



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
PARA SU POTABILIZACIÓN UNIFAMILIAR EN ZONAS DE
EXPANSIÓN NOROESTE DE LA CIUDAD DE JULIACA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. YHOJAN ELVIS QUILLE SALGUERO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mis queridos padres (Julián y Gloria Isidora) y hermanos (Elé, Ludver, Soraya, Margoth, Yomara, Renzo, Margari y Blanca) que con anhelo y por bastante tiempo esperaron la conclusión de esta investigación, y la tan esperada titulación.



AGRADECIMIENTO

A Dios, por mantenerme con Fe de que con su iluminación se puede hacer el bien en la tierra con la ayuda de la ingeniería.

A mi alma mater (Universidad Nacional del Altiplano - Puno) que me dio la oportunidad de formarme con tan eruditos docentes y que gracias ellos hoy me siento preparado y apto para contribuir en la construcción de un Perú mejor.

A mi Escuela Profesional de Ingeniería Civil, donde adquirí basto conocimiento bañado en calculo, precisión y simetría; con un criterio muy objetivo para ejercer esta hermosa profesión, siempre con la finalidad de servir a la sociedad.

A mi asesor, Ing. Guillermo Néstor Fernández Sila, quien siempre tuvo la claridad en su enseñanza y la motivación para realizar investigaciones en área de Hidráulica y Medio Ambiente.

A mis jurados, M.Sc M. Roberto García Loayza, M.Sc N. Eloy Gonzales Sucasaire y D.Sc. Felix Rojas Chahuares por hacer que esta investigación sea más profunda, y entendible.

A mi hermano Ludver, por su permanente exigencia, motivación y apoyo para la culminación de la presente investigación.

A mis amigos(as), familiares y entorno laboral que frecuentemente apoyaron incondicionalmente para la culminación de esta investigación.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURA	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT	15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2.1. Problema General	22
1.2.2. Problemas Específicos	22
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	22
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.4.1. Objetivo General	23
1.4.2. Objetivos Específicos	23
1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE	24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1.1. Antecedentes Internacionales	25
2.1.2. Antecedentes Nacionales	31
2.1.3. Antecedentes Locales	38



2.2. MARCO TEÓRICO	47
2.2.1. El agua	47
2.2.2. La calidad del agua	50
2.2.3. Ciclo hidrológico del agua.....	52
2.2.4. Aguas subterráneas	54
2.2.5. Flujo subterráneo.	56
2.2.6. Consumo y utilización de aguas subterráneas	59
2.2.7. Contaminantes presentes en aguas subterráneas.....	62
2.2.8. Saneamiento básico.....	70

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	93
3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO	93
3.2.1. Área de estudio	93
3.2.2. Población de estudio	94
3.2.3. Muestra	96
3.3. MATERIALES.....	104
3.3.1. Materiales para procesamiento de datos	104
3.3.2. Materiales de muestreo de agua subterránea (campo).....	104
3.3.3. Materiales para prueba test de percolación (campo).....	105
3.4. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	106
3.4.1. Método para muestreo de agua subterránea (campo)	106
3.4.2. Métodos para análisis de agua subterránea en laboratorio	108
3.4.3. Método de cuadro comparativo y mapa de calor de los contaminantes presentes en agua subterránea.	112



3.5. METODOLOGÍA PARA SANEAMIENTO BÁSICO UNIFAMILIAR	112
3.5.1. Método de diseño del sistema de potabilización de aguas subterráneas. 113	
3.5.2. Método de test de percolación según Norma IS. 020.	121
3.5.3. Método de diseño de zanja de percolación.	126
3.6. MÉTODO DE ELABORACIÓN PRESUPUESTAL.	128

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	130
4.2. REPRESENTACIÓN GRAFICA DE LOS RESULTADOS.....	135
4.3. REPRESENTACIÓN EN MAPAS DE CALOR DE LOS RESULTADOS .	149
4.4. SISTEMA DE SANEAMIENTO BÁSICO UNIFAMILIAR.....	157
4.4.1. Resultados del cálculo para potabilización de aguas subterráneas.	157
4.4.2. Resultados para el sistema de saneamiento	161
4.5. RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN PRESUPUESTAL.....	165
4.6. DISCUSIÓN SOBRE RESULTADOS	167
V. CONCLUSIONES	172
VI. RECOMENDACIONES	173
VII. REFERENCIAS	174
ANEXOS	184

ÁREA: HIDRÁULICA

TEMA: CALIDAD DE AGUA, TRATAMIENTO Y CONSUMO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08 de septiembre del 2022



ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Mapa de escasez de agua.	49
Figura 2	Representación del Ciclo Hidrológico.	53
Figura 3	Representación de un acuífero confinado.	58
Figura 4	Representación de un acuífero libre.	58
Figura 5	Tipos de acuíferos.	59
Figura 6	Producción de agua superficial y subterránea en Lima.	60
Figura 7	Porcentaje de agua potable tomada de aguas subterráneas.	71
Figura 8	Proporción de la población que utiliza al menos servicios básicos de agua potable, 2015.	72
Figura 9	Rango según Terzaghi para determinar la distribución de un filtro.	84
Figura 10	Proceso de potabilización de aguas.	86
Figura 11	Ubicación de puntos de muestreo en zonas de expansión noreste de la ciudad de Juliaca.	94
Figura 12	Población de agua subterránea evaluada para zonas de muestreo en zonas de expansión de la ciudad de Juliaca.	95
Figura 13	Muestreo de agua subterránea M-1.	97
Figura 14	Muestreo de agua subterránea M-2.	98
Figura 15	Muestreo de agua subterránea M-3.	99
Figura 16	Muestreo de agua subterránea M-4.	100
Figura 17	Muestreo de agua subterránea M-5.	101
Figura 18	Muestreo de agua subterránea M-6.	102
Figura 19	Muestreo de agua subterránea M-7.	103
Figura 20	Uso de materiales en muestreo.	105
Figura 21	Se aprecia muestreo de aguas subterráneas.	107



Figura 22	Análisis de muestras de aguas subterráneas en BHIOS LABORATORIOS.	111
Figura 23	Secuencia de tratamiento.	114
Figura 24	Curva de eficiencia de remoción de arsénico con Nanopartículas Fe ₃ O ₄	116
Figura 25	Esquema de filtro lento de arena con carbón activado.	118
Figura 26	Esquema de con zeolitas naturales de la región de Puno.....	119
Figura 27	Dosificaciones de productos para desinfección de agua.....	120
Figura 28	Ubicación de Calicatas para prueba test de percolación.....	122
Figura 29	Trazo para la Excavación de hoyos.	123
Figura 30	Perfilado de fondo de hoyo.....	123
Figura 31	Saturación del hoyo.....	124
Figura 32	Medidas de descenso y/o infiltración del agua.	126
Figura 33	Curva para determinar el coeficiente de infiltración, en función al tiempo de infiltración.....	127
Figura 34	Dispersión de numeración de Escherichia coli.	135
Figura 35	Comparación de numeración de Escherichia coli.....	136
Figura 36	Dispersión de numeración de coliformes totales.	137
	Fuente: Elaboración propia.....	137
Figura 37	Comparación de numeración de coliformes totales.....	138
Figura 38	Dispersión de Coliformes termotolerantes o fecales.	139
Figura 39	Comparación de Coliformes termotolerantes o fecales.	140
Figura 40	Dispersión de Microorganismos Heterótrofos.....	141
Figura 41	Comparación de Microorganismos Heterótrofos.....	142
Figura 42	Dispersión de Organismos por litro de OVL-Protozoarios.....	143



Figura 43	Comparación de Organismos por litro de OVL-Protozoarios.	144
Figura 44	Dispersión de Cloro Libre (Cl ₂)	145
Figura 45	Comparación de Cloro Libre (Cl ₂).....	146
Figura 46	Dispersión de contenido de arsénico.....	147
Figura 47	Comparación de contenido de arsénico.	148
Figura 48	Representación de concentración de Escherichia coli	149
Figura 49	Representación de concentración de Coliformes totales.	150
Figura 50	Representación de concentración de Coliformes Fecales.	151
Figura 51	Representación de concentración de Microorganismos Heterótrofos.	152
Figura 52	Representación de concentración de OVL – Protozoarios.	153
Figura 53	Representación de concentración de PH.....	154
Figura 54	Representación de concentración de Arsénico.	155
Figura 55	Representación de concentración de Plomo.	156
Figura 20	Esquema de planta potabilizadora unifamiliar.....	158
Figura 57	Esquema de filtros (Derecha: Filtro lento de arena con carbón activado e Izquierda: filtro de zeolita).....	160
Figura 58	Geometría de zanja percolador.	164
Figura 59	Esquema de UBS tipo compostera seca.....	165



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variable para el problema general.	24
Tabla 2	Volumen de agua subterránea por uso, según vertiente y administración local.....	61
Tabla 3	Principales tratamientos fisicoquímicos de remoción de arsénico	68
Tabla 4	Producción de agua potable, según tamaño de la empresa prestadora de servicios de saneamiento en Perú.	73
Tabla 5	Límite máximo permisible de microorganismos en el agua.	76
Tabla 6	Límite máximo permisible de parámetros físico-químicos en el agua.	77
Tabla 7	Sistema de infiltración por clase de terreno y tiempo de infiltración.	82
Tabla 8	Coordenadas promedio de los puntos de estudio.....	94
Tabla 9	Coordenadas de los puntos de estudio.	96
Tabla 10	Tabla de identificación de muestra.	107
Tabla 11	Métodos utilizados para determinación de parámetros biológicos, microbiológicos y físico-químicos.....	108
Tabla 12	Métodos utilizados para determinación metales totales en el agua.	110
Tabla 13	Métodos utilizados para determinación de aniones y oxihálidos.....	111
Tabla 14	Resultados del análisis en laboratorio microbiológico.	130
Tabla 15	Resultados del análisis en laboratorio fisicoquímico.....	132
Tabla 16	Resultados del análisis de metales totales.....	132
Tabla 17	Resultados del análisis de aniones oxihálidos.	133
Tabla 18	Resultados del análisis de aniones.	134
Tabla 19	Resultados de la capacidad de infiltración promedio del terreno.	161
Tabla 20	Resultados del tiempo requerido en minutos para el descenso de un centímetro.	162



