneas presentan un oxígeno disuelto entre 0 y 5 mg/L. La composición de las aguas subterráneas depende de su lugar de origen, así, por ejemplo, el recurso que procede de un acuífero carbonatado es mayoritariamente bicarbonatada cálcica y magnésica. Presentan mineralizaciones ligeras o medias con una conductividad eléctrica de 700 µS/cm, así como concentraciones iónicas que en su mayoría no superan el límite permisible para potabilidad. Ahora bien, los acuíferos de tipo detrítico están caracterizadas por su permeabilidad baja y la constante variación de su composición química. La calidad química de estas aguas suele ser aceptables para cualquier uso, pero hay ocasiones en que el contenido de microconstituyentes sobrepasan el límite permisible para potabilidad (Ruiz y González, 2019, p.2).

2.2. Potabilización de agua subterránea

El agua que es empleada para consumo humano obligatoriamente debe presentar características físicas, químicas y biológicas beneficiosas para la salud del hombre, por dicha razón es importante establecer normas de potabilidad en donde se especifiquen las concentraciones máximas que se aceptan en la composición del agua. La potabilización es un proceso inspeccionado cuyo objetivo

es obtener agua potable transformando el agua cruda, es decir, agua sin tratamiento. Las características que presenta el agua al inicio del proceso son las que definen los procesos que se van a emplear, así como las infraestructuras y las dosificaciones con productos químicos si llega a ser necesario. Para las aguas subterráneas, este proceso va desde unidades básicas de potabilización realizando procesos simples como desinfección o ajuste de pH, hasta tratamientos complejos como es la remoción de elementos como el hierro, manganeso y otros, por procesos de oxidación, sedimentación, filtración u ósmosis inversa (Casas, 2020, p.2).

2.2.1. Captación

La captación de agua subterránea se da principalmente a partir de pozos verticales, pues estos son los más extendidos a nivel global. Para realizar este proceso de extracción se efectúa mediante la construcción de pozos, mismos que son estructuras complejas proyectadas para la captación de agua subterránea procedente de un acuífero, de manera que se satisfaga una demanda específica. Estos pozos tienen una vida útil que puede involucrar décadas, de manera que cuando el pozo se descontinúe es menester un procedimiento de abandono y sellado (Gómez, 2020, p.1).

Los pozos verticales pueden ser abiertos, excavados o brocales. Este tipo de pozo son de construcción manual o pobremente mecanizada. Se caracteriza por tener diámetros superiores a 1 metro y permite la excavación hasta llegar al nivel freático. Por otro lado, están los pozos perforados, tubulares o semisurgentes, los cuales son mayoritariamente utilizados en la extracción de agua subterránea. El diámetro de perforación es reducido (de 6 a 12 pulgadas), y su elaboración es mayoritariamente mecanizada ya que se necesitan máquinas perforadoras con un sistema acorde al material del acuífero que se va a atravesar (Gómez, 2020, p.21).



Ilustración 2-3: Tipos de pozos de captación

Fuente: (Caraballo y Xavier, 2017).

2.2.1.1. Métodos de perforación

Existen 3 métodos ampliamente utilizados en la actualidad, y su elección está en función del tipo de material que se va a atravesar, el caudal requerido según la demanda, la profundidad del pozo, y el diámetro de perforación. Es necesario considerar las ventajas y desventajas que caracteriza a cada método, pues es oportuno elegir un procedimiento considerando también el tiempo y la rapidez de construcción, el equipo, el acceso al área, y la protección contra la contaminación (García, 2022, p.1).

Perforación a percusión por cable. – se emplea una herramienta de corte denominada martillo o trepano, con el cual se golpea repetidamente la roca para avanzar. El material residual se extrae con una cuchara que es una herramienta apta para esta función. Se puede emplear en terrenos consolidados y no consolidados; su eficiencia depende en gran medida de la experiencia del perforador.

Perforación a rotación. – se emplea una herramienta de corte giratorio que tritura la roca. En este caso el material residual se extrae mediante arrastre con agua o lodo, y es empleado para construir pozos en terrenos no consolidados (grava, arena, limo).

Perforación a rotopercusión. – constituye el método más utilizado ya que se emplean equipos versátiles y rápidos que son mucho más efectivos en terrenos graníticos. En este proceso se emplean equipos de rotación como el martillo de fondo y una unidad neumática que son aptos

para cualquier terreno. Factores como tipo de martillo, el tamaño del compresor y la dureza de la roca son los que limitan este método. La perforación se da por medio del aire que es comprimido y se comunica con el martillo de rotación (García, 2022, p.1).

En todos los procesos de perforación, el diámetro de la herramienta utilizada está en función del diámetro del pozo que se ha planteado en el proyecto (García, 2022, p.12).

2.2.2. Caudal

El caudal es un parámetro importante pues permite conseguir mayor eficiencia en la ejecución, evaluación y programación del manejo integral del agua. Con esta medida se realizan pronósticos de la disponibilidad de agua y se elaboran balances hídricos y planificaciones para la distribución del agua en una comunidad. La definición oficial de caudal es el producto entre la velocidad que tiene el agua y el área por el que circula. Las secciones de control de aforo deben ser accesibles. Existen instrumentos que miden el caudal de forma inmediata denominados caudalímetros los cuales poseen hélices que se mueven según la velocidad del fluido. Otra opción es usar métodos de determinación del caudal, así, el método más usado es el volumétrico, el cual consiste en llenar un recipiente de volumen conocido y contabilizar el tiempo que toma este proceso para reemplazar los datos de volumen y tiempo en la siguiente ecuación (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático 2017):

$$Q = \frac{V}{T}$$

Ecuación 2-1: Caudal

Donde:

Q: caudal expresado en litros/segundo (L/s)

V: volumen del recipiente expresado litros (L)

T: tiempo de llenado expresado segundos (s)

2.2.3. Muestreo

El muestreo del agua es el primer paso para definir un tratamiento de potabilización, pues a raíz de este proceso se determina la composición química del recurso, primero en campo (parámetros *in situ*) y posteriormente en laboratorio (parámetros *ex situ*) mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos. La toma de muestra sigue un protocolo riguroso para garantizar la

obtención de una muestra válida y representativa de toda la masa de agua en estudio (Caraballo y Xavier, 2017, p.4).

El muestreo del agua tiene estatutos que se realizan antes, durante y después del proceso; por ejemplo: previo a la toma de muestra se deben definir los parámetros que se van a analizar considerando el objetivo del muestreo; así mismo se debe contar con el laboratorio acreditado por la entidad reguladora correspondiente (en Ecuador es la SAE) y con los instrumentos de campo certificados para la medición de los parámetros *in situ*. El conocer los parámetros que se van a analizar permite que el muestreador prevea todos los protocolos referidos a tipos de envases, ambiente de conservación de la muestra, etiquetado, transporte, etc., según el parámetro correspondiente (Caraballo y Xavier, 2017, p.2).

Durante el muestreo como se mencionó anteriormente, se debe contar con los materiales e instrumentos adecuados para el análisis que esté por efectuarse, así mismo se debe etiquetar la muestra con fecha, hora, coordenadas, responsable y otros datos que se consideren pertinentes. El agua recolectada de un medio subterráneo debe provenir directamente de la fuente y no de un lugar de almacenamiento. En caso de que el agua sea extraída directamente de la tubería se debe dejar correr el agua durante un par de minutos y así se obtiene una muestra representativa (Caraballo y Xavier, 2017, p.2).

2.2.3.1. Dificultades en la toma de muestra

La dificultad en el muestreo de aguas subterráneas se presenta debido a las características constructivas de la capacitación y las técnicas de muestreo. Se requiere un buen nivel de capacitación del técnico encargado del monitoreo pues debe ser una persona cualificada y entrenada en campo teórico y práctico. Por otro lado, se debe realizar la purga de captaciones para lograr obtener una muestra más representativa, la cual se efectúa mediante el desalojamiento del agua estancada pese a que el pozo estuviera limpio. El tiempo de muestreo es variable ya que se debe purgar el agua y este proceso puede tomar tiempos diferentes según el estado del recurso; además el equipo de extracción también debe ser limpiado previamente y así no contaminar la muestra. Una manera de verificar que el agua va a ser representativa es la medición de parámetros como pH, conductividad que se estabilizan luego de purgar el pozo y desalojar el agua almacenada. Luego de la purga se debe tomar inmediatamente la muestra en el recipiente correspondiente y cerrar herméticamente (Gidahatari, 2017, p.2).

2.2.4. Transporte

El transporte del agua es un proceso crucial para conectar los tratamientos que permiten la potabilización del agua, sin dejar pasar por alto que mediante el sistema de tuberías el recurso llega a los hogares de la población beneficiada del servicio. Es importante realizar un sistema de transporte sin fallas ya que de eso depende que el agua llegue en las condiciones adecuadas cumpliendo con todos los parámetros hasta la comunidad; además se deben hacer estudios preliminares para optimizar recursos, disminuir gastos y minimizar la pérdida de energía en el sistema de conducción que se genera por el uso de uniones y la fricción del líquido con el material en contacto. Finalmente, a través del sistema de transporte se pueden controlar variables en el fluido como caudal, temperatura, presión, velocidad logrando establecer condiciones de control específicas a la entrada y salida de los procesos (Chulluncuy, 2017, p.3).

2.2.5. Aireación

La aireación es el mecanismo de transferencia de oxígeno del aire al agua, pues la superficie del agua necesita oxígeno para completar el ciclo biológico. Mediante este proceso se eliminan olores, color, sustancias gaseosas volátiles, y formar óxidos de hierro o manganeso. La falta de oxígeno origina la descomposición anaeróbica de los compuestos orgánicos presentes en el agua originado o siendo causa de contaminación (Torres y Lozano, 2017, p.4).

2.2.6. Desarenación

El objetivo de este proceso es eliminar la arena del agua cruda, y así evitar que dichas partículas interfieran en la operación de los siguientes equipos y accesorios como bombas, tuberías, entre otros; además de que sería un inconveniente para los procesos posteriores. También se remueven otras partículas como sedimentos gruesos y materia orgánica sedimentable (partículas superiores a 200 micras). Generalmente se emplean desarenadores rectangulares como canales por donde el agua circula a velocidades lentas para que se el asentamiento sea por acción de la gravedad (Chulluncuy, 2017, p.12).

2.2.7. Coagulación

Como su nombre lo indica, consiste en la adición de coagulantes que tienen la finalidad de estabilizar partículas coloidales presentes en el recurso y así lograr su remoción. Es un proceso rápido que depende del pH final de la mezcla y de la concentración del coagulante (Chulluncuy, 2017, p.12).

2.2.8. Floculación

La floculación es un proceso indispensable cuando se da una coagulación, de hecho, son tratamientos continuos. La floculación permite que las partículas desestabilizadas choquen entre ellas y se junten o aglomeren formando flocs (Chulluncuy, 2017, p.12).

El proceso de coagulación y floculación logran remover turbiedad y color en el recurso, así como la eliminación de bacterias, virus, organismos invasores capaces de removerse con la coagulación, algas y otras sustancias causantes de olores y sabores. Este proceso combinado debe ser controlado en todas sus fases ya que de ello depende la eficiencia de los sedimentadores y filtros. La mezcla rápida permite la coagulación y los floculadores ejercen la floculación como su nombre lo indica (Chulluncuy, 2017, p.12).

2.2.9. Sedimentación

Constituye un proceso físico a través del cual las partículas que se hayan suspendidas en el agua logran ser removidas o aisladas del recurso gracias a la acción de la gravedad. La condición es que las partículas sean más densas que el agua para lograr su sedimentación y consecuentemente obtener un fluido clarificado. En este caso la sedimentación y filtración son procesos complementarios ya que mediante el proceso de filtración se remueven las partículas sedimentadas (Chulluncuy, 2017, p.12).

2.2.10. Filtración

Es un proceso físico cuyo propósito es separar partículas y porcentajes de microorganismos como bacterias y virus mediante un medio poroso. Esta fase es la que permite que se cumpla el estándar de calidad para consumo humano, considerando que tienen una eficiencia de remoción superior al 99% de microorganismo. Las partículas que se retienen en los filtros van desde 1 mm hasta bacterias y virus menores a 10^3 mm (Chulluncuy, 2017, p.12). La filtración ayuda también a eliminar hierro y manganeso del agua, así como el color, sabor y olores. Generalmente se emplea arena como medio filtrante y su espesor oscila entre 70 cm hasta 1 m y un tamaño entre 0,8 mm y 1 mm con coeficiente de uniformidad entre 1,5 y 1,7. En el caso de lechos compuesto la capa de arena ocupa un 1/3 del espesor total como valores generales puesto que el espesor y la granulometría dependen de la velocidad de filtración, el tamaño y la naturaleza de las partículas que se desea remover, así como la pérdida de carga (Torres, et al. 2017, p.3).

Un parámetro determinante en el proceso de filtración es la turbidez, ya que cuando el agua ingresa partiendo de un lecho filtrante limpio, existe un intervalo de tiempo inicial corto denominado “periodo de maduración” en donde la turbidez del agua filtrada disminuye hasta mantenerse casi constante por un periodo de tiempo prolongado y esto depende de la altura de la capa del lecho. La pérdida de carga indica la dificultad que presenta el agua para atravesar el lecho y es una medida que sirve para ejercer un seguimiento del estado de atoramiento del lecho a medida que transcurre la filtración. Esta medida es fijada en la construcción del filtro como la cantidad máxima que podrá llegar, de manera que debe ser tal que el tiempo que demora en alcanzar dicha medida. La velocidad de filtración constante se logra con la construcción de filtros que operan a un nivel constante en donde se regule el agua antes del ingreso a la salida con instrumentos como válvulas, sifones, flotadores; o usar filtros de nivel variable en donde el nivel aumente según aumenta la pérdida de carga lo que indica un atascamiento en el lecho flotante (Torres, et al. 2017, p.3). Una vez que se alcanza el máximo de pérdida se debe cerrar el ingreso del recurso para proceder a un lavado contracorriente en donde se efectúe el siguiente procedimiento:

1. Esponjamiento del lecho flotante con aire a baja presión (máximo 1 minuto y mínimo 30 segundos)
2. Lavado con aire y agua (de 3 a 6 minutos)
3. Aclarado con agua (de 7 a 12 minutos)

La expansión del lecho del medio filtrante se logra por el uso de aire que permiten que al rozar los granos del medio uno contra otro, se desprendan las partículas que tienen adheridas y estas sean arrastradas por el agua de lavado hacia los vertederos o canales donde se ejerce la recogida del agua de lavado. Este proceso termina cuando el agua del lavado no tenga indicios de partículas en suspensión.