Tabla 21	Tabla de clasificación de terreno según resultados de prueba de percolación.	162
Tabla 22	Presupuesto para ejecución del sistema de tratamiento y saneamiento. ...	166
Tabla 23	Comparación de presupuesto.	166



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

OMS	: Organización Mundial de la Salud
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
LMP	: Límites Máximos Permisibles
DIGESA	: Dirección General de Salud
RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones
MINAM	: Ministerio del Ambiente del Perú.
HACH	: Hidrología del Agua para Consumo Humano
EPS	: Empresa Prestadora de Servicio
NTP	: Norma Técnica Peruana
ANA	: Autoridad Nacional del Agua
ALA	: Autoridad Local del Agua.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
CORPOCESAR	: Corporación Autónoma Regional del Cesar
CONAGUA	: Comisión Nacional del Agua
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
HACRE	: Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico
UNESCO	: Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
CL	: Cloro Libre
EPA	: Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos
CEE	: Comunidad Económica Europea.
Quistes/L	: Quistes por litro
NTU	: Unidades nefelométricas de turbidez



Org./L	: Organismos por litro
ufc/mL	: Unidades formadoras de colonia por mililitro
mg/L	: Miligramos por litro
Huevos/L	: Huevos por litro
NMP/100mL	: Número más probable por 100 mililitros
U de color	: Unidades de color
μS/cm	: Microsiemens por centímetro
U de pH	: Unidades de pH
APHA	: American Public Health Association
AWWA	: American Water Works Association
WEF	: Water Environment Federation
ICP	: Inductively Coupled Plasma
MS	: Mass Spectrometry
UBS	: Unidad Básica de Saneamiento



RESUMEN

La presente investigación tiene el objetivo de evaluar la calidad de aguas subterráneas, para luego proponer un sistema de saneamiento básico unifamiliar en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca. El área de estudio abarca las urbanizaciones de Cincuentenario Kankollani, Santa Catalina y Santa Adriana. La investigación es de tipo aplicado y de nivel descriptivo – tecnológico. El procedimiento consiste en evaluar la calidad del agua subterránea, mediante análisis en laboratorio BHIOS y contrastar con los LMP establecidos por la DIGESA del Ministerio de Salud identificando los parámetros que no cumplen con la potabilidad, para después plantear un sistema de potabilización acorde a la necesidad. Como resultado del análisis en laboratorio se tiene parámetros microbiológicos y fisicoquímicos no aptos para el consumo humano, siendo el más perjudicial la alta concentración de arsénico, la solución que se propone en primera instancia es un sistema de potabilización que comprende el uso de nanopartículas de óxido de hierro (Fe_3O_4) como coagulante, complementado con filtro lento de arena y filtro de zeolita, y su final desinfección, la eficiencia este sistema logra la remoción de arsénico en un 97.92%; además para reducir la contaminación proveniente del vertimiento de aguas servidas se propone la implementación de UBS de tipo compostera seca complementado con zanjas de percolación. Llegando a la conclusión de que las aguas subterráneas evaluadas no cumplen con la calidad de agua para consumo humano, sin embargo es viable su potabilización con el uso de propuestas tecnológicas como el saneamiento básico unifamiliar.

Palabras Clave: Calidad del agua subterránea, metales pesados, potabilización, saneamiento básico.



ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the quality of groundwater, and then propose a single-family basic sanitation system in northwestern expansion areas of the city of Juliaca. The study area covers the urbanizations of Cinquantenario Kankollani, Santa Catalina and Santa Adriana. The research is of an applied type and a descriptive-technological level. The procedure consists of evaluating the quality of groundwater, through analysis in the BHIOS laboratory and contrasting it with the LMP established by the DIGESA of the Ministry of Health, identifying the parameters that do not comply with potability, and then proposing a purification system according to the need. As a result of the laboratory analysis, there are microbiological and physicochemical parameters not suitable for human consumption, the most harmful being the high concentration of arsenic, the solution that is proposed in the first instance is a purification system that includes the use of oxide nanoparticles of iron (Fe_3O_4) as a coagulant, complemented with a slow sand filter and a zeolite filter, and its final disinfection, the efficiency of this system achieves arsenic removal by 97.92%; In addition, to reduce pollution from wastewater dumping, the implementation of dry composting UBS complemented with percolation ditches is proposed. Concluding that the groundwater evaluated does not meet the quality of water for human consumption, however it is feasible to make it drinkable with the use of technological proposals such as single-family basic sanitation.

Keywords: Groundwater quality, heavy metals, purification, basic sanitation.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El acelerado y desorientado crecimiento poblacional en zonas de expansión noroeste de la ciudad Juliaca hace que las entidades estatales y Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) no puedan brindar el servicio de saneamiento básicos a este sector de la población, el cual induce a un uso inadecuado de recursos hídricos subterráneos y la contaminación de la misma; pues esta parte de la población actualmente consume agua subterránea cruda (agua de pozo sin tratamiento) y/o sometiendo a tratamientos artesanales (sin dirección técnica) situando en riesgo su salud, como señala Quispe (2019) “en la ciudad de Juliaca se da uso de aguas subterráneas de forma masiva para el consumo humano, sin la autorización de las entidades correspondientes, omitiendo la calidad del agua”. Por otro lado, Humpiri (2021) menciona en su estudio que “el arsénico (As) es uno de los principales problemas cuando se consumes agua no tratada proveniente de fuentes subterráneas, según el análisis químico de su estudio determinó 75 $\mu\text{g}/\text{l}$ de arsénico, excediendo al valor máximo de 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ de arsénico establecido por la norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS)”. Por conceptos como los anteriores surge la necesidad de realizar una investigación cuyo objetivo es evaluar dichas aguas subterráneas y proponer un sistema de saneamiento básico unifamiliar para lograr la potabilización acorde con los estándares de la calidad del agua que estipula la OMS y la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). En el Capítulo III se desarrolla la metodología donde de acuerdo al área de estudio se determinó evaluar y caracterizar puntos de muestreo de aguas subterráneas; las muestras de aguas subterráneas se extrajeron de los pozos que actualmente son usados como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano en zonas de expansión de la ciudad de Juliaca; posterior a



ello se envió para su respectivo análisis al laboratorio BHIOS sede Arequipa, el cual está acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), en este laboratorio se analizó de acuerdo a los métodos que cada parámetro requiere. En el Capítulo IV se muestran los resultados del análisis de laboratorio, luego se comparó con los valores de cada parámetros del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA, identificándose los contaminantes potencialmente perjudiciales para la salud humana, finalmente se planteó un sistema de tratamiento para lograr la potabilización de las aguas subterráneas, cuyas condiciones de geometría se plantearon de acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad del agua subterránea, además se plantea la implementación una unidad básica de saneamiento (UBS) complementado de tipo compostera seca con zanja de percolación con fines de disminuir la contaminación permanente a los recursos hídricos subterráneos a consecuencia del vertimiento de aguas negras.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las aguas subterráneas son una alternativa de abastecimiento para consumos humano de fácil alcance en muchas ciudades y urbanizaciones nuevas, sin embargo, este recurso hídrico subterráneo es poco estudiado y mal gestionado en muchos países, tanto por parte de la población que consume como por los organismos encargados de formular las políticas de gestión de aguas subterráneas. Cuya consecuencia hasta hace pocos años fue su escasa utilización y, en muchos casos, su paupérrima administración o inadecuada explotación.

A nivel global el estrés hídrico que tiene su origen en las aceleradas tasas de incremento poblacional en ciudades con alta actividad económica. También desde los remotos tiempos primitivos hasta nuestros días el crecimiento poblacional ha sido



progresivo sobre todo en las ciudades capitales o urbes en las que se mueve el comercio, y esto ha ocasionado progresivamente el crecimiento de la demanda de servicios básicos que por ausencia de propuestas de solución sostenibles e ineficiencia de los gobiernos se ha convertido en una bomba de tiempo. Según la OMS “a medida que la ciencia y las grandes industrias van creciendo en el planeta tierra, lastimosamente los recursos hídricos per cápita están disminuyendo debido a la contaminación global, lo cual compromete a la calidad del agua en el mundo. Otro de los motivos de la creciente contaminación del agua es la superpoblación humana en las urbes (migración de zona rural a la urbana), volviéndose un problema cada vez de mayor dificultad para los gobiernos y el objetivo de cerrar brechas de saneamiento (agua potable y desagüe) se vuelven cada vez más lejanas.”

A pesar de que existen políticas públicas para dotar adecuada calidad de agua a la población por largos años, estudios como los de Rodríguez et al (2010) señalan que “de los 6 billones de personas que pueblan la tierra, más de un billón sufre de problemas de abastecimiento de agua potable. Además, cerca de 2.5 billones no tienen acceso a un adecuado servicio de saneamiento.”

“América Latina y el Caribe cuentan con la presencia más alta de abastecimiento de agua potable de las regiones en vías de desarrollo con un aproximado de 94% de cobertura. Sin embargo, estos índices de cobertura varían considerablemente entre las distintas naciones y aún más entre las zonas urbanas y rurales de cada país. En América Latina, alrededor de 37 millones de personas no cuentan con acceso al agua potable, y aproximadamente 110 millones carecen de acceso a saneamiento. Las naciones de la región con más baja estadística en cuanto al acceso de agua potable son: Haití, Nicaragua, República Dominicana, Ecuador, Perú y Bolivia.” (Banco Mundial, 2015)



La problemática de referida a la brecha de saneamiento básico tiene consecuencias negativas en la población los cuales se traducen, en enfermedades intestinales, anemia, cáncer, etc. Y en muchos casos los servicios dados por las EPS son deficientes, “de acuerdo a estudios hechos en el año 2019 el Perú es un país donde aproximadamente el 90% de la población cuenta con dotación de agua potable, sin embargo, este servicio presenta significativas limitaciones, en cuanto al abastecimiento intermitente, entre ellas se tiene baja presión y calidad defectuosa del agua potable” (INEI, 2020).