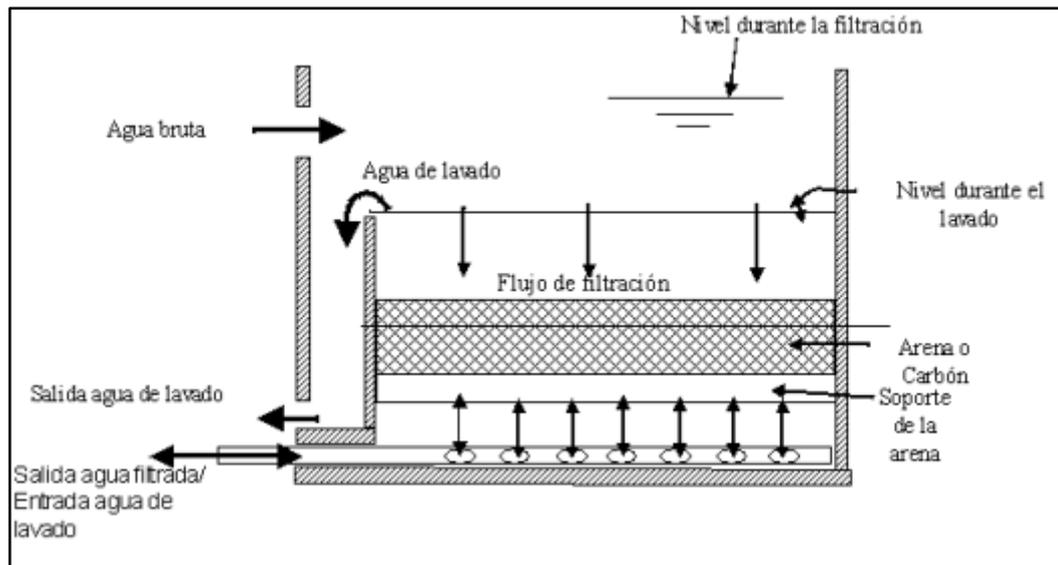


Ilustración 2-4: Lavado contracorriente del filtro

Fuente: (Casero, 2017).

2.2.10.1. Teoría de filtración por un medio filtrante

El lecho de filtración constituye un material grueso como la arena, y la profundidad es variable pues se extiende desde los 30 cm hasta varios metros. La eliminación de partículas con un diámetro inferior al espacio de los huecos en el lecho se describe considerando dos etapas: transporte y fijación. El transporte se puede producir por difusión hasta la superficie del medio filtrante, o por intercepción, sedimentación, choque o transporte ocasionado por la dinámica del agua. Este proceso se ayuda de la floculación que también ocurre en los intersticios del filtro y la distancia corta favorece a la eliminación por sedimentación. Ahora bien, la fijación de las partículas como un proceso posterior al estar en contacto con el medio filtrante es de naturaleza química, por lo que influye el pH, la dosis y naturaleza del polímero, y la composición de la superficie del medio de filtración. Las partículas suspendidas presentes en el agua objeto de filtración, así como el medio filtrante pueden tener cargas eléctricas importantes que ayudan o inhiben la fijación. Las cargas se ven alteradas por cambios en el pH y la presencia de coagulantes químicos (Casero, 2017, p.1).

En un medio granular, la eliminación de las partículas cumple con ciertos criterios, por ejemplo:

- La cantidad de partículas que se eliminan por una capa del medio de filtración es directamente proporcional a la concentración que entran al proceso.
- El rendimiento del filtro varía en el tiempo, de tal forma que su rendimiento al inicio es superior al final.

- La cantidad de partículas que se acumulan en los poros del filtro es proporcional a la cantidad de partículas que se eliminan por una capa del medio filtrante.
- Al transcurrir el tiempo, las capas del medio alcanzan un punto a partir del cual no se produce una clarificación por lo que la cantidad de partículas que ingresan es igual a la cantidad de partículas que salen del proceso.
- El equilibrio se alcanza primero en la capa donde se da la alimentación del filtro y esta progresa según la dirección del flujo

La pérdida de carga aumenta a medida que se van obstruyendo las capas del filtro, de manera que, si esta pérdida de carga es excesiva, se puede producir un vacío en el medio filtrante originando burbujas de aire debido a los gases que abandonan la fase líquida; consecuentemente se consigue que el flujo atraviese la capa filtrante con mayor velocidad y disminuye la posibilidad de retener las partículas en el medio. Previo a la filtración es necesario realizar procesos en donde se retiren las partículas de mayor tamaño, puesto que si estas llegan a la filtración se retienen en las capas superiores y se generan pérdidas de carga al no permitir el paso de fluido y la penetración del floc. Este suceso también se ocasiona cuando el medio filtrante es fino, por lo tanto, es recomendable un medio filtrante grueso para que las partículas finas atraviesen el medio y la pérdida de carga sea menor a medida que pasa el tiempo logrando una mejor eficiencia del filtro y evitando procesos de limpieza continuos y en corto tiempo. En base a lo manifestado, el parámetro más importante de la filtración es el área del medio filtrante, ya que de esta medida depende el tamaño de las partículas, la profundidad, el tiempo de contacto entre las partículas y el medio llegando a la conclusión de que si aumenta el espesor del medio filtrante también debe aumentar el tamaño de las partículas del medio (Casero, 2017, p.2).

2.2.10.2. Medio filtrante

Existen varios criterios para elegir el medio filtrante, entre los que destacan su durabilidad, grado de purificación, duración de los ciclos de filtración y la facilidad de lavado contracorriente. Un medio óptimo debe requerir la menor cantidad de agua para el lavado, ser de tamaño ideal y naturaleza tal que produzca un efluente con una buena calidad. El tamaño del medio se determina por su tamaño efectivo (tamiz), el cual está expresado en milímetros mismo que deja pasar un 10% del peso. Es necesario considerar el coeficiente de uniformidad que hace referencia a la uniformidad del tamaño del medio siendo el resultado de la relación entre el tamaño del tamiz y el tamaño efectivo. Los materiales finos producen mejores efluentes, pero a la par ocasiona mayor pérdida de carga en las capas superiores por lo que el ciclo de filtración es más corto. En el otro lado están los materiales gruesos que ocasionan mayor penetración del floc, pero tienen mayor

capacidad de almacenamiento, mayor duración de los ciclos y el lavado contracorriente es más favorable por ser más sencillo. El medio filtrante más comercial es la arena, por ser un material barato y con gran efectividad para el proceso de filtración. La arena debe cumplir ciertos criterios para ser empleado como medio filtrante, por ejemplo: debe estar limpia (libre de suciedad), ser resistente, dura y de preferencia estar constituida por cuarzo o cuarcita. Es necesario sumergir la arena en ácido clorhídrico durante 24 horas y esta no debe perder más del 5% de su peso. Generalmente se emplea arena con un tamaño efectivo que varía entre 0,45 a 0,55 mm con coeficientes de uniformidad entre 1,20 y 1,70 (Casero, 2017, p.32).

Un sustituto de la arena es la antracita, misma que es empleada en la actualidad en varias plantas de tratamiento, de manera que se puede usar sola o junto con la arena y otros materiales cuando de un filtro mixto se trata (Casero, 2017, p.28).

2.2.10.3. Medios filtrantes mixtos

Los filtros de material granular al ser lavados contracorriente ocasiona que las partículas más finas se depositen en la capa superior mientras que las más grandes se depositan en el fondo. Este fenómeno es desfavorable puesto que el rendimiento del filtro se reduce, pues las partículas que no sean retenidas en la capa superior fácilmente fluirán con el agua y no serán removidas al atravesar el filtro. Consecuentemente se producen pérdidas de carga superiores que aquellas que se dan si los sólidos estuvieran esparcidos por el filtro. Para evitar esa separación de partículas se puede optar por emplear materiales de diferente densidad, de manera que su selección sea en base al tamaño, ya que las partículas más grandes sedimentan más lento que las pequeñas. Los materiales más comunes que se emplean son antracita y arena silícea en un filtro mixto. Es necesario mencionar que los ciclos de filtración tienen mayor duración y por el otro lado, las pérdidas de carga son menores que las que se producen en los filtros de un solo material; pero los ciclos de lavado a contracorriente se deben seleccionar correctamente para eliminar todas las acumulaciones de sólidos que se da en diferentes planos a lo largo del filtro y en su superficie (Casero, 2017, p.6).

2.2.10.4. Filtros de presión

Constituye un filtro rápido de arena, el cual está en un recipiente cerrado que permite el paso del agua por la aplicación de presión. Generalmente el material filtrante tiene un espesor de 45 a 60 cm, usando el mismo coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo del material usado en los filtros abiertos. El sistema de recolección consiste en tubos enrejados o fondos falsos que acumulan el agua filtrada y los transportan por una tubería. La forma de lavado es a

contracorriente, invirtiendo la dirección en la que circula el agua mediante el uso de válvulas y un indicador de carga evidencia el tiempo necesario de lavado. En estos equipos de filtración se debe tener un regulador de caudal y usar coagulantes en el líquido previo a su ingreso al filtro (Casero, 2017, p.8).

2.2.10.5. Etapas complementarias de la filtración

Transporte de partículas dentro de los poros. – hace referencia a un fenómeno hidráulico y físico que se rige a las leyes de transferencia de masas, empleando mecanismos de transporte como cernido, intercepción, sedimentación, difusión, acción hidrodinámica e impacto inercial (Chulluncuy, 2017, p.2).

Adherencia a los granos del medio. – fenómeno de acción superficial donde inciden los parámetros físicos y químicos. Se rige a los mecanismos como las fuerzas de Van der Waals, fuerzas electroquímicas y puentes químicos (Chulluncuy, 2017, p.8).

2.2.10.6. Parámetros de clasificación de las unidades de filtración

Lecho filtrante. – pueden ser lechos simples, dobles o múltiples.

Sentido del flujo. – Ascendente, descendente y mixto.

Forma de aplicar la carga del agua al lecho. – puede ser por acción de la gravedad o por presión proporcionada por una máquina.

Forma de control operacional. – puede ser tasa constante y nivel variable o tasa y nivel constantes o tasa declinante.

2.2.10.7. Factores que influyen en la filtración

Características de suspensión. – hace referencia a todas las propiedades y características de las partículas suspendidas como el tipo, tamaño, densidad, dureza o resistencia. También es incidente la temperatura del agua que se filtra y la concentración de las partículas suspendidas en el afluente (Chulluncuy, 2017, p.2).

Características del medio filtrante. – se refiere al tamaño, tipo, granulometría, peso específico del material que se usa para la filtración, así como el espesor de la capa filtrante (Chulluncuy, 2017,

p.9).

Características hidráulicas. – involucra la carga hidráulica que se dispone para el proceso de filtración, la tasa de filtración, métodos de control de los filtros y la calidad del recurso a filtrar (Chulluncuy, 2017, p.16).

Los filtros requieren un lavado puesto que a medida que pasa el agua se obstruyen los poros del medio filtrante al retener las partículas que se desean remover; además el agua no debe poseer una turbiedad superior a 1 NTU, y un color menor a 5 UCV para realizar la filtración (Chulluncuy, 2017, p.73).

2.2.10.8. *Diseño de un filtro lento de arena*

a) **Número de unidades**

Hace referencia a la cantidad de equipos para la filtración; considerando factores como caudal, ubicación, mantenimiento y costos (Bareño, 2017, p.2).

$$Nu = \frac{\sqrt{Q_{entrada}}}{4}$$

Ecuación 2-2: Número de unidades en el filtro lento

Donde:

Nu = Número de unidades

$Q_{entrada}$ = caudal de entrada al filtro (m^3/s)

b) **Área del medio filtrante**

Superficie en la que se ubica el medio filtrante y sus respectivas capas (Bareño y Figueroa 2017).

$$Am = \frac{Q_{entrada}}{t_f}$$

Ecuación 2-3: Área del medio filtrante

Donde:

$Q_{entrada}$: caudal de entrada ($m^3/día$)

t_f = tasa de filtración ($m^2 / (m^3 \cdot \text{día})$)

A_m = área del medio filtrante (m^2)

c) Coeficiente de mínimo costo

Factor de corrección que relaciona la longitud con el ancho para el dimensionamiento (Bareño y Figueroa 2017).

$$Kc = \frac{2Nu}{Nu + 1}$$

Ecuación 2-4: Coeficiente de mínimo costo (filtro)

Donde:

Kc = coeficiente de mínimo costo

Nu = número de unidades

d) Largo de la unidad

Tamaño horizontal del filtro (Bareño y Figueroa 2017).

$$Lu = \sqrt{Am \cdot Kc}$$

Ecuación 2-5: Largo del filtro

Donde:

Lu = Longitud de cada unidad (m)

Kc = Coeficiente de mínimo costo

A_m = área del medio filtrante (m^2)

e) Ancho de la unidad

Distancia perpendicular a lo largo del equipo (Bareño y Figueroa, 2017, p.26).

$$Bu = \sqrt{\frac{Am}{Kc}}$$

Ecuación 2-6: Ancho del filtro

Donde:

K_c = Coeficiente de mínimo costo

A_m = área del medio filtrante (m^2)

B_u = ancho de cada unidad (m)

f) Velocidad de filtración

Distancia que recorre el agua a través del filtro, por unidad de tiempo (Bareño y Figueroa 2017).

$$V_f = \frac{Q_{entrada}}{2(Lu \cdot Bu)}$$

Ecuación 2-7: Velocidad de filtración

Donde:

V_f = velocidad de filtración (m/s)

B_u = ancho de cada unidad (m)

L_u = Longitud de cada unidad (m)

g) Caudal de salida

Cantidad de agua por unidad de tiempo que sale del filtro lento de arena.

$$\frac{Q_{entrada}}{Q_{salida}} = 1,43$$

Ecuación 2-8: Caudal de salida del filtro

Donde

$Q_{entrada}$: caudal de entrada al filtro (m^3/h)

Q_{salida} : caudal de salida del filtro (m^3/h)

h) Altura del filtro

Distancia perpendicular del filtro con respecto al suelo (Bareño y Figueroa 2017).

$$h = \frac{V}{(Lu \cdot Bu)}$$

Ecuación 2-9: Altura del filtro

Donde:

V = volumen del agua dentro del filtro (m³)

Bu = ancho de cada unidad (m)

Lu = Longitud de cada unidad (m)

i) **Altura del desagüe**

Altura existente entre la superficie de la base del equipo hasta el lecho filtrante (Bareño y Figueroa, 2017, p.32).

$$\frac{h_{\text{filtro}}}{h_{\text{desagüe}}} = 6,7$$

Ecuación 2-10: Altura del desagüe

Donde:

h_{filtro} = Altura del filtro (m)

$h_{\text{desagüe}}$: altura del desagüe (m)

j) **Diámetro de la grava**

Diámetro de la grava en función del medio filtrante.

$$d_{\text{grava}} < 25(d_{\text{medio filtrante}})$$

Ecuación 2-11: Diámetro de la grava

Donde:

d_{grava} : diámetro de la grava (mm)

$d_{\text{medio filtrante}}$: diámetro medio filtrante (mm)

k) **Diámetro de la gravilla**

Diámetro de la gravilla en función del medio filtrante.

$$d_{\text{gravilla}} < 5(d_{\text{medio filtrante}})$$

Ecuación 2-12: Diámetro de la gravilla

Donde:

d_{gravilla} : diámetro de la gravilla (mm)

$d_{\text{medio filtrante}}$: diámetro medio filtrante (mm)

l) Caudal de lavado

Volumen de agua necesaria por unidad de tiempo para realizar el retrolavado del filtro (Bareño y Figueroa, 2017, p.3).

$$Ql = Am \times Ve$$

Ecuación 2-13: Caudal de lavado (filtro)

Donde:

Ql = caudal de lavado (m^3/s)

Am = área del medio filtrante (m^2)

Ve = velocidad de lavado (m/s)

m) Volumen para retrolavado

Cantidad de agua necesaria para el proceso de retrolavado (Bareño y Figueroa 2017).

$$Vol = Ql \times t$$

Ecuación 2-14: Volumen de agua para proceso de retro lavado

Donde:

Ql = caudal de lavado (m^3/s)

t = tiempo de lavado (s)

n) Cantidad de agua filtrada durante tiempo de carrera

Volumen de agua que se filtrará en el tiempo de filtración establecido (tiempo de carrera) (Bareño y Figueroa 2017).

$$Vol_c = Q_{\text{entrada}} \times tc$$

Ecuación 2-15: Volumen de agua filtrada

Donde:

Vol_c = volumen de carrera

Q_{entrada} = caudal de entrada

tc = tiempo de carrera

o) Diámetro de tubería para afluente

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_{entrada}}{v \times \pi}}$$

Ecuación 2-16: Diámetro de tubería para el filtro

Donde:

$Q_{entrada}$: caudal de entrada al filtro (m^3/s)

v: velocidad de diseño para tuberías en filtros (m/s)

p) Área de orificios

$$A_o = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Ecuación 2-17: Área de orificios

Donde:

A_o : área de orificios (m^2)

D: diámetro de tubería (m)

2.2.10.9. Criterios de diseño

Tabla 2-4: Criterios de diseño para filtros lento de arena y zeolita

Criterios de diseño	Valores recomendables
Periodo de diseño	10 a 15 años
Periodo de operación	24 h/d
Velocidad de filtración	0,1 a 0,3 m/h
Tasa de filtración	20,8 $m^3 / (m^2 \cdot día)$
Área superficial del filtro	5 a 20 m^2 por filtro (mínimo 2 unidades)
Altura del lecho filtrante inicial	0,8 a 0,9 m
Altura del lecho filtrante mínimo	0,5 a 0,6 m
Tamaño efectivo de la arena	0,15 a 0,30 mm
Altura de drenaje incluye capa de grava	0,3 a 0,5 m
Altura de seguridad	10% - 15% de la altura total

Altura de agua sobrenadante	0,8 a 1,0 m
Coefficiente de uniformidad de la arena	<5
Carga superficial	120 a 360 m ³ /m ² d
Velocidad de retrolavado	0,013 a 0,02 m/s
Tiempo de retrolavado	20 minutos
Tiempo de carrera	25 días
Espesor de la grava	10 cm
Espesor de la arena	5 cm
Espesor arena fina	5 cm
Tamaño efectivo de la grava	5 a 20 mm
Diámetro de tubería	2 a 4 cm
Velocidad de diseño para tuberías	0,3 a 1,2 m/s

Fuente: (Bareño y Figueroa 2017)

2.2.10.10. Criterios de operación y mantenimiento del filtro

Estos filtros desarrollan una capa biológica sobre la arena, por ello para que funcione adecuadamente siempre debe permanecer como mínimo 10 cm de agua por encima de la capa de arena y así evitar la muerte de la capa biológica. Además, se recomienda amortiguar la caída del agua sobre la capa de arena para preservar la capa biológica. El filtro debe estar ubicado en un lugar fresco y con poca luz para evitar el crecimiento de algas, y la limpieza se efectúa cuando el flujo de agua que atraviese el equipo sea escaso. Se debe limpiar o raspar al menos un centímetro de la capa de arena fina y rellenar con nuevo material. Una vez efectuada 4 o 5 limpiezas se debe dar una mejora completa al sistema el cual se logra sacando la arena del filtro y lavando con agua purificada, se desinfecta el medio filtrante, se enjuaga el tanque y se coloca nuevamente las partículas de arena, grava y gravilla. Se recomienda esperar 5 días para consumir el agua filtrada.

2.2.11. Desinfección

Constituye el último proceso del tratamiento de agua para consumo humano, cuyo objetivo es destruir selectivamente a los organismos infecciosos presente en el medio. En este proceso no todos los organismos son eliminados por ello se requieren procesos previos como filtración, sedimentación, coagulación y floculación (Chulluncuy-Camacho 2017).

2.2.11.1. Factores que influyen en la desinfección

- Microorganismos y su comportamiento
- Naturaleza y concentración de la sustancia desinfectante
- Temperatura del agua
- Calidad y naturaleza del agua
- pH del agua
- Tiempo de contacto entre el recurso y el agente desinfectante

La eficacia del proceso de desinfección se mide por el porcentaje de organismos muertos en un intervalo de tiempo, a un pH y temperatura preestablecida. La resistencia de los organismos varía ya que están en función del tipo de microorganismo que sea, de esta manera, las esporas bacterianas son las más resistentes. Es menester garantizar que no haya la presencia de sólidos en este proceso ya que reduce la eficacia de la desinfección debido a que la posibilidad de que los microorganismos estén adheridos a los sólidos es superior y eso dificulta el contacto con el agente desinfectante. En el campo práctico los agentes desinfectantes más utilizados son el cloro, bromo, yodo, ozono y permanganato de potasio en cuanto a medios químicos. La luz, los rayos ultravioletas, filtración y sedimentación son los más empleado como medios físicos de desinfección. De estos, el cloro es el más importante ya que por su versatilidad se puede emplear como gas. Líquido o de sal que es el hipoclorito de sodio. Las ventajas es que es de fácil aplicación, bajo costo y su manejo es relativamente sencillo. La dosificación correcta no pone en peligro al hombre ni a los animales y protege al recurso de que sufra contaminación en las redes de distribución (Chulluncuy, 2017, p.1).

2.2.11.2. El cloro en el agua

Desinfectar el agua consiste en exterminar bacterias y microorganismos presentes en el recurso, es así como, el cloro se emplea como agente desinfectante casi universal para lograr ese cometido, gracias a que es una sustancia barata, segura y no presenta dificultad en su manejo (Casero, 2017, p.2). La reacción del cloro en el agua se representa por la siguiente ecuación:



El ácido hipocloroso (ClOH), se ioniza y se disocia en hidrógeno y en hipoclorito mediante la siguiente ecuación:



Es así como, el ácido hipocloroso y los iones hipoclorito realizan la esterilización. El valor del pH del agua es un parámetro importante ya que de eso depende el grado de ionización, mientras que la eficacia de la desinfección depende de la cantidad de ácido hipocloroso e iones hipoclorito presentes en el agua, de manera que la eficacia se reduce a altos niveles de pH. Los iones hipoclorito, el ácido hipocloroso y el cloro molecular presente en el agua se define como cloro libre disponible (Casero, 2017, p.45).

La demanda de cloro en el agua es igual a la diferencia que hay entre la cantidad de cloro añadida y la cantidad de cloro presente como residual ya sea de forma libre o combinada, dentro de un intervalo de tiempo. El cloro es empleado para desinfección, prevención y mitigación de olores, eliminación de hierro, y del color (Casero, 2017, p.45).

2.2.11.3. Cloración

La cloración es considerada por dos aspectos: el momento en el que se añade en el proceso y según los resultados finales.

Simple cloración. – existen lugares en donde la única garantía de sanidad es un proceso de cloración, pues se emplean aguas superficiales sin ningún otro tratamiento previo más que un periodo de almacenamiento largo. Las aguas que no reciben tratamiento previo tienen altas probabilidades de contener materia orgánica en cantidad significativas, por lo que requieren grandes dosis y largos tiempos de contacto para garantizar la efectividad del tratamiento de cloración. La dosificación recomendada es 0,5 mg/L cuando únicamente se trata de desinfección (Casero, 2017, p.1).

Precloración. – es la aplicación de cloro antes de realizar cualquier tratamiento y se puede efectuar en las tuberías que conducen el agua cruda o en la cámara de mezcla a medida que el agua ingresa. Este proceso tiene varias ventajas; por ejemplo: mejora la coagulación por lo que optimiza el proceso y reduce costes, así como olores y sabores del agua que originan fangos en el proceso de sedimentación. Consecuentemente permite que la arena de los filtros se conserve más limpios aumentando su duración. La dosificación va entre 0,1 mg/L a 0,5 mg/L. Este proceso puede ser combinado con la poscloración cuando el agua cruda tiene excesiva carga contaminante (Casero, 2017, p.45).

Poscloración. – consiste en la adición del cloro en el agua después de un tratamiento. Este es el proceso más común y normalizado en las estaciones de potabilización, especialmente en las

instalaciones de filtros rápidos, denominada también cloración marginal. El cloro se puede añadir en la aspiración de bombas, pero generalmente se añade en los tanques de almacenamiento a la salida del filtro. El tiempo de contacto debe ser mínimo de 30 minutos si solo se aplica poscloración en el proceso y la dosificación depende del carácter del agua, encontrándose en un intervalo optimo que va de 0,25 a 0,5 mg/L (Casero, 2017, p.1).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño experimental

3.1.1. Tipo de estudio

En la presente investigación se emplean dos tipos de estudio: exploratorio y experimental. El estudio exploratorio es necesario pues se debe determinar la calidad del agua inicial mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos y así evaluar los contaminantes presentes en el agua. El estudio experimental es el punto clave en la investigación ya que se debe efectuar un tratamiento de potabilización para corregir la calidad de agua y volverla apta para el consumo humano mediante el control de procesos.

3.1.2. Localización del proyecto

El proyecto se realizó en la parroquia San José, perteneciente al cantón Naranjito, provincia del Guayas. Es una zona rural netamente agrícola y comercial. La temperatura en esta zona oscila entre los 15° C y los 28° C como temperatura media anual. El punto de muestreo se encuentra a 70 msnm (Naranjito, 2014, p.75).

Tabla 3-1: Coordenadas UTM de ubicación del proyecto

Descripción	Coordenada X	Coordenada Y
Coordenadas UTM zona 17S	0677793	9766566

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

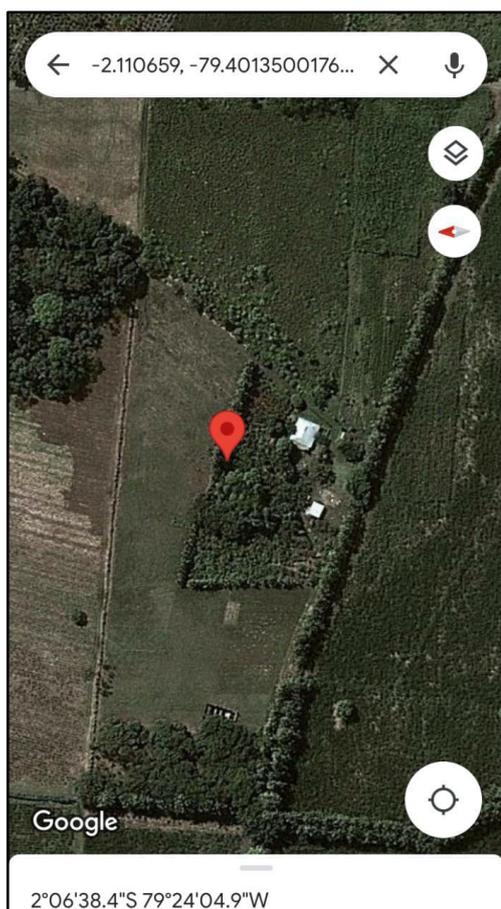


Ilustración 3-1: Mapa de ubicación del punto de muestreo

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

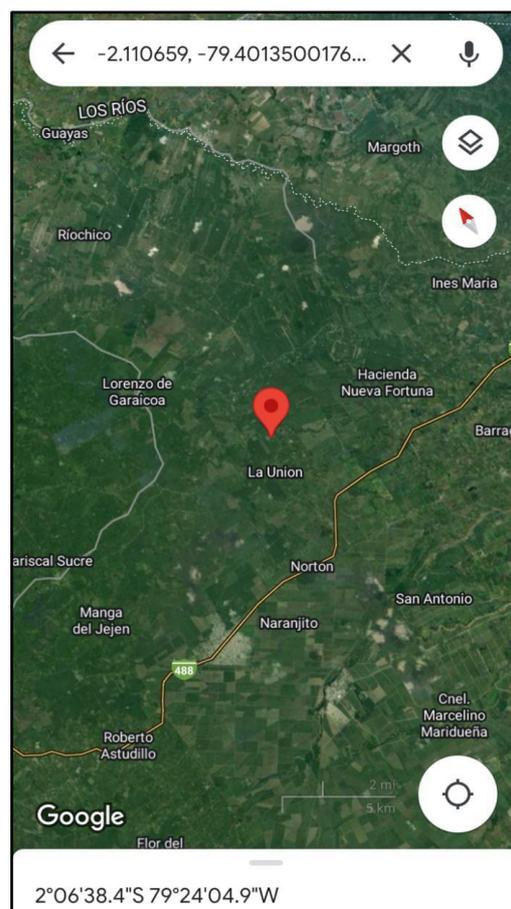


Ilustración 3-2: Mapa de ubicación del punto de muestreo y localidades aledañas

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

3.2. Materiales, equipos y reactivos

Tabla 3-2 Materiales, equipos y reactivos para toma de muestra y análisis en el laboratorio

Materiales	Equipos	Reactivos
Cooler	GPS	Gel packs
Envase ámbar de 1 L (5)	Multiparámetros	Nitrato de plata
Frasco esterilizado de 100 mL para muestra biológica (7)	Cronómetro	Cromato de potasio
Erlenmeyer	Colorímetro	Cianuro al 1%
Equipo de filtración	Cámara de flujo laminar	Buffer pH10
Bureta	Incubadora	Negro de eriocromo
Pipeta volumétrica 25 mL	Bomba de succión	EDTA 0,02 M
Pipeta plástica	Turbidímetro	Fenolftaleína
Soporte universal	Espectrofotómetro	Ácido sulfúrico 0,05
	HACH	N

Vaso de precipitación	Balanza analítica	Naranja de metilo
Espátula	Tamiz	Hidróxido de sodio 1N
Tubos de ensayo con tapa rosca 10 mL		Cianuro de potasio
Gradilla		Murexida
Kitasato		Reactivos HACH
Probeta		Agua destilada

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

Tabla 3-3: Materiales y equipos para la elaboración del filtro

Materiales	Equipos
Tubo PVC	Cronómetro
Teflón	
Uniones	
Baldes de 20 litros de capacidad	
Válvula de flotador	
Grava	
Gravilla	
Piedra	
Arena	
Zeolita	

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

3.3. Metodología

3.3.1. Medición de caudal

El caudal fue medido haciendo uso del método volumétrico. Se llenó un recipiente de volumen conocido mientras se monitoreó el tiempo de llenado con ayuda del cronómetro para a partir de estos datos determinar el caudal. Se realizó este procedimiento 3 veces para disminuir el margen de error. La medición del caudal se efectuó 3 veces en un día durante una semana para determinar un caudal diario promedio y evaluar su variación. Las mediciones se realizaron a las 06:00, 13:00 y 19:00 desde el 4 de abril hasta el 10 de abril.

3.3.2. Toma de muestra de agua subterránea

La muestra se tomó en un solo punto de muestreo debido a que el agua subterránea que es bombeada se almacena en un tanque colector a partir del cual surgen tuberías que conducen el agua a las diferentes instalaciones del domicilio; por lo tanto, no existe mayor diferencia en la composición del agua en los diferentes puntos de destino. Se tomaron 3 muestras durante 3 semanas en las fechas de 6, 13 y 20 de abril de 2022 tanto para análisis de parámetros físicos y químicos como de biológicos; y otras 4 muestras los días 8, 15, 22 y 30 de mayo únicamente para análisis microbiológico.

Para la toma de la muestra se dejó correr el agua durante 2 minutos y así obtener una muestra representativa. Una vez purgada el agua se procede a enjuagar el envase ámbar de 1 L durante 3 veces con el agua de la muestra para finalmente tomar la cantidad de líquido correspondiente y tapar el recipiente. Se procede a etiquetar correctamente la muestra y almacenarla en el cooler para su transporte al laboratorio.