A nivel nacional, en ciudad de Lima y en las diferentes regiones del interior, “se evidencia con frecuencia el consumo de mala calidad del agua proveniente de las diferentes fuentes, de estas la más contaminada o la menos potable son la aguas superficiales, seguida de aguas subterráneas” (ANA, 2012), puesto que en muchos casos no cumple con los LMP (límites máximos permisibles) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el consumo humano establecidos por la OMS y DIGESA, por ejemplo Calsin (2019) señala que “los parámetros bacteriológicos, coliformes totales y coliformes fecales de aguas de pozos artesanales y tubulares exceden los LMP establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.”

Además, según estudios realizados, INEI (2020) indica que:

“En Lima Metropolitana hay alrededor de 230 mil viviendas, el que equivale a 13,3% de las viviendas de la capital del Perú, que no cuentan acceso a servicio de agua potable. Y aproximadamente alrededor de 200 mil viviendas equivalente al 11,6 %, no cuentan con acceso a una fuente apropiada de saneamiento. Mientras que, en Cajamarca, el 42,1% de las viviendas, es decir 136,988 viviendas, no cuentan con acceso a la dotación de agua apta para consumo humano, y cerca de 230 mil (229,900), el 70,7%, carecen de



una fuente segura de saneamiento. Por otro lado, en La Libertad son más de 128 mil viviendas (128,555), el 35,3% del total de viviendas de la región, no tienen acceso a agua potable. De otro lado, cerca de 160 mil viviendas de esta región (159,599), el 43,8%, no cuentan con acceso a servicio de saneamiento. Y en Puno son más de 214 mil viviendas (214,572) que no cuentan con acceso a agua potable, representando al 60,6% de las viviendas de esta región, y aproximadamente 244mil viviendas (243,992), el 69 %, son las que carecen de servicio de saneamiento.”

Asimismo, informes estadísticos de Salud Ambiental de la Red de Salud San Román señalan que “el 78% de la población periurbana no cuenta con el servicio básico de agua potable en sus domicilios, estos pobladores consumen aguas subterráneas sin ningún tipo de tratamiento o potabilización.” (La república, 10 de junio 2019, p. 11). También estudios realizados por la Universidad Cayetano Heredia (2018) indican que “alrededor del 40% de la población de San Román no cuenta con servicios básicos de saneamiento y los 60% restante tiene agua solamente 5 horas al día. De estos, gran parte de los ciudadanos se quejan de la turbiedad permanente del agua en los puntos de recepción.” además según diario la república (2021), el gerente comercial de Seda Juliaca, declara que la “solo 66 mil 795 gozan del servicio de agua y desagüe siendo esta una cifra que representa aproximadamente el 22.7 % del total de la población. Los otros 77.3% de la población está a merced agua subterránea cruda (no tratada), sin certeza de que esta pueda ser consumible o nocivo, situando en riesgo su salud y lo de sus hijos que en un futuro repercutirán en la salud masiva de la sociedad”

Claramente la causa principal que induce al consumo de aguas subterráneas no tratadas y/o contaminadas son la falta de intervención oportuna por parte de las entidades estatales para el cierre de brechas de saneamiento básico, y esto es cada vez más difícil



debido al alto índice de crecimiento poblacional a efectos de migración del campo a la ciudad, dándose así creación descontrolada de nuevos asentamientos humanos, sumado a ello la deficiente gestión gubernamental sobre la explotación de las aguas subterráneas, además de la contaminación voraz de ciudades industriales originados por actividades antrópicas.

El consumo de agua no tratada y el deficiente saneamiento están relacionados con la transmisión de enfermedades como cólera, diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios básicos de saneamiento inexistentes, insuficientes, o gestionados de manera inadecuada; exponen a los ciudadanos a riesgos múltiples para la integridad de su salud. Esto puede convertirse en un problema de mayor relevancia en el caso de que en los centros sanitarios no se pudiera controlar, exponiendo así aún más a los pacientes como a los profesionales, generando mayores riesgos de infección o surgimiento de una epidemia. Todo ello puede acontecer por falta de implementación de adecuados servicios de implementación de saneamiento básico e higiene. “Pues a nivel mundial, el 15% de los pacientes contraen infecciones durante la hospitalización, proporción que es mucho mayor en los países de ingresos bajos.” (OMS, 2020)

La demanda de agua y el estrés hídrico irán creciendo año a año en las ciudades con fuerte movimiento económico; por su lado la población nueva o migrante que llega a habitar en los nuevos asentamientos humanos en zonas de expansión de la ciudad de Juliaca seguirá corriendo el riesgo de contraer cualquier enfermedad consumiendo agua subterránea sin ningún tipo de tratamiento.

Por ello surge la necesidad urgente de evaluar la calidad de aguas subterráneas crudas (agua de pozo sin tratamiento) y/o sometido a tratamientos artesanales (sin



dirección técnica), caracterizar y verificar el cumplimiento de la calidad del agua para consumo humano, y según el estado en la que se encuentre su calidad proponer alternativas y/o sistemas de potabilización del agua, con el fin de aminorar datos estadísticos negativos, aplicando tecnologías modernas ya existentes de la mano con la ingeniería en favor de las poblaciones en riesgos y menos favorecidas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el estado actual de la calidad de aguas subterráneas para consumo humano en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca – 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los valores de los parámetros biológicos y fisicoquímicos de las aguas subterráneas?
- ¿Cuál es el nivel de presencia de metales pesados en las aguas subterráneas de la zona de estudio?
- ¿Qué componentes debe tener el sistema de saneamiento unifamiliar en función de los contaminantes presentes en aguas subterráneas?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En las urbanizaciones de Santa Catalina, Cincuentenario Kankollani y Santa Adriana pertenecientes a las zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca, se evidenció que los pozos son la única fuente alcanzable de abastecimiento de agua para consumo humano y estos recursos hídricos están siendo consumidos sin ninguna evaluación ni certeza de su calidad, por ello es muy urgente evaluar la calidad de estas



aguas subterráneas y verificar su potabilidad de acuerdo a los valores de parámetros físico - químicos y bacteriológicos, para luego proponer la implementación de sistemas convencionales para la potabilización de dichas aguas subterráneas, con el fin de garantizar la adecuada dotación de agua para consumo humano, además de generar la mejora de la calidad de vida poblacional y aportar en el cierre de brechas de saneamiento básico.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la calidad de aguas subterráneas para consumo humano en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca - 2021.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros biológicos y fisicoquímicos de las aguas subterráneas.
- Analizar el contenido de metales pesados en el agua subterránea.
- Proponer un sistema de saneamiento básico unifamiliar en la zona de estudio en función de los contaminantes presentes en las aguas subterráneas.



1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE

Para el problema general se tiene como única variable la calidad del agua subterránea.

Tabla 1

Operacionalización de variable para el problema general.

Variable	Dimensión	Indicador	Índice	Instrumentos
Calidad de agua subterránea. “Características físicas, químicas y bacteriológicas que hacen aptas para el consumo humano, sin implicaciones para la salud, apariencia, gusto y color”	-Valores de parámetros biológicos -Valores de parámetros fisicoquímicos	(Org./l, NMP/100mL, ufc/mL, Quistes/L, Huevos/L, mg/L, NTU, U de PH, μ S/cm, U de color)	Agua potable/Agua no potable	Laboratorio

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En Colombia, el 2021 una investigación realizada por Cerón et al., enfatiza que “el agua subterránea constituye una fuente de abastecimiento prometedora para diferentes usos acorde con su calidad. Esta temática ha sido considerada desde diferentes perspectivas técnicas que proporcionan un marco conceptual.” Donde empleó “herramientas bibliométricas para procesar información recopilada de bases de datos especializadas teniendo en cuenta una ventana de observación de 10 años.” encontrando que “la calidad del agua subterránea es un aspecto prioritario en investigaciones, así como la formulación de índices de calidad que sean aplicables a determinado contexto. Adicionalmente, los estudios hidrogeológicos que contemplen la variabilidad espacial y temporal ofrecen otra oportunidad de investigación que permite un mejor manejo del recurso.” Concluyendo que “la investigación técnico científica en torno a la gestión del agua subterránea ha tomado relevancia dado su actual y futura importancia como fuente de abastecimiento. La gestión de cuentas y uso del suelo, la modelación e impacto climático, estudios hidrogeológicos y la calidad del agua forman los principales aspectos técnicos sobre los que se enfocan los avances de investigación, los cuales se relacionan directa o indirectamente en sistemas tan complejos como un acuífero. La calidad del agua subterránea representa un aspecto de relevancia mundial y por lo tanto se ha convertido en uno de los campos de investigación más atendidos y con mayores avances, dentro de este campo vale la pena resaltar la implementación combinada de los ICAs junto con SIG, herramientas que aumentan la capacidad de monitorear la calidad del agua subterránea y



comprender su variabilidad espacio-temporal. la integración de estas investigaciones puede contribuir a incrementar la eficiencia del uso del agua subterránea” (p. 47)

En Venezuela, Piguave-Reyes et al., (2019) señalan que “el agua subterránea se contamina debido a fugas de fosas sépticas, sumado a ello los métodos inadecuados de manejo de desechos y escorrentías de agua de lluvia, determinando la prevalencia de diarrea infantil. De allí, la importancia de monitorear la calidad del agua como factor de riesgo, con la detección y cuantificación de bioindicadores, mediante métodos rutinarios y novedosos, e incorporar intervenciones dirigidas a mejorar la accesibilidad a fuentes de agua controladas y la educación sanitaria en la búsqueda de asegurar la protección del agua y la disminución en la prevalencia de la diarrea infantil.” (p. 153)