El mismo procedimiento se realizó para tomar la muestra para análisis biológicos en el frasco esterilizado, en este caso no fue necesario enjuagar el envase 3 veces sino la muestra se tomó directamente en el envase para proceder a taparlo y evitar su contaminación. La muestra fue etiquetada y almacenada como se indica en la norma INEN 2 169:98 para su transporte y posterior análisis en el laboratorio.

3.3.3. Medición de parámetros in situ

Los parámetros in situ fueron medidos con un multiparámetro que arroja valores de temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos. Esto se realizó después de la toma de muestra utilizando un recipiente esterilizado en el que se recolectó el agua e inmediatamente se introdujo el multiparámetro que al instante proporcionó la información requerida.

3.3.4. Caracterización física, química y biológica de la muestra de agua

La caracterización física, química y biológica de la muestra de agua se realizó en el laboratorio de calidad de agua de la Facultad de Ciencias, ESPOCH. Se realizaron 3 análisis para determinar la calidad promedio del agua subterránea en los días 7 y 8 de abril correspondiente al primer muestreo, 14 y 15 de abril correspondiente al segundo muestreo, 21 y 22 de abril correspondiente al tercer muestreo. En cada análisis se determinaron los valores para los siguientes parámetros: color, turbiedad, cloruros, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, sulfatos, amonios, nitritos, nitratos, hierro, fosfatos, sólidos totales y coliformes totales. Después de obtener los

resultados y someter el agua al proceso mediante el cual se corrija los parámetros que están fuera de rango se realizaron 3 caracterizaciones que fueron evaluadas los días 3, 9 y 16 de mayo del 2022.

Tabla 3-4: Método de determinación para parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua

Parámetro	Método de determinación
Temperatura	Standard Methods 2550 B
pH	Standard Methods 4500-H ⁺ B
Conductividad	Standard Methods 2510
Color	Standard Methods 2120
Sólidos disueltos	Standard Methods 2540 C
Turbiedad	Standard Methods 2130 B
Cloruros	Standard Methods 4500 B
Dureza	Standard Methods 2340 B y C
Calcio	Standard Methods 3500-Ca
Magnesio	Standard Methods
Alcalinidad	Standard Methods 2320 B
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ E
Amonios	Standard Methods 4500-NH ₃ D
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ ⁻ B
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ ⁻
Hierro	Standard Methods 3500 Fe
Fosfatos	Standard Methods 4500 D
Sólidos totales	Standard Methods 2540 B
Coliformes totales	Standard Methods 9222 B

Fuente: (APHA 1992)

3.3.5. Selección de tratamiento de potabilización

Luego de realizar los análisis físicos, químicos y biológicos se realizó una comparación con los límites permisibles según las normas INEN 1108 para calidad del agua potable. En base a ello se determinaron los parámetros que se encuentran fuera de rango para establecer un procedimiento que reduzca la presencia del contaminante en el agua de manera que al final este recurso proveniente de una fuente subterránea sea ideal para el consumo de la población en estudio.

3.3.6. Construcción del filtro lento

Para la construcción del filtro se partió del cálculo del caudal, ya que este parámetro permite definir otras medidas como área del filtro, longitud, ancho, etc. Se consideraron los parámetros de diseño de la tabla 1-4 para definir algunos valores mediante las fórmulas del apartado 1.2.10.8. Se elaboraron 3 filtros con la finalidad de analizar el mejor medio filtrante que garantice el mayor

porcentaje de remoción de contaminantes. Los medios filtrantes seleccionados fueron arena y zeolita; de manera que se elaboraron 3 filtros: uno con arena, uno con zeolita y uno con arena y zeolita. Adicional los 3 filtros contienen una capa de roca, grava, gravilla, y el medio filtrante de interés. En los recipientes que sirven como filtros se coloca en la parte inferior muy cerca de la base una conexión de tubos PVC con agujeros de 4 mm de diámetro cada 2 cm de distancia, mismos que deben estar conectados a una tubería principal que es por donde sale el agua filtrada al siguiente proceso. Por debajo y encima de la conexión de tuberías se coloca desde el material más grueso hasta el más fino de forma ascendente. De igual manera, en la parte inferior del filtro se realizó un agujero con una llave de paso que sirve para purgar el filtro, mientras que en la parte superior se colocó otra llave de paso que permite expulsar el agua resultante del retrolavado. Adicional se calcularon parámetros hidráulicos para el medio filtrante (Bareño y Figueroa, 2017, p.4).

3.3.7. Determinación de la densidad y porosidad del medio filtrante

Para determinar estos factores hidráulicos del medio filtrante se debe pesar una probeta de volumen conocido vacía y la probeta con el medio filtrante para determinar la densidad real, aparente y porosidad mediante gravimetría. Adicional se debe pesar la probeta con el medio filtrante y el agua que cubra hasta el nivel medio filtrante. Con esos datos se determina la porosidad y la densidad.

3.3.8. Determinación del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo del medio filtrante

Ordenar los tamices de manera que el tamiz con menor abertura de malla quede en la parte inferior y el que contenga la mayor abertura de malla quede en la superficie. Se ordenan de forma ascendente: #200, #100, #70, #50, #30, #16, #8, #4. Los tamices deben estar bien ensamblados y correctamente ordenados para evitar la pérdida de material y la obtención de resultados correctos. Previo al ensamblaje de los tamices se deben limpiar y pesar cada uno. Se procede a colocar una cantidad de muestra conocida del material filtrante para contabilizar la cantidad de muestra retenida en cada tamiz. Finalmente se verifica que la pérdida del material no supere el 2% del material inicial. Se realizó este procedimiento para la arena fina, arena gruesa, zeolita fina y zeolita gruesa.

3.3.9. Funcionamiento del filtro

El funcionamiento del filtro se evaluó al dejar pasar agua cruda a este proceso para en primera instancia verificar que no existan fugas. El prototipo tiene un periodo de funcionamiento continuo

que fue evaluado durante 30 días al realizar análisis microbiológicos durante 3 semanas consecutivas para ver la eficiencia del equipo de filtración. De igual manera se realizó un proceso de retro lavado y se volvió a dar funcionalidad al equipo para ver el grado de afección que ocasiona utilizar el filtro después de un proceso de lavado y garantizar la reutilización del medio filtrante.

CAPÍTULO IV

4. CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen las fórmulas, cálculos, y resultados que fueron realizados para cumplir con el fin de la investigación la cual radica en proveer de agua de buena calidad y apta para el consumo humano a un grupo familiar del recinto San José.

4.1. Caracterización física, química y biológica de la muestra de agua subterránea

Se realizó el análisis de 20 parámetros físicos, químicos y biológicos en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Esta caracterización se realizó 3 veces para verificar la calidad del agua y reducir el margen de error en las mediciones y análisis correspondientes.

Tabla 4-1 Caracterización física, química y biológica de la muestra de agua subterránea

Parámetro	Unidades	Primer análisis	Segundo análisis	Tercer análisis
pH	Adimensional	7,25	7,14	7,21
Temperatura	°C	29	29	29
Conductividad	µs/Cm	265	286	277
Sólidos disueltos	mg/L	129	115	136
Color	Pt-Co	< 1	<1	<1
Turbiedad	NTU	0,6	0,5	0,6
Cloruros	mg/L	12,76	15,6	18,43
Dureza	mg/L	164	158,4	160
Calcio	mg/L	40	38,4	40,64
Magnesio	mg/L	15,55	15,16	14,19
Alcalinidad	mg/L	115	100	115
Bicarbonatos	mg/L	140,3	122	140,3
Sulfatos	mg/L	40	40	38
Amonios	mg/L	0,03	0,02	0,03
Nitritos	mg/L	0,025	0,03	0,03
Nitratos	mg/L	< 1	1	1,5
Hierro	mg/L	< 0,1	0,02	<0,1

Fosfatos	mg/L	< 0,1	0,03	0,03
Sólidos totales	mg/L	31,73	30,36	34,69
Coliformes totales	UFC/100 mL	186	198	200

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

En la tabla 3-1 se reflejan los resultados de las 3 mediciones realizadas con el objetivo de reducir el porcentaje de error. La mayoría de los parámetros registran valores diferentes en las tres mediciones tal es el caso del pH, conductividad, sólidos disueltos, cloruros, dureza, calcio, magnesio y sólidos totales. (Prato-Moreno, José G et al. 2020) manifiesta en su investigación que existen factores ajenos a la manipulación humana que originan una variación en los registros de concentración para diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos de un recurso hídrico que se esté evaluando, dentro de los cuales se citan el caudal, cambio del uso de suelo, aumento de precipitaciones. Este investigador sugiere que se realice un análisis de influencia cuando los valores registrados para uno o varios parámetros sean extremadamente diferentes pues es indicativo de la existencia de un foco de contaminación por actividades antropogénicas o incluso por causas naturales. En la presente investigación se evidencian variaciones leves en los datos registrados que también están en dependencia de la manipulación del analista pues en su mayoría son procesos de titulación los empleados para cuantificar la concentración de los contaminantes por lo que una variación mínima en la cantidad de titulante conlleva a un resultado diferente.

Tabla 4-2: Parámetros de calidad que cumplen con las normas INEN 1108

Parámetro	Unidades	Promedio	Límites permisibles Normas INEN 1108	Cumple/No cumple
pH	Adimensional	7,20	6,50 – 8,50	CUMPLE
Temperatura	°C	29	Condición natural ±3°	CUMPLE
Conductividad	µs/Cm	276	<1250	CUMPLE
Sólidos disueltos	mg/L	126,7	500	CUMPLE
Color	Pt-Co	<1	15	CUMPLE
Turbiedad	NTU	0,57	5	CUMPLE
Cloruros	mg/L	15,6	250	CUMPLE
Dureza	mg/L	160,8	200	CUMPLE
Calcio	mg/L	39,68	70	CUMPLE
Magnesio	mg/L	14,97	30-50	CUMPLE

Alcalinidad	mg/L	110	250-300	CUMPLE
Bicarbonatos	mg/L	134,2	250-300	CUMPLE
Sulfatos	mg/L	39,33	200	CUMPLE
Amonios	mg/L	0,027	< 0,5	CUMPLE
Nitritos	mg/L	0,028	0,2	CUMPLE
Nitratos	mg/L	0,71	50	CUMPLE
Hierro	mg/L	<0,1	0,30	CUMPLE
Fosfatos	mg/L	0,02	< 0,3	CUMPLE
Sólidos totales	mg/L	32,26	1000	CUMPLE
Coliformes totales	UFC/100 mL	195	Ausencia	NO CUMPLE

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

En la tabla 3-2 se observa la comparación de los valores registrados de los 20 parámetros evaluados en el agua subterránea empleada para consumo humano en el recinto San José, con los límites permisibles estipulados en las normas INEN 1108: Agua potable - Requisitos, en los que se observa que existe un parámetro que no cumple con la normativa ambiental vigente el cual es coliformes totales, al registrar 195 UFC/100 mL cuando la legislación emite que un agua de consumo humano debe carecer de coliformes totales; es decir, este parámetro debe ser ausente en el recurso. La calidad del agua subterránea evaluada es bastante aceptable para ser empleada como fuente de consumo humano, pues el 95% de los parámetros evaluados cumplen con la normativa ambiental vigente al no exceder los límites permisibles indicados en la norma, de esta manera se concluye que el agua subterránea aprovechada por el recinto San José no tiene niveles elevados de contaminación. (Cerón et al. 2021, p.3) afirma que las características hidrogeológicas del agua subterránea hacen que el recurso sea menos susceptible a la contaminación a causa de modificaciones ambientales o actividades antropogénicas; pero en la otra cara de moneda se exhibe el alto grado de dificultad y la fuerte inversión económica que representa descontaminar un recurso hídrico subterráneo por el escenario inaccesible que comprenden; por ello la fuente de agua evaluada tiene parámetros estables y no hay un registro preocupante de contaminación; sin embargo, la influencia de la actividad agrícola en la zona puede ocasionar una contaminación irreversible en diferentes zonas rurales del cantón Naranjito si la misma no es controlada.

La concentración iónica del agua subterránea es representativa del medio, pues el contacto continuo con las formaciones geológicas permite que el agua disuelva materiales con mayor facilidad que el agua superficial. En cuanto a la temperatura se observa que es un parámetro constante así como lo afirma (Grondona, 2017, p.2) en su manual de aguas subterráneas, pues comenta que la temperatura tiene una variación mínima a lo largo de año correspondiente a 1° C por cada

30 m de profundidad o 1° C por cada 33 metros como manifiestan (Murphy et al., 2019, p.7). De igual manera el pH cumple con lo estipulado por varios investigadores como (Rincón, 2017, p.21) quienes otorgan un intervalo general para pH de aguas subterráneas que va desde 6,50 a 8,50 considerado un pH neutro (pH7) el que predomina como es el caso del agua subterránea en estudio.

La conductividad eléctrica corresponde a un valor de 276 $\mu\text{s}/\text{Cm}$ lo cual se sale del rango común de conductividad para fuentes subterráneas, pues (Solís et al., 2018, p.4) comentan en su investigación que los valores generalmente oscilan entre 100 y 200 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, por lo que se puede deducir que en el agua subterránea del recinto San José, Naranjito tiene una cantidad de sales disueltas representativas que aumentan la capacidad conductora de electricidad del agua por lo que se puede hablar de la presencia de sólidos minerales en las formaciones geológicas que es completamente natural en este tipo de ecosistemas.

En cuanto a parámetros organolépticos generalmente su presencia es nula en aguas subterráneas a menos que exista un foco de contaminación, en el caso del color (Grondona, 2017, p.3) afirma que las aguas subterráneas no tienen color como fue el resultado en la investigación, y en caso de poseer color es por presencia de sólidos en suspensión o sustancias disueltas. Por otro lado, el agua en estudio corresponde a un agua dulce ya que tiene una concentración baja de cloruros, por lo tanto la salobridad también es baja como lo afirma (Colmenares y Mare, 2017, p.21), caso contrario no serviría para consumo humano, ganadería o riego sin antes aplicar un proceso de salinización que es costoso y demanda muchos recursos. En cuanto a dureza se cataloga al agua como semidura lo cual es muy común en aguas subterráneas por el contacto con el medio geológico, que en este caso tiene formaciones cálcicas y magnésicas que son los iones presentes en mayor proporción en las aguas subterráneas a lo que se atribuye también los valores de calcio y magnesio que son evidentes en la composición del recurso, pero al igual que la dureza no sobrepasan los límites permisibles; sin embargo si se compara con una fuente de agua superficial pues si presenta valores más elevados como es el caso de la investigación realizada por (Beita et al., 2018, p.4) donde los valores para calcio y magnesio son 8,93 mg/L y 3,92 mg/L respectivamente para una cuenca hídrica.

La presencia de sólidos disueltos en el agua subterránea es notoria, pues estos sólidos corresponden a minerales, sales, compuestos orgánicos e inorgánicos que son comunes en aguas tanto superficiales como subterráneas, pero más en aguas subterráneas por las condiciones del medio circundante. La cantidad de sólidos disueltos no excede los límites permisibles para agua de consumo humano según las normas INEN 1108, pero está bastante cerca del límite de concentración; sin embargo es un agua catalogada como excelente según (Sandoval et al., 2018, p.5)

ya que está en la mínima concentración que estipula la OMS.

Según (Luján et al., 2019, p.2) los factores como uso del suelo, la estructura y composición del suelo, los microorganismos que habitan, los flujos de agua y el manejo de recursos modifican o condicionan la calidad de fuentes hídricas subterráneas. Las actividades productivas influyen significativamente en la diversidad microbiana del agua, especialmente por el aporte de materia orgánica que no solo modifica la comunidad microbiana nativa sino altera la calidad higiénica del recurso produciendo consecuencias ambientales y ecosistémicas. El principal foco de contaminación biológica es la actividad ganadera, pues los patógenos que salen en las excretas llegan al agua por mecanismo de infiltración, siendo el caso de los coliformes totales. En base a lo manifestado y según lo estipulado en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Naranjito, el área rural de este cantón incluido el recinto San José es netamente agrícola y ganadero ya que el 80% de la población se dedica a trabajar la tierra y pastar ganado, por ello surge la importancia de la presente investigación ya que el agua subterránea no solo se emplea para consumo humano sino para actividades de riego y pastoreo que son la actividad económica predominante en la zona y por lo cual se debe preservar el recurso para salvaguardar la salud de las comunidades como su fuente de ingreso económico.

En el agua analizada se evidenció la presencia de coliformes totales, mismos confirman el origen fecal de la contaminación. Esta polución tiene fuentes diversas que incluye el agua de drenaje, aplicación de abonos orgánicos y filtraciones de efluentes superficiales o los famosos tanques sépticos. En el recinto San José no existe un sistema de alcantarillado, en su lugar usan pozos sépticos que ya tienen varios años de uso y por lo tanto se encuentran deteriorados los que pueden ocasionar fugas y consecuentemente la infiltración. Además, las tuberías que proceden de la ducha y de la cocina desembocan directamente sobre el suelo a unos 20 metros del domicilio principal, entonces los detergentes y aguas grises de igual manera se infiltran por el suelo hasta alcanzar el recurso subterráneo; sin embargo, la capacidad de retención del suelo no permite que estos contaminantes lleguen en su totalidad o en cantidad significativas. Finalmente, al ser una zona agrícola la demanda de fertilizantes es elevada, pues cada cultivo tiene su tiempo de fumigación, lo que también resumen en contaminación a través de infiltración. De esta manera se deduce que existen varios factores que contribuyen con coliformes fecales en el recurso analizado, y que indudablemente si no se dan mejoras ambientales a través de proyectos, pues la situación será más alarmante en unos años al ir paulatinamente erosionando el suelo por la explotación agrícola por lo que dejará de retener contaminantes y estos llegarán en mayor cantidad al agua subterránea siendo un verdadero reto restaurar el recurso.

4.2. Medición de caudales

En el recinto San José, cantón Naranjito, la actividad económica mayoritaria es la agricultura, especialmente en el área de estudio de la presente investigación. La jornada laboral inicial a las 06:30, razón por la cual se eligió el horario de 06:00 para medir el caudal pues es el horario en donde hay más consumo de agua para la preparación de alimentos y aseo principalmente de lunes a sábado. Los otros dos horarios elegidos de igual forma corresponden al momento del día en el que se da mayor consumo de agua, ya que fuera de esos horarios se puede emplear agua, pero no para consumo humano sino para actividades de riego, lavandería, entre otros. Se registraron los siguientes valores de tiempo para la medición del caudal:

4.2.1. Cálculo del caudal

Datos

Volumen (V): 20 L

Tiempo (T): 183 s

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$Q = \frac{20L}{183 s}$$

$$Q = 0,111 L/s$$

Se aplicó la misma fórmula para los datos restantes, en donde el valor del volumen se mantiene constante, mientras que el tiempo es variable. Se obtienen los siguientes resultados para caudal:

Tabla 4-3: Resultado de la medición de caudales (L/s)

Fecha Hora	Lunes 4 de abril	Martes 5 de abril	Miércoles 6 de abril	Jueves 7 de abril	Viernes 8 de abril	Sábado 9 de abril	Domingo 10 de abril
6:00	0,109	0,111	0,109	0,110	0,111	0,109	0,108
	0,111	0,110	0,108	0,110	0,112	0,109	0,108
	0,112	0,112	0,109	0,112	0,110	0,109	0,109
13:00	0,111	0,112	0,112	0,111	0,111	0,110	0,114
	0,112	0,111	0,110	0,109	0,111	0,109	0,114
	0,114	0,110	0,111	0,110	0,110	0,110	0,114
19:00	0,111	0,110	0,110	0,112	0,109	0,111	0,109
	0,110	0,109	0,111	0,112	0,109	0,110	0,110
	0,110	0,111	0,110	0,112	0,110	0,109	0,111

Promedio diario	0,111	0,111	0,110	0,111	0,111	0,110	0,111
Promedio semanal	0,111						

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

En la tabla se puede apreciar el valor del caudal semanal promedio correspondiente a 0,111 L/s. Este valor será empleado para fines de diseño.

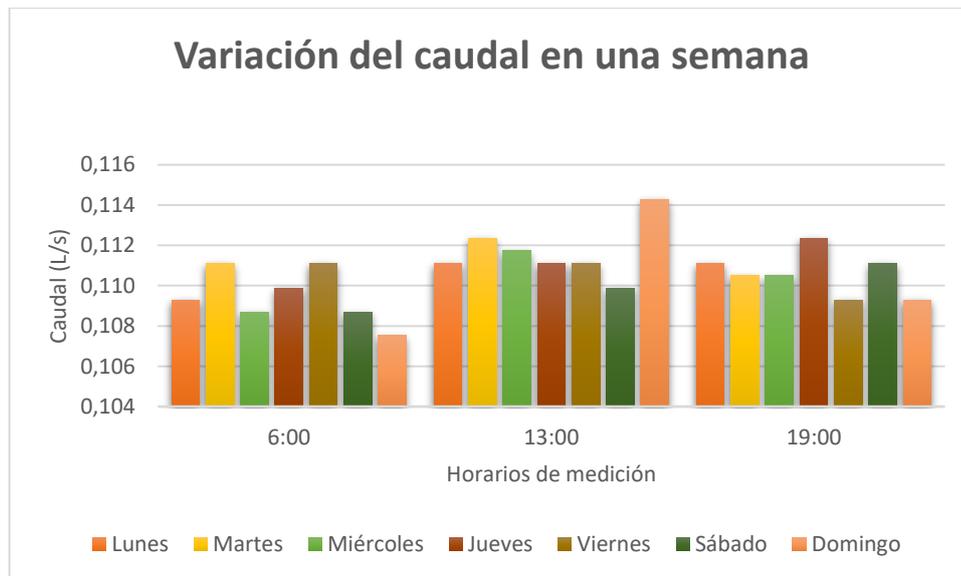


Ilustración 4-1: Variación del caudal en una semana de medición

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

En el gráfico se observa una ligera variación en los datos calculados para el caudal durante una semana. El valor que más destaca es el caudal medido a las 13:00 el domingo 10 de abril, pues es el valor más alto del caudal registrado debido a que en la zona los días domingo suele concentrarse la familia para una reunión, por lo que la demanda de agua es mayor, así como su consumo. Por el lado contrario, el menor caudal registrado corresponde al domingo en horario de 6:00 ya que los días domingo son de descanso y la comunidad no madruga a preparar alimentos para enviar a sus familiares a sus trabajos. En lo que respecta al resto de días, los valores de caudal se mantienen casi constantes pues la vida de la comunidad es rutinaria, es decir, la mayoría de días realizan las mismas actividades que involucran un consumo de agua similar.

4.3. Diseño del filtro lento de arena

4.3.1. Cálculo del número de unidades

Datos

Caudal de entrada (Q_{entrada}): 0,111 L/s

$$Nu = \frac{\sqrt{Q_{\text{entrada}}}}{4}$$

$$Nu = \frac{\sqrt{0,000111 \text{ m}^3/\text{s}}}{4}$$

$$Nu = 0,0026$$

$$Nu = 1 \text{ (valor mínimo)}$$

4.3.2. Cálculo del área del medio filtrante

Datos

Caudal de entrada (Q_{entrada}): 0,111 L/s o 9,59 m³/día

Tasa de filtración (t_f): 20,8 m³/ (m². día)

La tasa de filtración se escogió en base a los criterios de diseño estipulados en la tabla 1-4.

$$Am = \frac{Q_{\text{entrada}}}{t_f}$$

$$Am = \frac{9,59 \text{ m}^3/\text{día}}{20,8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})}$$

$$Am = 0,46 \text{ m}^2$$

4.3.3. Cálculo del coeficiente del mínimo costo

Datos:

Número de unidades (Nu): 1

$$Kc = \frac{2Nu}{Nu + 1}$$

$$Kc = \frac{2(1)}{(1) + 1}$$

$$Kc = 1$$

4.3.4. Cálculo del largo de la unidad

$$Lu = \sqrt{Am \cdot Kc}$$

$$Lu = \sqrt{0,46 \text{ m}^2 \times 1}$$

$$Lu = \sqrt{0,46 \text{ m}^2 \times 1}$$

$$Lu = 0,68 \text{ m}$$

4.3.5. Cálculo del ancho de la unidad

$$Bu = \sqrt{\frac{Am}{Kc}}$$

$$Bu = \sqrt{\frac{0,46 \text{ m}^2}{1}}$$

$$Bu = 0,68 \text{ m}$$

4.3.6. Cálculo de la velocidad de filtración

$$Vf = \frac{Q_{entrada}}{2(Lu. Bu)}$$

$$Vf = \frac{0,000111 \text{ m}^3/\text{s}}{2(0,68 \text{ m} \times 0,68 \text{ m})}$$

$$Vf = 0,00012 \text{ m/s}$$

4.3.7. Cálculo del caudal de salida

$$\frac{Q_{entrada}}{Q_{salida}} = 1,43$$

$$\frac{0,111 \text{ L/s}}{Q_{salida}} = 1,43$$

$$Q_{salida} = 0,078 \text{ L/s}$$

4.3.8. Cálculo de la altura del filtro

Datos

Volumen del agua dentro del filtro (m^3): $0,3128 \text{ m}^3$

$$V_{cilindro} = \pi hr^2$$

$$V_{cilindro} = \pi(0,68 \text{ m})(0,38 \text{ m})^2$$

$$V_{cilindro} = 0,31 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{V}{(Lu. Bu)}$$

$$h = \frac{0,31 \text{ m}^3}{(0,68 \text{ m} \times 0,68 \text{ m})}$$

$$h = 0,67 \text{ m}$$

4.3.9. Cálculo de la altura de seguridad

Se consideró el 15% de altura de seguridad según los criterios de diseño indicados en la tabla 1-4.

$$h_{seguridad} = 0,15 \times h$$

$$h_{seguridad} = 0,10 \text{ m}$$

4.3.10. Cálculo de la altura total

La altura total corresponde a la suma de la altura de seguridad con la altura del filtro.

$$h_{total} = h_{seguridad} + h$$

$$h_{total} = 0,10 \text{ m} + 0,67 \text{ m}$$

$$h_{total} = 0,77 \text{ m}$$

4.3.11. Cálculo de la altura del desagüe

$$\frac{h_{filtro}}{h_{desagüe}} = 6,7$$

$$\frac{0,77 \text{ m}}{h_{desagüe}} = 6,7$$

$$h_{desagüe} = 0,114 \text{ m}$$

4.3.12. Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la arena gruesa

Tabla 4-4: Resultados del tamizado de arena gruesa

Peso material (g)	195,1				
Tamiz	mm	Peso retenido	%Retenido	Suma	% Más fino
4	4,75	68,2	34,9564326	34,9564326	65,0435674
8	2,36	73,1	37,46796515	72,4243977	27,57560226
16	1,18	34,1	17,4782163	89,902614	10,09738596
30	0,6	12,1	6,201947719	96,1045618	3,895438237
50	0,3	6,3	3,229113275	99,333675	0,666324962
70	0,212	1	0,512557663	99,8462327	0,153767299
100	0,147	0,1	0,051255766	99,8974885	0,102511533
200	0,075	0,1	0,051255766	99,9487442	0,051255766
		195			

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

$$D_{60} = 10^{\left(\log X_1 + \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \times \log \left(\frac{x_2}{x_1}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 10^{\left(\log 4,75 + \frac{60 - 65,04}{27,57 - 65,04} \times \log \left(\frac{2,36}{4,75}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 4,32 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log X_1 + \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \times \log \left(\frac{x_2}{x_1}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log 1,18 + \frac{10 - 10,09}{3,89 - 10,09} \times \log \left(\frac{0,6}{1,18}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 1,17 \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{4,32 \text{ mm}}{1,17 \text{ mm}}$$

$$Cu = 3,70$$

$$D_{10} = \text{Tamaño efectivo}$$

Tamaño efectivo = 1,17 mm

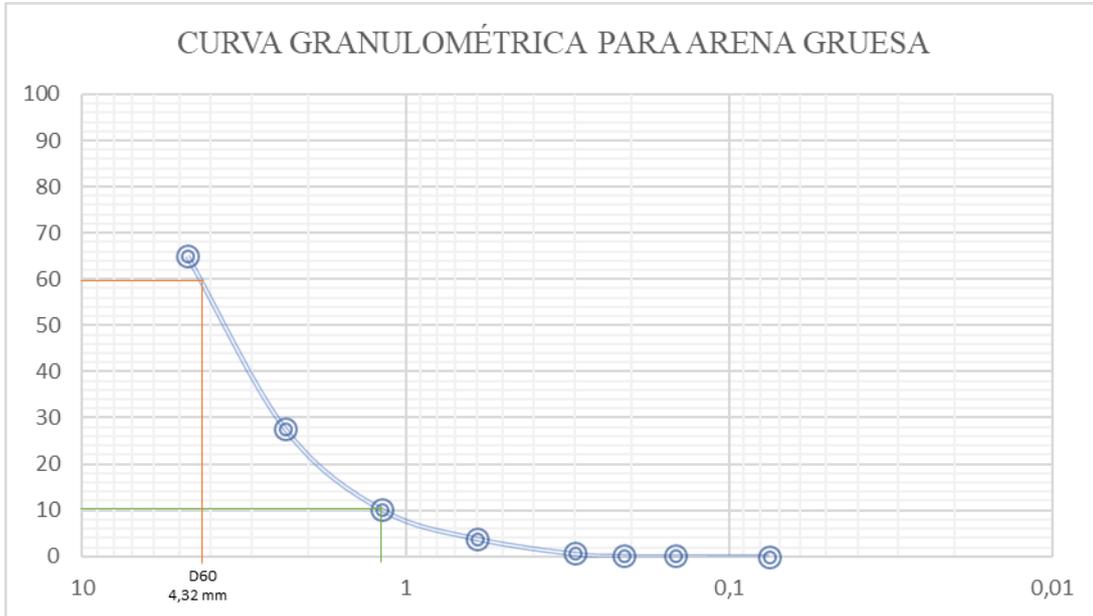


Ilustración 4-1: Curva granulométrica arena gruesa

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

4.3.13. Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la arena fina

Tabla 4-5: Resultados del tamizado de arena fina

Peso material (g)	194				
Tamiz	mm	Peso retenido	%Retenido	Suma	% Más fino
4	4,75	46,2	23,81443299	23,814433	76,18556701
8	2,36	48,9	25,20618557	49,0206186	50,97938144
16	1,18	65,3	33,65979381	82,6804124	17,31958763
30	0,6	27,1	13,96907216	96,6494845	3,350515464
50	0,3	5,61	2,891752577	99,5412371	0,458762887
70	0,212	0,15	0,077319588	99,6185567	0,381443299
100	0,147	0,13	0,067010309	99,685567	0,31443299
200	0,075	0,1	0,051546392	99,7371134	0,262886598
		193,49			