En Ecuador, Camacho & Fernández (2020). Ilustran que “el acceso al agua es un derecho humano irrenunciable que debe ser garantizado, facilitando el acceso de la población a fuentes y reservas de agua de calidad, sin embargo, en ciertos lugares el agua potable es de difícil acceso, permitiendo que las fuentes subterráneas jueguen un rol preponderante, pues permiten obtener agua de fácil acceso y altísima calidad, sin embargo, su aprovechamiento no ha alcanzado un nivel importante, y se ha centrado mayoritariamente en localidades reducidas.” En su estudio identifican “fuentes desconocidas de agua subterránea, especialmente de origen somero presentes en el cantón Morona, evaluando su uso y explotación, considerando que el 53,9% de la población del cantón habita en el área rural y la cobertura de agua por red pública del alcanza el 75.1%.” “Las identificaciones de puntos de agua subterránea realizaron utilizando el método de observación participativa y exploración de campo, posteriormente la información relevante de cada punto de agua identificado como su tipo, localización, uso y potencial hídrico es tabulada con la finalidad de transformarlos a un modelo vectorial que permita



generar un mapa del cantón Morona con los puntos de agua subterránea identificados. Así, el estudio establece que el cantón Morona cuenta con diferentes puntos de agua subterránea ubicados en cada una de sus nueve parroquias, siendo la mayoría manantiales seguida de pocos pozos excavados de origen somero, además se establece que las fuentes con mayor capacidad hídrica son utilizadas en actividades antrópicas como la silvicultura (2%), piscicultura (30%) y consumo doméstico (28%), mientras que otros recursos hídricos subterráneos con menor aporte no generan un beneficio antrópico (40%). La información generada es considerada de vital importancia para generar nuevas rutas de agua potable y alcantarillado, aportando al desarrollo de cada una de las provincias del cantón.” (p. 460)

En un estudio realizado por los argentinos Nicora et al., (2021) declaran que “en América Latina prevalece un manejo descoordinado y fragmentado de los recursos hídricos por la utilización de enfoques sectoriales y por la falta de información y sistematización. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), enfoque que apunta a la consideración combinada de las dimensiones sociales, económicas y ecológicas con base en la gestión intersectorial y planificación integrada, es reconocida como apropiada para responder a los desafíos de la gestión sustentable. Donde se plantearon como objetivo analizar, de forma integral, las variables físico-naturales y sociales que definen la problemática del agua de consumo en las escuelas rurales del partido de Tandil. Realizando análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la potabilidad del recurso, se desarrolló y aplicó un índice del nivel de manejo del agua en las escuelas, así como una entrevista a un informante clave del Consejo Escolar de Tandil, para evaluar el manejo institucional del recurso y, por último, las variables relevadas se analizaron integralmente. Los resultados indicaron que microbiológicamente el agua no es apta para el consumo en el 73 % de las escuelas y que el manejo institucional dista de una



conceptualización de gestión integral. A partir de la integración de los resultados se concluyen que dicho manejo influye directamente sobre la calidad del agua, evidenciado en los problemas microbiológicos detectados. Se identifican las principales falencias del manejo actual y se destaca la necesidad de asumir medidas institucionales que tiendan a una gestión integral del recurso.”

Ibañez y Sandoval (2017) realizaron un estudio para proponer “un prototipo de sistema de tratamiento de agua para zonas rurales colombianas. Para esto emplearon un prototipo consta de cuatro compartimientos en los cuales se adelantan procesos de clarificación del agua con piedra de alumbre y filtración, utilizando materiales granulares como: arenas de distinta granulometría, piedra pómez, carbón activado y gravilla. El agua problema se emuló siguiendo las características del agua encontrada en la zona rural del país y su monitoreo se realizó siguiendo la normatividad vigente en Colombia. Finalmente concluyen que el sistema de tratamiento (purificación) evaluado en el presente estudio, produjo un agua apta para consumo humano a partir de agua con características promedio de zonas rurales semi-templadas del país. La tecnología propuesta es de fácil adaptación y difusión, y permite el control de enfermedades de origen hídrico en zonas desprovistas de sistemas de acueducto.”

Pacheco, Cabrera y Pérez (2004) afirman que “la naturaleza cárstica del Estado de Yucatán, hace que el agua subterránea sea el único medio de abastecimiento y que sea muy vulnerable a la contaminación. En la mayoría de los sistemas de abastecimiento municipales, el uso del suelo en los alrededores es principalmente habitacional, agrícola y pecuario, por lo que el uso, no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos, son las principales fuentes de la contaminación del agua subterránea. Con la finalidad de elaborar un diagnóstico de la calidad en los pozos de extracción de



agua potable, se evaluó la calidad química y bacteriológica del agua subterránea. Durante los muestreos, se recolectaron muestras en los sistemas de agua potable de las 106 cabeceras municipales del Estado de Yucatán. Los resultados mostraron que el agua subterránea del Estado de Yucatán presenta una calidad bacteriológica clasificada como peligrosa y muy contaminada en la parte oriental del estado. Las clasificaciones de la calidad química del agua subterránea en función al número de parámetros químicos que excedieron los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana (nitratos, cloruros, sodio, dureza total y cadmio), fueron de: buena calidad, aquellos municipios que no rebasaron la norma; calidad baja, los municipios en los que únicamente un parámetro excedió la norma (13.21%); calidad media, los municipios en donde 2 o 3 parámetros excedieron la norma (52.83%) y; mala calidad, los municipios en los que 4 y 5 parámetros (7.55%) excedieron la norma.”

Castillo (2015) realizó un estudio para evaluar “un filtro utilizando carbón activado granular para el tratamiento de agua cruda a nivel domiciliario en el sitio La Pereira parroquia La Avanzada cantón Santa Rosa. Para esto empleó filtro lento de arena el que fue realizado en un tanque de 55 galones de polietileno de 55 cm de ancho y 85 cm de altura, con dos capas de 5 cm de gravas de diámetro que comprenden 0.7 mm hasta 12 mm y una capa de arena fina con un diámetro efectivo de 0.347 mm de 55 cm de espesor, el caudal de entrada es de 0.59 l/min el mismo que es controlado por una válvula esférica. Se diseñó un sistema de drenaje que consta de una tubería principal de $\frac{3}{4}$ ” y 4 laterales de $\frac{1}{2}$ ”, cada lateral tiene 8 orificios dispuesta en dos hileras, los orificios son de 4 mm de diámetro. El cartucho es realizado mediante una tubería de 110 mm de desagüe con una longitud de 51 cm, sellada en sus extremos mediante tapones que se conecta al tanque mediante accesorios, se utilizan aproximadamente 2.2 kg de carbón. Finalmente concluyó que Los resultados obtenidos mediante un proceso sistemático en este proyecto de



investigación, comprueban que este método de potabilización de agua a nivel domiciliario si cumple con los parámetros establecidos de calidad de agua en la norma 1108, satisfaciendo al problema planteado y cumpliendo con los objetivos trazados.”

Ruiz (2015) realizo un estudio para desarrollar “un modelo y el manual de operación para la prueba de tratabilidad de filtración con el propósito de realizar ensayos en el laboratorio como parte de las prácticas que ilustran los conocimientos teóricos de la clase de tratamiento de agua para consumo humano de la carrera de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería. Para esto empleó procesos de potabilización de aguas superficiales. Dependiendo de la calidad del agua de afluente puede usarse de manera directa, es decir en ausencia de un tratamiento C-F-S, o bien, posterior a estos procesos. Finalmente concluyó que se construyeron dos medios filtrantes, los cuales se emplearon para ejemplificar la remoción de turbiedad en medios de arena, y la remoción de color y turbiedad en medios duales de arena y carbón activado. Se redactó el manual de la práctica en donde se expresan todos los requisitos para la elaboración de la muestra sintética y para el desarrollo del tren de tratamiento C-F-S-F.”

Stenzel y Gupta (1985) realizaron un estudio para “tratar la contaminación de aguas subterráneas con filtros de carbón activado. Para lo cual emplearon tres tanques de filtros con carbón activado evaluando los contaminantes de las existentes en las aguas subterráneas, quienes concluyen que, con un diseño y aplicación adecuados, la adsorción con carbón activado granular, la extracción de aire de la torre compacta o una combinación de ambas tecnologías son propuestas efectivas para tratamiento de aguas subterráneas. Sin embargo, para hacer una evaluación adecuada de estos sistemas, el problema y la solución a largo plazo deben estar bien definidos. La cantidad y la naturaleza de los contaminantes, el uso final del agua, los problemas de contaminación



del aire, las consideraciones operativas y la economía asociadas con la capital y la operación continua son factores importantes para seleccionar el mejor sistema de tratamiento para abordar la contaminación del agua subterránea.”

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En Tacna, Pino, Chávarri, & Ramos (2018) indican que “la crisis de gobernabilidad y gobernanza en el uso del agua subterránea en el acuífero costero de la Yarada es un elemento que contribuye al agotamiento y deterioro de la calidad del agua subterránea, por procesos de intrusión marina. Este trabajo busca caracterizar la crisis de gobernabilidad en el uso del agua subterránea, bajo las condiciones actuales de explotación, y establecer sus implicancias en el área de estudio, interpretando la normatividad nacional e internacional vigente y aplicable a este tipo de sistema. Este problema, en todos sus términos, altera y rebasa las leyes respecto a los regímenes de la gestión y limitaciones en disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos. De no tomarse acciones inmediatas por parte del aparato gubernamental, la crisis del sistema podría volverse irreversible, con el consiguiente perjuicio económico que esto acarrea. En la zona se cuenta con grandes extensiones de plantaciones de olivo, que son el soporte de la actividad económica en la región. En tal sentido, encontraron que es necesario contar con un marco normativo específico para las aguas subterráneas que reconozca su particularidad. Para esto invocan que se debe consolidar y hacer fuerte la institucionalidad en materia de Derecho de Aguas, y esta no es una necesidad única para el caso de las aguas subterráneas, sino de manera general para los recursos hídricos en todas sus formas en Perú.”