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

$$D_{60} = 10^{\left(\log x_1 + \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \times \log \left(\frac{x_2}{x_1}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 10^{\left(\log 4,75 + \frac{60 - 76,18}{50,97 - 76,18} \times \log \left(\frac{2,36}{4,75}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 3,03 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log X_1 + \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \times \log \left(\frac{X_2}{X_1}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log 1,18 + \frac{10 - 17,32}{3,35 - 17,32} \times \log \left(\frac{0,6}{1,18}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 0,83 \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{3,03 \text{ mm}}{0,83 \text{ mm}}$$

$$Cu = 3,66$$

$$D_{10} = \text{Tamaño efectivo}$$

$$\text{Tamaño efectivo} = 0,83 \text{ mm}$$

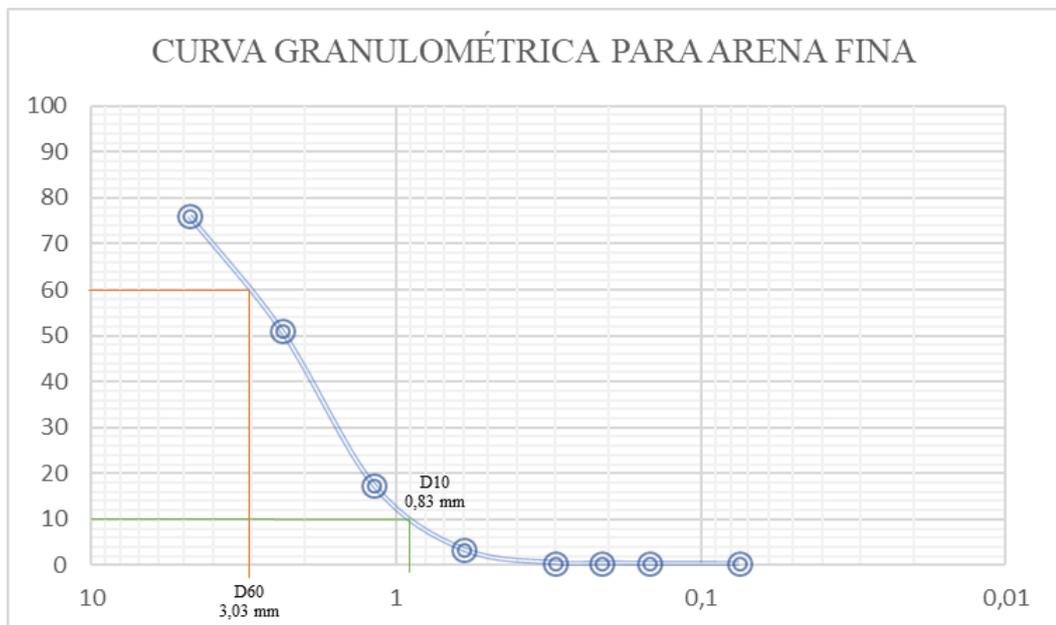


Ilustración 4-2: Curva granulométrica arena fina

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

4.3.14. Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la zeolita gruesa

Tabla 4-6: Resultados del tamizado de zeolita gruesa

Peso material (g)	218,2				
Tamiz	mm	Peso retenido	%Retenido	Suma	% Más fino
4	4,75	75	34,37213566	34,3721357	65,62786434
8	2,36	119,8	54,90375802	89,2758937	10,72410632
16	1,18	15,2	6,966086159	96,2419798	3,758020165
30	0,6	4,3	1,970669111	98,2126489	1,787351054
50	0,3	2,32	1,06324473	99,2758937	0,724106324
70	0,212	1,08	0,494958753	99,7708524	0,229147571
100	0,147	0,12	0,054995417	99,8258478	0,174152154
200	0,075	0,1	0,045829514	99,8716774	0,12832264
		217,92			

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

$$D_{60} = 10^{\left(\log X_1 + \frac{Y-Y_1}{Y_2-Y_1} \times \log \left(\frac{x_2}{x_1}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 10^{\left(\log 4,75 + \frac{60-65,63}{10,72-65,63} \times \log \left(\frac{2,36}{4,75}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 4,42 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log X_1 + \frac{Y-Y_1}{Y_2-Y_1} \times \log \left(\frac{x_2}{x_1}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log 2,36 + \frac{10-10,72}{3,76-10,72} \times \log \left(\frac{1,18}{2,36}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 2,20 \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{4,42 \text{ mm}}{2,20 \text{ mm}}$$

$$Cu = 2,01$$

$$D_{10} = \text{Tamaño efectivo}$$

Tamaño efectivo = 2,20 mm

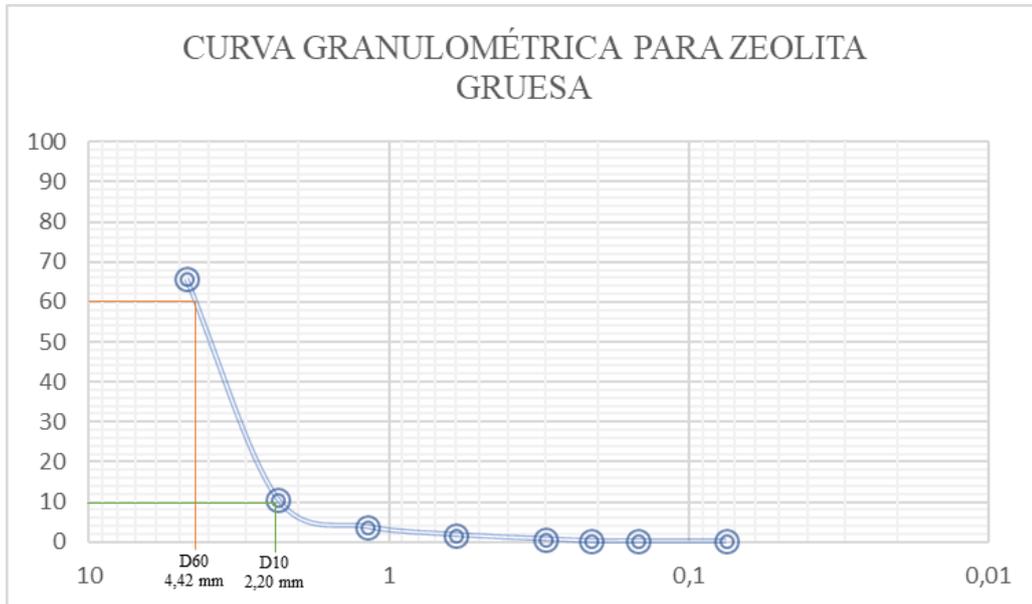


Ilustración 4-3: Curva granulométrica zeolita gruesa

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

4.3.15. Cálculo del coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo de la zeolita fina

Tabla 4-7: Resultados del tamizado de zeolita fina

Peso material (g)	224,1				
Tamiz	mm	Peso retenido	%Retenido	Suma	% Más fino
4	4,75	43,2	19,27710843	19,2771084	80,72289157
8	2,36	67,4	30,07585899	49,3529674	50,64703257
16	1,18	101,2	45,15841142	94,5113788	5,488621151
30	0,6	6,5	2,900490852	97,4118697	2,588130299
50	0,3	2,32	1,03525212	98,4471218	1,552878179
70	0,212	1,8	0,803212851	99,2503347	0,749665328
100	0,147	0,5	0,223114681	99,4734494	0,526550647
200	0,075	0,2	0,089245872	99,5626952	0,437304775
		223,12			

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

$$D_{60} = 10^{\left(\log x_1 + \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \times \log \left(\frac{x_2}{x_1}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 10^{\left(\log 4,75 + \frac{60 - 80,72}{50,64 - 80,72} \times \log \left(\frac{2,36}{4,75}\right)\right)}$$

$$D_{60} = 2,93 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log X_1 + \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \times \log \left(\frac{X_2}{X_1}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 10^{\left(\log 2,36 + \frac{10 - 50,65}{5,49 - 50,65} \times \log \left(\frac{1,18}{2,36}\right)\right)}$$

$$D_{10} = 1,26 \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{2,93 \text{ mm}}{1,26 \text{ mm}}$$

$$Cu = 2,32$$

$D_{10} = \text{Tamaño efectivo}$

$\text{Tamaño efectivo} = 1,26 \text{ mm}$

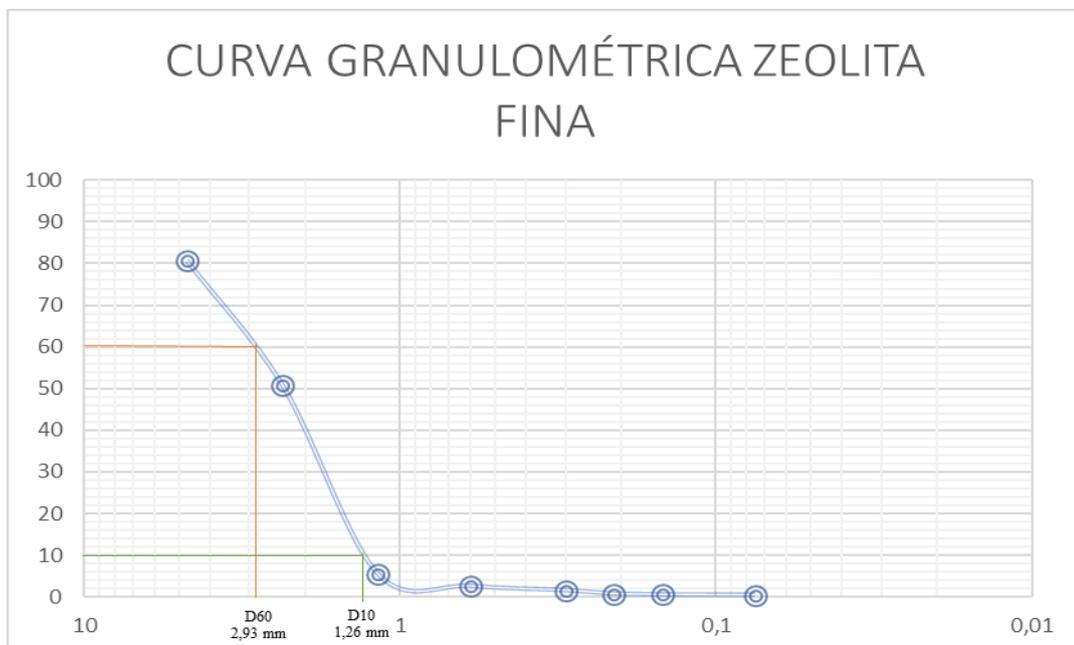


Ilustración 4-4: Curva granulométrica zeolita fina

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

4.3.16. Cálculo del diámetro de la grava

Datos

Diámetro de arena (d_{arena}): 1,17 mm

$$d_{grava} < 25(d_{arena})$$

$$d_{grava} < 25(1,17 \text{ mm})$$

$$d_{grava} < 29,25 \text{ mm}$$

$$d_{grava} < d_{grava} - d_{arena}$$

$$d_{grava} = 29,25 \text{ mm} - 1,17 \text{ mm}$$

$$d_{grava} = 28,08 \text{ mm}$$

4.3.17. Cálculo del diámetro de la gravilla

Datos

Diámetro de arena (d_{arena}): 0,83 mm

$$d_{gravilla} < 5 (d_{arena})$$

$$d_{gravilla} < 5 (0,83 \text{ mm})$$

$$d_{gravilla} < 4,15 \text{ mm}$$

$$d_{gravilla} < d_{gravilla} - d_{arena}$$

$$d_{gravilla} < 4,15 \text{ mm} - 0,83 \text{ mm}$$

$$d_{gravilla} = 3,32 \text{ mm}$$

4.3.18. Cálculo del caudal de lavado

Datos

Velocidad de lavado: 0,0002 m/s (Valor obtenido de tabla 1-4)

$$Ql = Am \times Ve$$

$$Ql = 0,46 \text{ m}^2 \times 0,002 \text{ m/s}$$

$$Ql = 0,00092 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.19. Cálculo del volumen para retrolavado

Datos

Tiempo de lavado (t): 1800 s (valor obtenido de la tabla 1-4)

$$Vol = Ql \times t$$

$$Vol = 0,00092 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1800\text{s}$$

$$Vol = 1,656 \text{ m}^3$$

4.3.20. Cálculo de la cantidad de agua filtrada durante el tiempo de carrera

Datos

Tiempo de carrera (tc): 25 días

$$Vol_c = Q_{entrada} \times tc = 9590,4 \frac{\text{L}}{\text{día}} \times 25 \text{ día}$$

$$Vol_c = 239760 \text{ L}$$

4.3.21. Cálculo de la porosidad de la arena

Datos

Peso probeta vacía: 88,3 g

Peso probeta con arena: 230,2 g

Peso probeta con arena y agua: 261,9 g

Volumen: 90 cm³

Densidad del agua: 1g/cm³

$$M_{arena} = 230,2 \text{ g} - 88,3 \text{ g}$$

$$M_{arena} = 141,9 \text{ g}$$

$$\rho_{arena} = 141,9 \text{ g} / 90 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{arena} = 1,57 \text{ g/cm}^3$$

$$M_{agua} = 261,9 \text{ g} - 230,2 \text{ g}$$

$$M_{agua} = 31,6 \text{ g}$$

$$V_{agua} = 31,6 \text{ cm}^3$$

$$Porosidad = \frac{31,6 \text{ cm}^3}{90 \text{ cm}^3}$$

$$Porosidad = 0,35 \text{ o } 35\%$$

4.3.22. Cálculo de la porosidad de la zeolita

Datos

Peso probeta vacía: 88,3 g

Peso probeta con arena: 274,2 g

Peso probeta con arena y agua: 275,3 g

Volumen: 90 cm³

Densidad del agua: 1g/cm³

$$M_{zeolita} = 274,2 \text{ g} - 88,3 \text{ g}$$

$$M_{zeolita} = 185,9 \text{ g}$$

$$\rho_{zeolita} = 185,9 \text{ g/90 cm}^3$$

$$\rho_{zeolita} = 2,06 \text{ g/cm}^3$$

$$M_{agua} = 275,3 \text{ g} - 240,2 \text{ g}$$

$$M_{agua} = 35,1 \text{ g}$$

$$V_{agua} = 35,1 \text{ cm}^3$$

$$Porosidad = \frac{35,1 \text{ cm}^3}{90 \text{ cm}^3}$$

$$Porosidad = 0,39 \text{ o } 39\%$$

Tabla 4-7: Resultado de criterios de diseño para construcción del filtro lento de arena, zeolita y mixto