En el departamento de Cajamarca, Soriano (2018) da a conocer que “el centro poblado de Pata Pata, ubicado en el distrito de Pariamarca, no cuenta con abastecimiento



de agua potable continua, por lo que recurren al uso de agua subterránea para su consumo y otras actividades. No obstante, no consideran los posibles factores de contaminación que pueden llegar a afectar su calidad. En su investigación tuvo como objetivo principal evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea obtenida de 3 puntos de muestreo seleccionados por conveniencia y determinar si estas eran aceptables o no para el consumo humano en el centro poblado, para ello comparó los resultados fisicoquímicos y microbiológicos con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua aprobado en el D.S. N° 031-2010-SA y con los estándares de calidad ambiental categoría A1 aprobados por el D.S. N° 004-2017-MINAM. Finalmente se concluyó que las aguas de los tres puntos de muestreo no son aceptables para el consumo humano porque hubo presencia excesiva de coliformes tanto totales como termotolerantes, por lo que debe pasar por un proceso de tratamiento. Con respecto a los otros parámetros fisicoquímicos todos se encontraron dentro de los límites a excepción de la turbiedad, que se excedió en el punto AS-03 en el mes de febrero; el oxígeno disuelto, sulfatos, que se excedieron en el punto AS-02 en el mes de junio y nitritos que se excedieron en el punto AS-02 en el mes abril.”

En Piura, Galecio (2018). En su investigación indica que “de acuerdo al análisis de la información recopilada sobre la geología de la zona investigada determina un contexto evolutivo de la geología que en su mayoría por materiales descritos como rocas sedimentarias de edades terciarias que a su vez se encuentran cubiertas por sedimentos de edades cuaternarias. En el cual analizó las características litológicas de dichos materiales que determinen condiciones favorables de constituir uno o más acuífero. Del mismo modo estableció la dinámica hidrológica de la cuenca del río Piura por ser la principal fuente de alimentación del acuífero. Mediante el apoyo de un método geofísico denominado Resistividad Eléctrica mediante Sondajes Electrico Verticales (SEV’s) que



generan un campo eléctrico artificial para relacionar los materiales al ser expuestos a dicho campo. Para investigar la zona de interés se realizó un programa de puntos para ser evaluados y sea posible elaborar perfiles del subsuelo denominados secciones geoelectricas basados en los resultados de estas pruebas y usando una configuración establecida llamada Schlumberger para la interpretación de estos resultados describiendo rangos de valores que caracterizan geológicamente los materiales por su resistividad al campo eléctrico. Desarrollada cada una de las partes necesarias para comprender la hidrogeología se puede determinar que en la zona investigada existen 2 acuíferos, siendo el más cercano a la superficie un acuífero de tipo libre sobre materiales de origen cuaternario, mientras que a mayor profundidad existe un acuífero semiconfinado emplazado en la formación zapallar de edad terciaria. Del análisis de las características físico químicas de al agua subterránea en pozos aledaños se determina como fuente aprovechable con mejores características físico químicas el acuífero semiconfinado. Para lo cual se consideran especificaciones para el aprovechamiento del mismo. Cada uno de los capítulos desarrollados en la presente investigación detallan su aporte a concretar los resultados y recomendaciones de la misma.”

En Lambayeque. Ccencho (2018). Realizó una investigación en el que “tuvo como objetivo general la bioadsorción del Arsénico en agua mediante el uso de biomasa seca (cáscara de plátano) y parámetros que influyen en el proceso de bioadsorción, como es la dosis, tamaño de partícula, pH, conductividad potencial redox, tiempo y velocidad. En la población de Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque. La población para este estudio fue un reservorio de agua extraída de la napa freática, es decir agua subterránea, la muestra estudiada fue de 35 litros, para el muestreo de esta investigación consideró el protocolo Nacional para el monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Aplicando el tipo de muestreo no



probabilístico debido a que utilizó el muestreo por conveniencia. Para ello utilizó tres diferentes dosis, 2,5, 5 y 7,5 g de biomasa seca (cáscara de plátano) y tres diferentes mallas +10,-10 y -18, en primer lugar, se midieron los parámetros fisicoquímicos del agua contaminada, después se procedió a estas aguas agregarlas en vasos utilizando el equipo de jarra tets finalmente se agregó la biomasa seca (cáscara de plátano). para lo cual la bioadsorción optima fue de 5/0.5L de dosis y malla -18/0.5L, a una velocidad inicial de 150 RPM y velocidad final de 30 RPM respectivamente, un tiempo residencia de 18 horas, con un pH de 5.48, conductividad de 1506 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un potencial redox positivo, estos tres últimos parámetros se tomaron después de la bioadsorción, concluyendo que la biomasa seca (cáscara de plátano) es eficiente en este proceso, ya que la concentración de Arsénico inicialmente fue de 0.1mg/L y finalmente fue de 0.0827mg/L.”

En San Martín, Casique & Herrera (2018). Realizaron un estudio cuyo fin fue “diseñar el sistema de agua potable para mejorar las condiciones de vida del distrito de Cuñumbuqui, San Martín para así evitar enfermedades que afecten a la salud de los pobladores del distrito de Cuñumbuqui. Se realizó el levantamiento topográfico, estudio de mecánica de suelos e hidrológico de la zona acorde con los procedimientos establecidos en la Normatividad Técnica Peruana, de la misma forma establecieron los parámetros para el diseño de agua. Se trabajó con el Reglamento Nacional De Edificaciones. Norma OS. 010 Captación y Conducción de Agua para Consumo Humano Captación; El diseño de las obras deberá garantizar como mínimo la captación del caudal máximo diario necesario protegiendo a la fuente de la contaminación. Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones generales: Conducción: Se denomina obras de conducción a las estructuras y elementos que sirven para transportar el agua desde la captación hasta al reservorio o planta de tratamiento. Tuberías, Accesorios, Conducción por bombeo, Consideraciones especiales. Reglamento Nacional De Edificaciones. Norma OS. 030



Almacenamiento de agua para consumo humano Volumen de Almacenamiento (Regulación, Contra incendio, Reserva); Reservorios, características e instalaciones. Reglamento Nacional De Edificaciones. Norma OS. 050 Redes de Distribución de Agua para Consumo Humano, Disposiciones Específicas para Diseño: Análisis hidráulico, Diámetro mínimo, Velocidad, Presiones, Ubicación; Conexión Predial. Reglamento Nacional De Edificaciones. Norma OS. 070 Redes de aguas residuales Disposiciones específicas para de diseños, Levantamiento topográfico, suelos, población. Conexión predial (diseño, ubicación, diámetro). Finalmente, se adquirió el sustento de redes de distribución la cual tenemos una longitud total de tubería de 4,265.68ml, también se obtuvo el sustento de línea de aducción con una longitud total de tubería de 178.69ml. Consiguiente a estos resultados se realizó el diseño del sistema de agua potable, tomando como fuente el agua subterránea.”

En la región Arequipa, se abordó un estudio para “remoción de arsénico del agua superficial del Río Tambo sector (Quelgua), donde se empleó nanopartículas de óxido de hierro soportadas en Zeolita (NpsFe_3O_4 -Zeolita), para hacer efectiva la remoción se propuso el empleo de la técnica de prueba de jarras alcanzando una remoción mayor del 90 % para el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles según el D.S. 031 – 2010 – SA. El método empleado en la síntesis de nanopartículas de óxido de hierro (NpsFe_3O_4) fue de Co-precipitación Química en atmósfera inerte de nitrógeno gaseoso empleando como precursores sales de hierro como cloruro de hierro hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y sulfato de hierro heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), así mismo se empleó hidróxido de sodio (NaOH) como agente reductor y material zeolítico como soporte. La caracterización estructural se realizó por Difracción de Rayos X (DRX) que confirmó la formación de la fase de Magnetita (Fe_3O_4) en el núcleo de la Nanopartícula cuyo parámetro de red es muy próximo al valor de la magnetita bulk, el tamaño de cristalito



estimado fue de 13 ± 2 nm y 14 ± 2 nm para muestras empleando Carboximetil Quitosano (CMQ) como estabilizante, mediante los análisis por Dispersión de Luz Dinámica (DLS) muestra un tamaño hidrodinámico aproximadamente de 145.8 nm y un valor de polidispersidad de 0.16 demostrando monodispersidad. Los resultados obtenidos por Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) confirma la interacción entre los grupos funcionales de la NpsFe₃O₄ y el CMQ recubriendo las nanopartículas, la caracterización realizada por Microscopia Electrónica de Transmisión (TEM) mostró la formación de nanopartículas cuasi esféricas y monodispersas con tamaño de 11 y 13 nm para NpsFe₃O₄ y NpsFe₃O₄-CMQ respectivamente, mediante el análisis de las curvas de Zero Field Cooled (ZFC) y Field Cooled (FC) se midió la imantación de las NpsFe₃O₄ en función de la temperatura a 300 °K, de esto se deduce que a esta temperatura el material cambia de comportamiento magnético de paramagnético a superparamagnético. Mediante la técnica RAMAN debido a su mayor sensibilidad se muestra la presencia de otras fases de Óxido de hierro como como maghemita, por el método BET (Brunauer-Emmet-Teller) se determinó el área superficial y la capacidad de adsorción de las NpsFe₃O₄-Zeolita brindando como resultado una adsorción de 315.0360 cm³ /g STP, un área superficial de 43.8357 m² /g y un tamaño de partícula de 136.8747 nm. El proceso de remoción se realizó mediante prueba de jarras empleando muestras de laboratorio y muestras de lugar de estudio, con 5 y 10 mg de NpsFe₃O₄-Zeolita, se trabajó a pH ácido de 2.5, en un tiempo de 32 horas, se evaluó la capacidad de adsorción y saturación de las nanopartículas, finalmente las muestras se analizaron por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES). De las pruebas de remoción y los análisis realizados se demuestra que la mayor remoción de Arsénico se logró con 5 mg de NpsFe₃O₄, logrando una remoción del 97% en los primeros 30 min de contacto, logrando reducir los niveles de arsénico por debajo de los



0.1 mg/L cumpliendo lo establecido en el D.S. 031 – 2010 – SA” (Tapia & Huanca, 2019)

Molina, L. (2018) realizó un estudio para “identificar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en agua subterránea para el consumo humano del distrito de Uraca-Corire. Para esto se caracterizó el agua consiguiendo determinar la composición química. Para ello se programó tres puntos de muestreo (M1, M2 y M3) por periodos estacionales como son: Verano, Otoño, Invierno y Primavera. Finalmente, del estudio de los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea para consumo humano de Uraca - Corire se concluye: Los sólidos totales disueltos y la dureza total se encuentran superando lo establecido por el DS 031-2010-SA. La concentración de sulfatos se encuentra dentro del valor guía de la OMS, pero con respecto al DS 031-2010-SA supera el valor establecido. El Arsénico encontrado en los tres puntos de estudio se encuentra en el límite del valor establecido por la norma.”

Valles, Mori y Ojeda (2013) realizaron un estudio para “diseñar y construir de un sistema de filtros para pozos artesianos y su uso en el distrito de Villa Trompeteros-Rio Corrientes - Loreto. Para esto emplearon la determinación de los parámetros que se aplicará al momento de la construcción del equipo, se podrá medir el caudal, el tiempo de residencia, pérdidas de carga o por fricción, la velocidad de filtración. Finalmente concluyen que la selección de los procesos de tratamiento para atender las exigencias de carácter microbiológico y fisicoquímico sólo pueden efectuarse después de un estudio cuidadoso y detallado de la fuente y la cuenca hidrográfica, que incluya la caracterización del agua e identificación de fuentes potenciales de contaminación.”

Rossi, G. (2017) realizó un estudio para “diseñar un filtro purificador casero, de agua para uso rural. Para esto empleó filtros de arena, ya que son simples de instalar, de bajo costo, fácil operatividad y mantenimiento, además no constituirían un riesgo para la



salud pues no se hace uso de sustancias químicas y se puede complementar con un vigoroso hervido del agua filtrada por 5 minutos para eliminar microorganismos residuales. Finalmente concluyó que el filtro de agua aplicado logró mejorar la calidad de la muestra en estudio, siendo más efectivo para la reducción de la turbidez la que se redujo hasta un 99,97%.”

2.1.3. Antecedentes Locales

Quispe (2019) indica que “en la ciudad de Juliaca se da uso de aguas subterráneas de forma masiva para el consumo humano, sin la autorización de las entidades correspondientes, desconociendo la calidad del agua. Por ello se pone como propósito diseñar un prototipo de sistema de información para monitorear parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, por lo que se desarrolló un prototipo de medición de parámetros fisicoquímicos del agua, en distintos pozos, los cuales han sido monitoreados en un visualizador web, la colecta de datos que se consideró, fueron los parámetros fisicoquímicos de pH, turbidez y temperatura de aguas subterráneas en pozos de la urbanización Satélite de la ciudad de Juliaca, con su correspondiente normativa de medición; la metodología de investigación es aplicada y las técnicas usando ciencias básicas, utilizando microcontroladores Arduino, sensores de pH, turbidez y temperatura, un sistema de servidor implementado con Apache, como herramienta de investigación se empleó el software IDE Arduino y processing, e instrumentos los distintos sensores, para la recolección de datos se validó el prototipo comparándolo con medidores de precisión y su respectiva calibración, el monitoreo se realizó durante 8 semanas de los meses de octubre y noviembre del 2019; los resultados de los parámetros fisicoquímicos muestran que las aguas subterráneas de la urbanización Satélite presentan valores de pH entre 6.65 a 7.65, turbidez entre 0.99 a 52.5 NTU y



temperatura entre 14.78 a 15.86 °C, en conclusión las aguas en la zona de estudio para su potabilización requiere de desinfección y tratamiento convencional.”

Panca (2021) realizó un estudio en el distrito de Juliaca, cuyo objetivo fue “evaluar el impacto por la existencia de letrinas en la calidad del agua subterránea para el consumo humano en los barrios 15 de agosto y San Salvador, en relación a las principales causas de contaminación para su mejoramiento con tecnologías sencillas. El cual consistió en analizar e interpretar las características físico-químico y bacteriológicas de agua para el consumo humano en base a los estándares de calidad de agua; comprobó que los parámetros físico químicos como color, olor, sabor, pH, cloruro, sulfatos, nitratos, magnesio, solidos disueltos totales, zinc, sodio, turbiedad, amoniaco, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP); excepto, dureza excediendo en sus 4 muestras un promedio de 29%, alcalinidad en la muestra 1 el 16.1 %, calcio en sus 4 muestras un promedio del 25%, Aluminio en la muestra 2 el 50%, coliformes totales y termotolerantes (fecales) en sus 4 muestras en un promedio de 262% y 87.25%. Concluye que la existencia de coliformes en el agua de pozo se debe por prácticas inadecuadas de higiene, el sistema de desagüe sanitario está atendido por silos o letrinas, inadecuada ubicación de letrinas y limitado conocimiento en educación sanitaria, posterior a ello se ha propuesto un programa de educación sanitaria y uso de un hipoclorador de flujo constante para garantizar un agua libre de microorganismos.”

Humpiri Condori, A. D. (2021) señala que “el arsénico (As) es un problema de salud, la principal vía de exposición es el consumo de agua potable contaminada con arsénico (As), según el análisis químico contiene 75 µg/l de As, que excede al 10 µg/L As según la norma de OMS. Por ello realiza un trabajo de investigación de bioadsorción de arsénico en aguas de pozo tubular de la ciudad de Juliaca con biomasa de waraqqo



(*echinopsis maximilia*), con el que pretende desarrollar una nueva tecnología para tratamiento de aguas subterráneas. En este proceso de adsorción ha logrado reducir la concentración de arsénico de $75\mu\text{g/L}$ a $7\mu\text{g/L}$ As. La biomasa fue tratada con solución de HNO_3 y solución de NaOH , y una solución de FeCl_3 al 3%, lo que ha permitido mejorar la adsorción. Los ensayos de adsorción fueron realizados con 0,4 g de adsorbente bajo las condiciones ambientales, como resultado logró remover al 90% de As. Las variables óptimas son: tiempo y pH para el que se utilizó el diseño factorial de dos factores con tres niveles y dos réplicas; de acuerdo a los resultados de análisis de varianza indica que las variables tiempo y pH son altamente significativos. Se ha estudiado la cinética de adsorción para ello se han utilizado los modelos cinéticos de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y modelo Elovich El investigador concluye que se obtuvo bioadsorbente activado en medio ácido-alcalino e impregnado con solución de cloruro férrico a partir de biomasa waraqqo natural silvestre, este bioadsorbente obtenido es selectivo para iones de arsénico puro, cuya capacidad de adsorción fue de $18,80\mu\text{g/g}$ de As.”

Tapia (2017) presenta “la metodología requerida para la adsorción de arsénico de las aguas subterráneas contaminadas del distrito de Taraco de 0.05 mg/L , usando chacko (Hidralgirita), el cual desarrolló en los ambientes de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno y para su análisis de arsénico, se envió al laboratorio de Seda Juliaca el consumo de agua que contiene metal pesado como el arsénico según a la OMS no debería ser mayor a 0.01 mg/L lo cual afecta a la salud humana. Se determinaron las variables más influyentes según a nuestro objetivo, cantidad de adsorbente, pH, temperatura y tiempo. La metodología con la que se trabajó es por diseño experimental central compuesto ortogonal de segundo orden. Se evaluó las propiedades del Chacko (Hidralgirita), mediante un estudio de caracterización de la materia prima como óxidos: dióxido de silicio 46.451%, trióxido de aluminio



37.833%, óxido de magnesio 4.871%, óxido de calcio 4.152% entre otros óxidos, estos óxidos facilitan la adsorción del ion arsénico, el chacko (Hidralgirita) para su análisis se envió al laboratorio de la (UNI) y para la adsorción de As al laboratorio de control de calidad Seda Juliaca y así aplicarlo como arcilla natural para el ablandamiento de agua subterránea. En la adsorción del ion As se obtuvieron condiciones favorables: La cantidad de adsorbente 0.2 g, pH óptimo que es 7.5, temperatura 25 °C y tiempo óptimo de contacto que es de 70 minutos. Se determinó la cinética de adsorción para determinar el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio y se evaluaron los cinéticos de Pseudo primer orden, Pseudo segundo orden, Elovich y Difusión intraparticular. Concluye que se analizó el agua subterránea contaminada con As del distrito de Taraco antes 0.05 mg/L y después de la remoción con chacko (Hidralgirita) se llegó a disminuir a 0.008 mg/L. Se llegó a una máxima capacidad de adsorción de 84%.”