Parámetro	Valor	Unidad
Número de unidades	1	Adimensional
Área del medio filtrante	0,46	m ²
Coefficiente del mínimo costo	1	Adimensional
Largo de la unidad	0,68	m
Ancho de la unidad	0,68	m
Velocidad de filtración	0,00012	m/s
Caudal de salida	0,078	L/s
Altura del filtro	0,67	m
Altura de seguridad	0,10	m
Altura total	0,77	m
Altura de desagüe	0,114	m
Caudal de lavado	0,00092	m ³ /s
Volumen para retrolavado	1,656	m ³
Volumen de agua filtrada durante tiempo de carrera	239760	L
Tiempo de carrera	25	días
Tamaño efectivo de la roca	50	mm
Tamaño efectivo de la grava	28,08	mm
Tamaño efectivo de la gravilla	3,32	mm
Tamaño efectivo de la arena gruesa	1,17	mm
Tamaño efectivo de la arena fina	0,83	mm
Tamaño efectivo de la zeolita gruesa	2,20	mm
Tamaño efectivo de la zeolita fina	1,26	mm
Coefficiente de uniformidad de arena gruesa	3,70	Adimensional
Coefficiente de uniformidad de arena fina	3,66	Adimensional
Coefficiente de uniformidad de zeolita gruesa	2,01	Adimensional
Coefficiente de uniformidad de zeolita fina	2,32	Adimensional

Porosidad de la arena	0,35	Adimensional
Densidad de la arena	1,57	g/cm ³
Porosidad de la zeolita	0,39	Adimensional
Densidad de la zeolita	2,06	g/cm ³
Espesor de la roca	15	cm
Espesor de la grava	8	cm
Espesor de la gravilla	8	cm
Espesor de la arena gruesa	10	cm
Espesor de la arena fina	5	cm
Espesor de la zeolita gruesa	10	cm
Espesor de la zeolita fina	5	cm
Diámetro de la tubería	2,5	cm
Velocidad de diseño para tuberías	1	m/s

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

El agua subterránea es bombeada a un tanque reservorio el cual distribuye el líquido por gravedad. Del tanque reservorio surgen 2 tuberías, una que conduce el agua directamente a la cocina para consumo humano, y otras tuberías para actividades como riego y lavandería. Al filtro ingresa directamente la tubería que destina el agua para consumo humano con un caudal de entrada correspondiente a 0,111 L/s. Al mantener un caudal casi contante durante el día, no es necesario implementar una bomba de llenado ya que el diseño del filtro tiene la capacidad de almacenar el volumen de agua correspondiente sin que la misma rebose. En la tabla 3-8 se exponen los valores para los criterios de diseño más relevantes en la construcción del filtro que va desde las dimensiones hasta las tuberías empleadas. En el recipiente empleado como filtro se elaboraron 3 agujeros, uno en la parte superior para la entrada del efluente, y 2 en la parte inferior que sirve para purga y salida del agua tratada respectivamente. Se empleó una tubería de ½” para la acometida de cada filtro, misma que tiene una llave de paso para mayor control.

En el conducto destinado a purga se colocó una tubería de 1” con una válvula que controla la salida del efluente; de manera que se realizó la primera filtración con el objetivo de retirar posibles sedimentos y el aire contenido en las capas del medio filtrante. Por otro lado, la tubería que contiene el agua filtrada se conduce directamente a la cocina para emplearla como fuente de consumo humano. En la parte inferior del filtro se instaló una red de drenaje, la cual tiene perforaciones de 4 mm de diámetro cada 2 cm de distancia, y una única salida que es la tubería de distribución del agua filtrada.

Con respecto a los medios filtrantes, estos fueron lavados con agua potable para eliminar impurezas. Se distribuyeron siguiendo el orden ascendente:

Filtro de arena

15 cm de espesor de roca
8 cm de espesor de grava
8 cm de espesor de gravilla
10 cm de espesor de arena gruesa
10 cm de espesor de arena fina

Filtro de zeolita

15 cm de espesor de roca
8 cm de espesor de grava
8 cm de espesor de gravilla
10 cm de espesor de zeolita gruesa
10 cm de espesor de zeolita fina

Filtro mixto

15 cm de espesor de roca
8 cm de espesor de grava
8 cm de espesor de gravilla
5 cm de espesor de zeolita gruesa
5 cm de espesor de arena gruesa
5 cm de espesor de zeolita fina
5 cm de espesor de arena fina

Inmediatamente después de distribuir las capas de medios filtrantes en los 3 filtros se procedió a purgar cada filtro, para finalmente dar inicio al proceso continuo de filtración y evaluar los resultados. Se dio seguimiento al proceso de filtración durante 1 mes, y a los 25 días de funcionamiento se realizó el proceso de retrolavado respetando el tiempo de carrera establecido según los parámetros de diseño recomendados.

El retrolavado es un proceso manual que se realiza cada 25 días de funcionamiento continuo del filtro. Para este proceso se recolectó 1,656 m³ de agua filtrada, misma que mediante bombeo fue redirigida al filtro para que se limpie el medio filtrante de forma ascendente hasta alcanzar el canal de purga situado en la parte superior del filtro y expulsar el agua llena de impureza. El

proceso se termina cuando el agua se clarifica.

4.4. Caracterización biológica del agua después del proceso de filtración

El agua procedente del filtro de arena, zeolita y mixto fue analizada 4 veces para examinar la presencia de coliformes totales que es el parámetro que compete erradicar. Se realizaron tomas de muestra los días 8, 15 y 22 de mayo que corresponden a resultados antes del proceso de retrolavado; y una muestra el 30 de mayo para evaluar la eficiencia de cada filtro después de un proceso de retrolavado. El filtro se construyó durante el 30 de abril y el 1 de mayo, e inició a funcionar el 2 de mayo. Se dejó filtrar el agua durante una semana para homogenizar los medios filtrantes y se realizó el primer muestreo y análisis de coliformes totales. Luego de transcurridos los 25 días de carrera, se realizó el proceso de retrolavado y nuevamente un periodo de 5 días de acondicionamiento de filtro para tomar la última muestra para su análisis microbiológico.

Los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-8: Presencia de coliformes totales en el agua después de un proceso de filtración

	Filtro de arena	Filtro de zeolita	Filtro mixto	Unidad
Primer análisis	Ausencia	Ausencia	Ausencia	UFC/100mL
Segundo análisis	Ausencia	2	Ausencia	
Tercer análisis	1	1	Ausencia	
Cuarto análisis	Ausencia	1	Ausencia	

Fuente: Gallegos, P., 2023.

En la tabla se exponen los resultados obtenidos en la cuantificación de colonias de coliformes totales luego de pasar por un proceso de filtración. En los 3 filtros diseñados con diferente composición en cuanto a medios filtrantes, se observa una favorable remoción de coliformes totales comparado con el valor promedio de este parámetro sin ningún tratamiento que corresponde a 195 UFC/100 mL y que incumple con la normativa ambiental vigente en Ecuador, la cual expone que este contaminante debe estar ausente en el agua para consumo humano. Se evidencia también que el proceso de lavado no modifica la eficiencia del filtro, pues en el cuarto análisis realizado que corresponde al análisis posterior al retrolavado con 5 días de operatividad, se obtiene un resultado prometedor en los filtros de arena y mixto que corresponde a la ausencia de coliformes totales, mientras que en el filtro de zeolita solo se verifica una colonia después de este proceso.

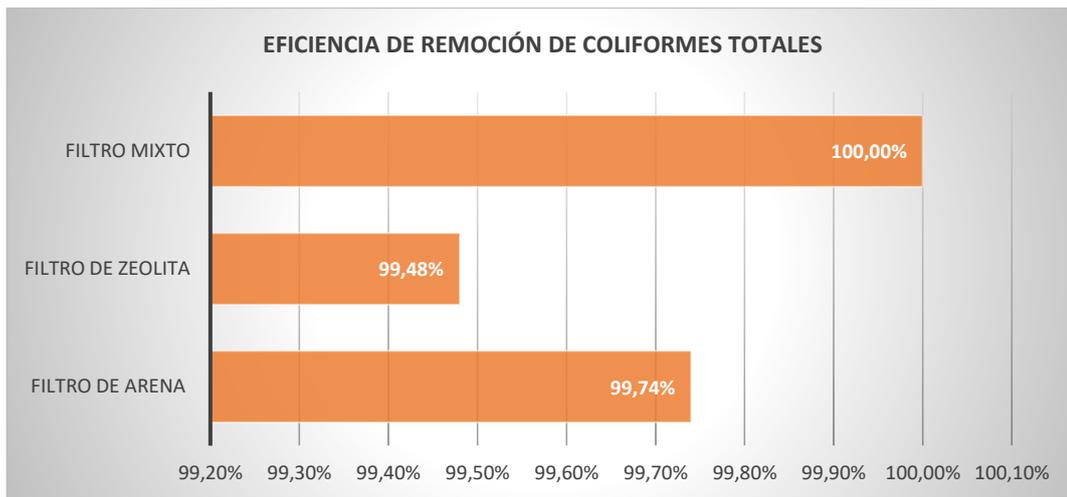


Ilustración 4-5: Eficiencia del proceso de filtración para remover coliformes totales

Realizado por: Gallegos, P., 2023.

El filtro que removi6 el 100% de las colonias de coliformes totales corresponde al filtro mixto, seguido del filtro de arena y finalmente el filtro de zeolita. Los tres filtros contienen el mismo espesor para los componentes del medio filtrante correspondiente a roca, grava y gravilla; lo que ocasiona que difieran entre s3 es el tama1o efectivo tanto para la arena gruesa y fina, as3 como para la zeolita gruesa y fina.

(Bare1o y Figueroa, 2017, p.2) en su investigaci6n manifiestan que el filtro de zeolita le permiti6 disminuir la concentraci6n en el agua de ciertos contaminantes como cloro, hierro, sulfatos; pero mostr6 deficiencia en la eliminaci6n de coliformes fecales y totales por lo que tuvo que recurrir a un proceso de cloraci6n. En base a lo manifestado se concluye que la zeolita es un medio filtrante muy efectivo para la purificaci6n del agua, pero en cuanto a par6metros microbiol6gicos su efectividad se ve reducida por el 6rea superficial de las part3culas y su capacidad adherente que no permite la remoci6n completa de pat6genos y microorganismos, as3 como se evidenci6 en la presente investigaci6n. De igual manera, la zeolita presenta tama1os de part3culas m6s grandes que la arena, por ello la porosidad en este filtro es superior facilitando el transporte del agua a trav3s de las capas y el arrastre de contaminantes presentes en el afluente, tal como lo menciona (Casero, 2017, p.2), a esto tambi3n se le debe la presencia de coliformes en el agua filtrada con zeolita como medio filtrante.

Por otro lado, (Mart3nez, et al., 2022 ,p.3) afirman que el filtro lento de arena es el m6s recomendado para tratamientos de purificaci6n de aguas ligeramente contaminadas y quieran ser usadas con fines de consumo humano; es decir, que no exista gran contaminaci6n en los diferentes par6metros f3sicos, qu3micos y biol6gicos analizados. Estos investigadores ponen de manifiesto que el filtro de arena es ampliamente utilizado en plantas de potabilizaci6n para aguas superficiales y aguas

subterráneas, y además que es un método muy recomendado para potabilizar el agua subterránea pues generalmente no tiene índices altos de contaminación, sino más bien necesita procesos simples de filtración o cloración para ser empleada por el hombre sin olvidar que su construcción no demanda mayor inversión. Esto se verifica en los resultados obtenidos tras someter el agua con presencia de coliformes totales a un proceso de filtración empleando arena gruesa y fina como medio filtrante, pues se obtuvieron resultados muy favorables que corresponden al 99,74% de remoción lo cual es un valor aceptable y además fue el filtro que menor costo significó su construcción.

Finalmente, el filtro mixto es el candidato perfecto para lograr que el agua subterránea consumida en el recinto San José cumpla con los parámetros de calidad estipulados en las normas INEN 1108, pues en todos los análisis se evidencia una ausencia de coliformes totales. Esto se debe a que el medio filtrante por el cual circula el agua tiene mayor variación en cuanto a capas de material con diferente tamaño efectivo, partiendo de una capa de arena fina con partículas que tienen un tamaño de 0,5 mm en donde se van a retener la mayor parte de coliformes y contaminantes y a medida que el agua circula se van adhiriendo los demás microorganismos en las capas inferiores. Tras aplicar un proceso de retrolavado, la eficiencia del filtro no se ve afectada por lo que lo convierte en el mejor candidato para tratar el agua subterránea y potabilizarla.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se diseñó un proceso de potabilización del agua subterránea empleada para el consumo humano en el recinto San José del Cantón Naranjito, el mismo que consiste de un proceso de filtración lenta, considerando que únicamente los coliformes totales se encuentran fuera de normativa con lo cual se logró una remoción del 100% de coliformes y se puede lograr un agua apta para consumo humano y que cumpla con la normativa ecuatoriana vigente.

El recurso pese a no tener ningún tratamiento previo a su distribución presentó un 95% de parámetros con límites permisibles acorde con la norma INEN 1108; únicamente coliformes totales no cumple con la misma (195 UFC/100 mL) por lo que se concluye que el agua en general es de buena calidad.

Para corregir el parámetro fuera de norma y considerando las condiciones socioeconómicas del lugar y a la eficiencia del proceso se ensayó un filtro lento de arena y zeolita como medios filtrantes, consiguiendo una remoción del 100% de coliformes totales, y con la ventaja adicional de que el filtro no perdió su eficiencia tras un proceso de retro lavado.

La arena tiene una mejor capacidad de remoción comparado con la zeolita, pues proporcionó agua libre de coliformes totales por más tiempo. Se debe principalmente al tamaño efectivo de las partículas, pues en el caso de la arena tiene 1,17 mm y 0,83 mm para arena gruesa y delgada respectivamente comparado con 2,20 mm y 1,26 mm correspondiente al tamaño efectivo de la zeolita gruesa y delgada. Tanto la arena como la zeolita fueron medios filtrantes mal gradados, es decir, las partículas son muy similares en su tamaño; pero el medio filtrante más homogéneo fue la zeolita con un coeficiente de uniformidad de 2,01 y 2,32 para zeolita gruesa y fina respectivamente.

5.2. Recomendaciones

Construir el filtro en un lugar que no tenga incidencia solar directa, o adecuar un techo que proteja a este proceso del sol; puesto que la luz solar incide directamente en la reproducción de microorganismos que se encuentra en la capa superior del medio filtrante y su proliferación reduce la eficiencia del filtro lento.

En la tapa superior del filtro realizar pequeños agujeros que permitan el ingreso de oxígeno al sistema que es favorable para la capa biológica que se desarrolla en la capa superior del medio filtrante.

Realizar al menos 3 mediciones para los parámetros que se vayan a analizar y así reducir el margen de error y obtener un valor representativo que dé resultados reales en la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [en línea]. 17a. S.l.: s.n. 1992. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-water-testing-standard-methods-introduction-white-paper.pdf

BAREÑO, I.R.A.; & FIGUEROA, M.A. Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia. 2017. pp. 1-68.

BEITA-SANDÍ, W.; & BARAHONA-PALOMO, M. “Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica”. *UNED Research Journal*, Vol. 2, n°. 2 (2018) (Costa Rica). pp. 157-179. ISSN 1659-441X.

BOLAÑOS-ALFARO, J.D.; et al. “Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)”. *Revista Tecnología en Marcha*, Vol. 30, n°. 4 (2017). pp. 15-27. ISSN 2215-3241, 0379-3982.

DEUS, L.; et al. “Removing ammonium from water using porous resins: influence of polymer structure, ion exchange capacity and porosity”. *DYNA*, Vol. 88, no. 217 (2021), ISSN 2346-2183, 0012-7353.