En la provincia de Melgar hicieron un estudio de “los metales pesados presentes en aguas naturales, donde definen que estos son sustancias tóxicas capaces de causar graves daños en los seres vivos, por ser no biodegradables y permanecen mucho tiempo en el entorno, acumulándose en el organismo de los seres vivos; el metal pesados Arsénico contaminante del agua es el que pone en riesgo a la salud del ser humano por acumularse en el organismo por exposición crónica y por consumo en el agua que causa afecciones de alteraciones de la piel, efectos en el sistema nervioso, irritación del aparato respiratorio, gastrointestinal y hematopoyético, acumulación en los huesos musculo y piel, y en menor grado en el hígado y riñones; siendo como objetivo de estudio evaluar la remoción de arsénico (As) en soluciones acuosas y en aguas naturales superficiales del río Ayaviri cuyas muestras fueron tomadas en coordenadas UTM $x = 314682.62m$ y $y = 8362441.88m$ y procesados por oxidación con Cloruro férrico; floculación – sedimentación utilizando cal Artesanal y filtración en lecho de graba I.F; cuyos resultados



de remoción de As, se compararon a los LMP según Normas Nacionales de Calidad Ambiental del agua. La investigación es de carácter explicativa y experimental, el estudio se realizó en el Laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del altiplano Puno, a condiciones ambientales de 460 mm de Hg, a altitud de 3812 metros sobre el nivel del mar (msnm) y a temperatura variable de 12 a 15 °C. Los resultados del estudio para la remoción el As se utilizó 14,64 mg/L de FeCl_3 para oxidación óptima de arsénico As, como floculante se utilizó 0,022 g/L de cal CaO de pureza del 52,52 % y se filtró en columna de grava y arena IF, a un caudal de 10,5 L/min; lográndose una remoción de arsénico As, del 93,75% en soluciones acuosas y en muestras de agua superficial del río Ayaviri; posterior a la remoción del As, se logró valores menores a los Límites Máximo Permisibles LMP de las Normas Nacionales de Calidad Ambiental del Agua ECA D.S. 004-2017. MINAN, Perú.” (Pary & Mamani, 2018).

En otro estudio realizado en el distrito de Caracoto, Provincia de San Román-Puno, “se caracterizaron aguas naturales de pozos subterráneos de dos puntos de muestreo, con el objetivo de efectuar la remoción de arsénico (As); del agua cruda se tiene que la muestra M-I corresponde a la zona urbana, con contenido de As, de 0.1803 mg/L y la muestra M-II del sector Rural con contenido de 0.1524 mg/L de As; estas concentraciones exceden a los límites máximos permisibles de 0.010 mg/L de As, del D.S. 004-2017 MINAM. Este estudio de la remoción del As, se realizó en el laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno. La remoción de arsénico del agua se realizó en el equipo de Oxidación Avanzada por radiación solar; se oxido la muestras de agua con concentraciones óptimas de 1,7 g/L de sulfato de hierro, con 6,6 mL/L de hipoclorito de sodio del 7%, para un tiempo de adsorción óptimo de radiación solar de 180 minutos, en flujo continuo de recirculación



de 75 L de agua; obteniendo para muestra: M-I, una remoción de arsénico del 94.95% a pH óptimo de 7,67 y para la M-II, con una remoción de arsénico del 90.85% a pH óptimo de 7.70, el estudio se desarrolló con una categoría de exposición de índice de radiación solar de 8 a 12.5; del reporte diario del SENAMHI-Puno” (Coaquira, 2020)

También se realizó otro estudio, donde “el objetivo de la investigación fue la adsorción de arsénico de las aguas municipales y de los pozos domésticos en la ciudad de Huancané por coagulación-floculación, utilizando como coagulante el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y como floculante el hidróxido de calcio. Los parámetros físico-químicos del arsénico 0.057 mg / L y 0.059 mg/L de las aguas municipales y de pozo respectivamente, los que exceden los valores máximos permitidos por la Ley General de Aguas que es de 0.010 mg/L. Las variables operativas que se modificaron en todas las diluciones fueron el pH (de 7.5 a 12) y la dosis de coagulante (de 30 a 100 mg/L), los experimentos se realizaron variando la velocidad de agitación (20 a 150 rpm) y el tiempo de mezcla (10 a 20 min), para establecer sus influencias en los procesos probados, se recuperaron luego del proceso de coagulación-floculación, arsénico del agua municipal 0.00235 mg/L con un 95.88 % de adsorción y de las aguas de pozo 0.0027 mg/L con un 95.64% de adsorción, el modelo matemático se llevó a cabo mediante experimentación y estadísticas, el pH óptimo es 7.5 con un tiempo de coagulación de 10 minutos, con una velocidad de agitación de 150 rpm. La validez del modelo de regresión matemática se demuestra mediante los valores encontrados por el modelo matemático con las variables, velocidad de agitación (V), tiempo de mezcla (t) y pH. Por lo tanto, se concluye que el pH es la variable más importante en el proceso de recuperación de arsénico. El coeficiente de correlación obtenido fue de $R^2 = 97.9777\%$ para las aguas municipales y 91.4094% para las aguas de pozo, lo cual nos indica que el proceso de remoción de arsénico de las aguas de la ciudad de Huancané es adecuado” (Tintaya, 2019)



En el departamento de Puno se buscó también alternativas de “evaluar la remoción de arsénico del agua subterránea a través de filtros empacados con zeolitas naturales de la región Puno (Atuncolla, Ocuvi) y zeolita Comercial. El material filtrante se ha sujeto a limpieza de impurezas, secado natural, trituración, tamizado y caracterización por difracción de rayos X. Se diseñó tres filtros cilíndricos de volumen de 0,55 m³, altura de 0.70 m de material PVC, y las aguas subterráneas en estudio con presencia de arsénico se oxidaron con peróxido de hidrógeno y radiación solar. El análisis estadístico empleado fue el diseño en bloques completos al azar, por triplicado. Se realizaron pruebas cinéticas en la zeolita con mayor porcentaje de remoción de arsénico, para evaluar la relación soluto/adsorbente. Los resultados muestran porcentajes de remoción para el arsénico del 47,56; 23,38 y 5,47 %; de acuerdo a su composición química de la zeolita proveniente de Atuncolla (83,22 % carbonato de calcio), Ocuvi (54,88 % de aluminosilicatos de calcio y sodio), y Comercial (62,87 % silicato de sodio, magnesio y alúmina hidratada), respectivamente. El modelo de Isoterma Langmuir de la Zeolita de Atuncolla tuvo un ajuste de adsorción de arsénico con un R² 0,92. Los resultados muestran que es factible la remoción de arsénico de aguas subterráneas, con zeolitas naturales como medio filtrante que son asequibles y tienen bajo costo.” (Turpo, Ccama & Quispe; 2022).

Ibáñez (2018) realiza un estudio con el propósito de “evaluar la calidad del agua de las fuentes para consumo humano y mejorar la cobertura de servicio de agua potable a través del diseño de sistema de agua potable. Para el análisis de la calidad del agua, para lo cual ha considerado cuatro muestras representativas, en cada muestra se analizó 20 parámetros, seleccionados por su importancia en el proceso de caracterización, y que estos reflejen la calidad del agua desde un punto de vista fisicoquímico y bacteriológico, según las normas vigentes establecidos por el Ministerio de Salud y la Organización Mundial de la Salud. El análisis fisicoquímico de las muestras de agua se realizó en el



Mega Laboratorio de Investigación Ambiental - Suelos y Aguas de la UNA - Puno, a través del Método 200.7: Determinación de Metales y Traza de Elementos en Agua y Residuos por Acoplamiento Inductivo Plasma - Espectrometría por Emisión Atómica. Para el análisis bacteriológico se realizó en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNA – Puno, a través de la Técnica de Fermentación Múltiple en Tubos, Número Más Probable (NMP). Los resultados obtenidos de las muestras (muestra 1, muestra 2, muestra 3 y muestra 4), para el caso del análisis fisicoquímico muestra valores que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, excepto en la muestra 2 de los parámetros (color turbio y turbiedad con 10.47 UNT) que supera los límites permisibles de aceptación. Así mismo, para el análisis bacteriológico muestra valores que no se encuentran dentro de los valores permisibles, por consiguiente, concluye que no son aptos para consumo humano. La propuesta técnica planteada es un sistema de abastecimiento de agua potable para consumo humano para 701 viviendas, con una población actual de 2,669 habitantes, población futura de 3,145 habitantes, para un periodo de diseño de 20 años, con dotación de agua de 50 l/hab/día, mediante el aprovechamiento de agua subterránea y disponibilidad hídrica de 173,440 m³/año, cuyos componentes hidráulicos proyectados son una captación (pozo tubular piezómetro de 50 m de profundidad), línea de impulsión 748.87 m, reservorio de almacenamiento de 100 m³, línea de aducción y red de distribución de 147,586.58 m. implementando un micrófilto y desinfección.”

Carcausto, C. (2017) realizo un estudio para “purificar el agua contaminada de los pozos de aguas subterráneas por el método de filtración lenta de arena para el consumo humano en la comunidad de Thunco – Puno. Para esto utilizo el método experimental el que consiste en hacer pasar el agua cruda a través de un material poroso de arena, de tal manera que se reduzcan los niveles de turbiedad y coliformes totales, después se realizó



un análisis físico químico y microbiológico de la muestra de agua cruda (sin tratamiento) y luego cuando paso por el filtro (con tratamiento). Para esto se implementó un filtro lento de arena de 6.49 litros en el lugar de la investigación de la comunidad de Thunco con arena simple y carbón activado, posterior a esto, se pasó a la etapa de maduración por 5 días el cual consiste en el desarrollo microbiológico de la capa filtrante y el asentado del material filtrante para un buena filtración, durante esta etapa se abasteció de agua al filtro, seguidamente se obtuvo la primera muestra filtrada para ser analizados en laboratorio de aguas para ver los comportamientos del filtro usado en la purificación con respecto a la turbiedad y coliformes. Finalmente concluye que el uso de filtros lentos de arena, en la Purificación el agua contaminada de los pozos de aguas subterráneas de la comunidad de Thunco – Puno, tuvo un comportamiento positivo sin sobre pasar los límites permisibles aptas para el consumo humano dados por la OMS y DIGESA, ya que las aguas subterráneas naturales no llegaban a los estándares de aptos.”