CANO, J.R.M. “Enfermedades transmitidas por el consumo de agua de mala calidad”. *Universidad y Sociedad* [en línea], 2021, 13(S2). pp. 513-520. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2341>

CARABALLO, M.P.C.; & XAVIER, J.M. *Manual de Agua Subterránea*. Montevideo-Uruguay: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. 2017. pp. 12-93.

CARVAJAL, A.; et al. “Recomendaciones sobre el consumo de agua y alimentos en circunstancias especiales”. *Bol. Venez. infectol* [en línea], 2019, 30(1). pp. 5-9. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1007546>

CASAS, I. Análisis de alternativas de tratamiento para la potabilización de aguas subterráneas en la Isla de San Andrés (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Medellín, Colombia. 2020. pp. 2-47.

CERÓN, L.M.; et al. “Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico”. *Información tecnológica* [en línea], 2021, 32(1). pp. 47-56. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 0718-0764. Disponible en: DOI 10.4067/S0718-07642021000100047

CHULLUNCUY-CAMACHO, N.C. “Tratamiento de agua para consumo humano”. *Ingeniería Industrial* [en línea], 2017, 1(29). pp. 153-170. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 1025-9929. Disponible en: DOI 10.26439/ing.ind2011.n029.232

COLMENARES, M.C.; & MARE, E. “Removal of chloride ions from de wastewater using hydrotalcites as adsorbent materials”, *Revista Ingeniería UC*, Vol. 24, n°. 2 (2017). pp. 204-217.

GARCÍA, Á.G. La captación de aguas subterráneas en la isla de gran canaria durante el periodo 1800 - 1927 y su conflictividad social (Trabajo de Titulación) (Tesis doctoral). Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Facultad de Geografía e Historia. 2022. pp. 2-810.

GIDAHATARI. Protocolo de monitoreo de calidad de agua subterránea. *IAGUA* [en línea]. 2017. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/gidahatari/protocolo-de-monitoreo-de-calidad-de-agua-subterranea>

GÓMEZ, D.F.O.; & BARRERO, A.F.O. Propuesta de un sistema de potabilización de agua subterránea para la finca las brisas en Nemocón, Cundinamarca (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Bogotá, Colombia. 2019. pp. 1-138.

GÓMEZ, L.J.H. Evaluación del suministro de agua magnetizada en el rendimiento productivo de pollos de carne Cundinamarca (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Zootecnia, Lima, Perú. 2019. pp. 2-73.

GÓMEZ-NIÑO, H.I. “Análisis de niveles piezométricos y patrones de captación de agua subterránea en el acuífero cuaternario de Yopal, Casanare, Colombia”. *Boletín de Geología* [en línea], 2020, 42(2). [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 21458553, 01200283. Disponible en: DOI 10.18273/revbol.v42n2-2020005

GRONDONA, S. *Estudio de las aguas subterráneas. Guía de trabajo de campo* [en línea]. Argentina: WATERCLIMA. 2017. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/116884/CONICET_Digital_Nro.f0f3545f-7b4b-409a-bdf5-7a8a59bb751d_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

GUANILO S., R.; et al. “Efficient microorganisms in groundwater decontamination and its implication in the production and quality of hydroponic lettuce”. *Manglar*, Vol. 18, n°. 1 (2021), pp. 77-82. ISSN 24141046.

GUILLEN-RIVAS, J.R.; et al. “Study of iron and manganese removal processes in groundwater: a review”, Vol. 6, n°. 9 (2021), pp. 3-48.

HIRIART, M. El agua como recurso. *UNAM* [en línea]. 2017. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/54/el-agua-como-recurso>

INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. *Manual de Medición de Caudales*. Guatemala: ICC. 2017. pp. 1-24.

LOPEZ LOAYZA, C.; & RAMOS HUALLPARTUPA, D.J. “Cuantificación del calcio y magnesio en agua para consumo humano y el aporte en su alimentación”. *Revista de Investigaciones*, Vol. 9, n°. 1 (2022), ISSN 2077-8686, 1997-4035. pp. 13-23.

LUJÁN, N., BACHETTI, R.; & DAMILANO, G. “Calidad microbiológica y usos del agua subterránea en establecimientos agropecuarios del centro-sur de Córdoba, Argentina”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Vol. 35, n°. 4 (2019), ISSN 01884999. pp. 830-840.

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, C.M.; et al. “Decontamination of Effluents from Oxidation Lagoons”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 31, n°. 4 (2022). pp. 1-8.

MATEOS RUIZ, R.M.; & GONZÁLEZ CASASNOVAS, C. *Los caminos del agua en las Islas Baleares: acuíferos y manantiales*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 2019. ISBN 978-84-7840-806-1.

MUÑOZ, D.; et al. “Caracterización y evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas de la quebrada Colpamayo- Chota”. *Revista Ciencia Noandina*, Vol. 3, n° 1 (2018). pp. 1-15.

MURPHY, K.; et al. “Distribución espacial de propiedades químicas del agua subterránea en la ciudad de Pergamino, provincia de Buenos Aires, Argentina”. *Revista del Museo de La Plata*, Vol. 4, n°. 1 (2019), ISSN 2545-6377, 2545-6369. pp. 1987-2006.

NARANJITO, C. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2014 - 2020*. Guayas-Guayaquil: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón Naranjito. 2014.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda* [en línea]. 4a ed + 1a adenda. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. 2018. [Consulta: 17 agosto 2022]. ISBN 978-92-4-354995-8. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>.

OSORIO TRUJILLO, A.F.; & MARTÍNEZ CAJIGAS, M.E. “Validación de un método para el análisis de color real en agua”. *Revista de la Facultad de Ciencias*, Vol. 7, n°. 1(2018), ISSN 2357-5549, 0121-747X. pp. 143-155.

PRATO-MORENO, José; et al. “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas subterráneas de un sector rural a baja altitud en Los Andes venezolanos”. *Universidad del Zulia* [en línea], 2020, 48(1). pp. 2-11. [Consulta: 12 febrero 2023]. Disponible en: DOI 10.5281/ZENODO.3861081

RINCÓN-SILVA, N.G. “Evaluación de parámetros físico-químicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque”. *Universidad Distrital*, Vol. 13, n°1 (2017), pp. 6-23.

ROJAS, B.E.; & LUIS, J. *Propiedades del agua*. S.l.: s.n. 2019.

SANDOVAL, I.; & HEREDIA, J. “Caracterización fisicoquímica y direcciones de flujo del agua subterránea en la zona noroeste de la península de Yucatán. *Revista Internacional de Estadística y Geografía* [en línea], 2018, 9(2), pp. 28-37. [Consulta: 25 marzo 2023]. ISSN 2007-2961. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/sitios/rdebeta/rde_26/RDE25_art03.pdf

SOLÍS-CASTRO, Y.; et al. “La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica”. *Revista Tecnología en Marcha* [en línea], 2018, 31(1). [Consulta: 25 marzo 2023] ISSN 2215-3241, 0379-3982. Disponible en: DOI

10.18845/tm.v31i1.3495.

TOAPANTA, T.Y. Diseño y evaluación de la eficiencia de un filtro mixto a base de (cáscara de plátano verde, cáscara de piña y material litológico) para reducir la dureza y turbidez de las aguas de un pozo en el Cantón Naranjito (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2020. pp. 2-90.

TORRES, A.; & LOZANO, E. “Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación”. *Universidad Autónoma Indígena de México*, Vol. 13, n°3 (2017), pp. 393-404.

TORRES PARRA, C.A.; et al. “Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración”. *Revista de Salud Pública* [en línea], 2017, 19(4). p. 453. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 2539-3596, 0124-0064. Disponible en: DOI 10.15446/rsap.v19n4.56039.

VILLENA CHÁVEZ, J.A. “Calidad del agua y desarrollo sostenible”. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* [en línea], 2018, 35(2). pp. 304-308. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 1726-4642, 1726-4634. Disponible en: DOI 10.17843/rpmesp.2018.352.3719.



ANEXOS

ANEXO A: TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS



a) Toma de muestra de agua
totales



b) Determinación de coliformes



a) Titulación para determinación de cloruros
totales



d) Colonias de coliformes

ANEXO B: SISTEMA DE FILTROS



a) Tanque colector de agua subterránea



b) Sistema de filtros

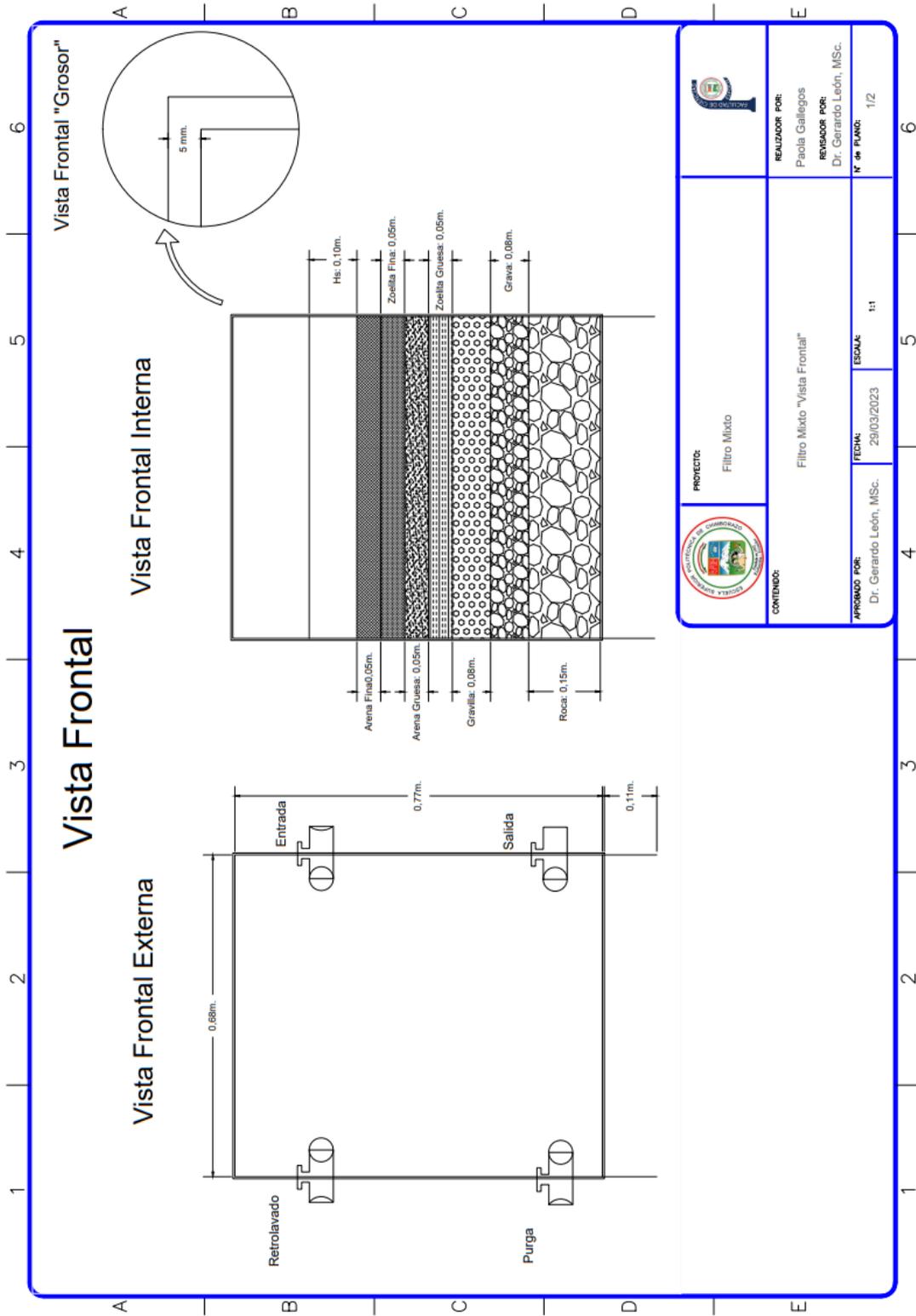


c) Zeolita gruesa



d) Uso del GPS

ANEXO C: PLANOS DE LOS FILTROS

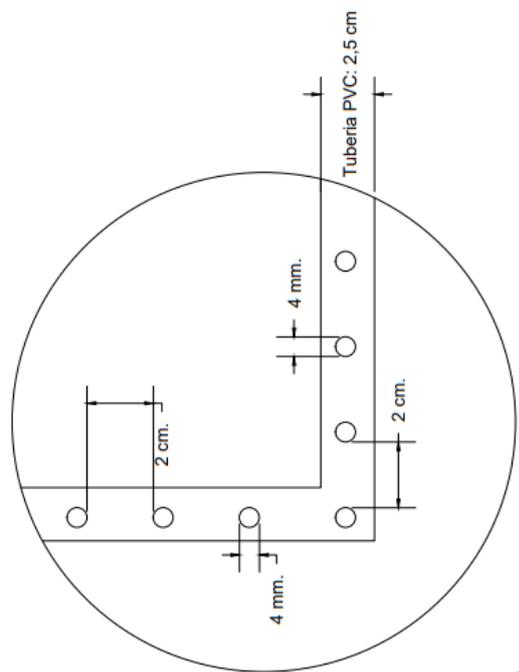
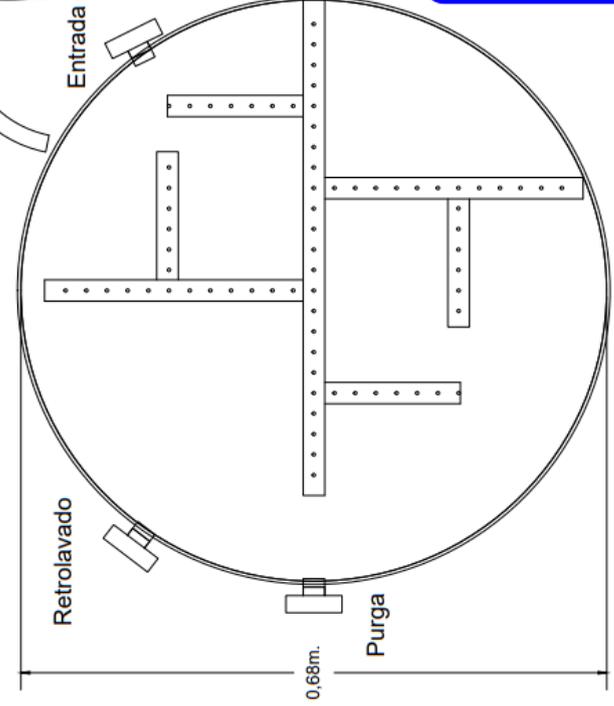


	PROYECTO: Filtro Mixto	
	CONTENIDO: Filtro Mixto "Vista Frontal"	
APROBADO POR: Dr. Gerardo León, MSc.	FECHA: 29/03/2023	REVISADO POR: Dr. Gerardo León, MSc.
ESCALA: 1:1	N° DE PUNTO: 1/2	

Vista Superior

Vista Superior "Distancias y Tamaño de Orificios"

Vista Superior Interna



		
	PROYECTO: Filtro Mixto	REALIZADOR POR: Paola Gallegos
CONTENIDO: Filtro Mixto "Vista Superior"	FECHA: 29/03/2023	N.º DE PLANO: 2/2
APROBADO POR: Dr. Gerardo León, MSc.	ESCALA: 1:1	6



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 28 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Paola Tatiana Gallegos Maridueña
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo, MSc.



1664-DBRA-UPT-2023