Escarcena, C. (2018) realizo un estudio para “determinar la eficacia de recuperación del arsénico de las aguas municipales y subterráneas de la ciudad de Juliaca por el método de precipitación alcalina. Para esto el método utilizado consistió en un proceso de precipitación alcalina, utilizando como coagulante el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y como floculante el hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$. La caracterización de las aguas municipales y aguas de pozo de la ciudad de Juliaca indican la presencia de arsénico con 0,053 mg/L y 0,058 mg/L respectivamente. Finalmente concluye que La caracterización de las aguas municipales y aguas de pozo de la ciudad de Juliaca indican la presencia de arsénico (As+5) con 0,053 mg/L y 0,058 mg/L respectivamente.”

Calsín, K. (2016) realizo un estudio para “determinar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en aguas de pozo del sector Taparachi III de la ciudad de



Juliaca. Para esto empleó métodos de la Norma Técnica Peruana (2012), manual de análisis de agua HACH (2000) y el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano MINAM (2012) en el laboratorio de control de calidad de la EPS. SEDAJULIACA.S.A. Los datos se procesaron utilizando el paquete estadístico SAS versión 9,2. Finalmente concluye que Los parámetros bacteriológicos, coliformes totales y coliformes fecales de aguas de pozos artesanales y tubulares exceden los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Por este motivo a pesar que los parámetros físicos y químicos no exceden en su totalidad los LMP, se demostró que bacteriológicamente si hay presencia de coliformes, por lo tanto, el agua de pozos artesanales y tubulares son considerados no aptos para el consumo humano.”

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. El agua

2.2.1.1. Conceptos generales del agua

La Autoridad Nacional del Agua (2010) en el “Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338” define el agua como “un recurso natural renovable, vulnerable, indispensable para la vida, insumo fundamental para las actividades humanas, estratégica para el desarrollo sostenible del país, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan y la seguridad de la nación” (p.02). luego añade que “es patrimonio de la nación y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada sobre el agua, sólo se otorga en uso a personas naturales o jurídicas” (p.02).

También mediante “Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú” La Autoridad Nacional del Agua (2009) aclara que “el agua es un recurso natural, imprescindible para la vida y para el desarrollo humano, así como para el mantenimiento



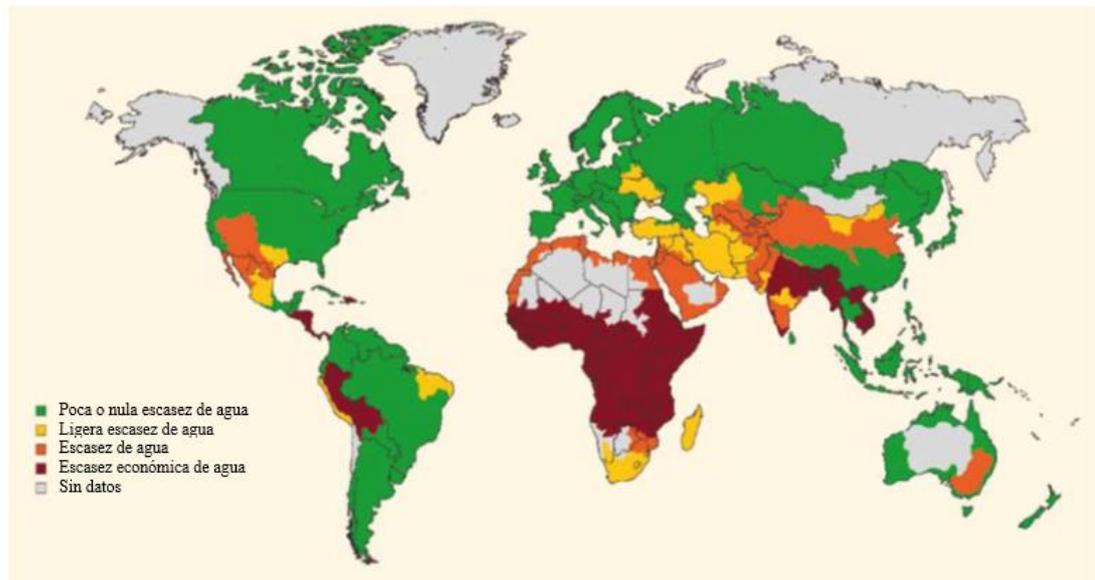
de todos los ecosistemas.” La Constitución de 1993, establece que “el agua es patrimonio de la nación; el estado promueve su uso sostenible y es soberano en su aprovechamiento. Para ello, es fundamental que todos los gobiernos al margen de las legítimas opciones políticas- compartan determinados principios básicos.” (p.01).

El agua es un recurso muy importante y escaso para la humanidad y la Dirección General de Salud Ambiental (2011) dilucida que “el agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo” (p.08). por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (2011) afirma que “el agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un abastecimiento” (p.01). además, Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2019) indica que “el agua es un recurso indispensable para el desarrollo de las diversas formas de vida, que es utilizada en las distintas actividades” (p.285).

López, Fornés, Ramos, y Villarroya (2009) señalan que “el agua, además de ser esencial para la vida y tener un valor económico o utilitario muy importante, tiene también un valor intangible que a veces es definido como simbólico, cultural, religioso o patrimonial. Esta característica del agua hace prácticamente imposible que este recurso pueda ser tratado como cualquier otro bien de consumo humano.” (p. 28)

Figura 1

Mapa de escasez de agua.



Fuente: UNESCO (2009).

“El agua es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida en la tierra, de la cual sólo un pequeño porcentaje se encuentra disponible para las actividades humanas” (Vidal, Jarpa, Plaza de los Reyes, Belmonte y Mariangel, s.f., p.31).

“El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de las diversas formas de vida, que es utilizada en las distintas actividades” (INEI, 2019, p. 285).

2.2.1.2. Composición química del agua

Arboleda (2000) nos indica que “fueron Cavendish y Lavoisier en 1780 los primeros en demostrar que el agua estaba compuesta de oxígeno e hidrógeno. Posteriormente Humboldt y Gay-Lussac, en 1805, determinaron que la relación volumétrica entre H y O' era de 2 a 1. Por último, Dumas en 1842 comprobó que la relación al peso entre estos elementos era de aproximadamente 2 a 16. Fue así como quedó establecido que la molécula de agua estaba constituida por H_2O .” (p.1).



2.2.1.3. Propiedades físicas del agua

Densidad

“Es la masa de la unidad de volumen. En el agua es máxima a 4°C y disminuye a partir de allí con la temperatura, lo que hace que la densidad del hielo sea inferior a la del agua líquida y, por tanto, flote en ella. Esta aparente anomalía se debe a la forma de la estructura molecular del agua.” (Arboleda, 2000, p. 7).

La densidad del agua puede expresarse de las siguientes maneras:

1. Masa/volumen (ρ)
2. Peso/volumen (γ) o peso específico
3. ρ / ρ_0 , ó γ/γ_0 , gravedad específica o relativa.

2.2.2. La calidad del agua

El Reglamento Nacional de Edificaciones define la calidad del agua como “características físicas, químicas y bacteriológicas que hacen aptas para el consumo humano, sin implicaciones para la salud, apariencia, gusto y color” (2015, p. 136).

Sierra (2011), indica que “la calidad del agua es un concepto relativo que depende del uso que va a tener el agua o el sistema hídrico que se quiere evaluar. Dependiendo de si el agua se va a usar para consumo humano, riego, transporte de mercancías, fomento de la vida de los peces o mantenimiento del ecosistema con todas sus características funcionales, el sistema de evaluación de la calidad será diferente” (p. 149).

“La calidad del agua para consumo humano es de suma importancia para la salud,



por lo cual la mayoría de los países tienen legislaciones internas que están relacionadas con las aguas de consumo humano. Estas normas sirven para determinar la responsabilidad de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable, su monitoreo y su control” (Mamani, 2012, p. 08).

“La Autoridad Nacional del Agua ejerce de manera exclusiva acciones de control, supervisión, fiscalización y sanción para asegurar la calidad del agua en sus fuentes naturales y en la infraestructura hidráulica pública” (ANA, 2010, p. 38).

La calidad del agua “es uno de los aspectos importantes en el aprovechamiento de los recursos hídricos, por lo que el objetivo que se persigue es, alcanzar la calidad de acuerdo a los usos y ecosistemas para atender adecuadamente a la demanda y preservar el medio ambiente. (ANA, 2009, p. 53).

DIGESA (2011, p. 12) indica que “la gestión de la calidad del agua se desarrolla principalmente por las siguientes acciones:

1. Vigilancia sanitaria del agua para consumo humano;
2. Vigilancia epidemiológica de enfermedades transmitidas por el agua para consumo humano;
3. Control y supervisión de calidad del agua para consumo humano;
4. Fiscalización sanitaria del abastecimiento del agua para consumo humano;
5. Autorización, registros y aprobaciones sanitarias de los sistemas de abastecimiento del agua para consumo humano;
6. Promoción y educación en la calidad y el uso del agua para consumo humano;



y

7. Otras que establezca la Autoridad de Salud de nivel nacional.”

Arboleda (2000) indica que “antes de establecer normas sobre la calidad del agua de consumo, deben definirse las metas y los costos.

Básicamente, el agua que se suministra debe cumplir dos condiciones:

- a. No debe ser peligrosa para la salud o la vida de los consumidores.
- b. El sistema debe poderse operar a un costo razonable.

Estas condiciones pueden ser, en ocasiones, conflictivas, pero la norma que se establezca debe tener en consideración ambos factores. Para cumplir la primera, el agua no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Esta es una condición imprescindible. Para cumplir la segunda, las características del agua deben garantizar que no produzca daños, a la red de distribución, ni a las industrias, ni a la economía privada, y que se pueda lograr esto sin tener que hacer al agua un tratamiento excepcionalmente costoso. En este punto, cada país debe llegar a establecer sus propias normas, de acuerdo con la calidad de agua cruda que suele obtener y la relación costo-beneficio que puede producir en la región, y la presencia de determinados iones (como hierro, sulfatos, carbonatos) en el agua que se distribuye.” (2000, p. XXII)

2.2.3. Ciclo hidrológico del agua

El ciclo hidrológico “es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas

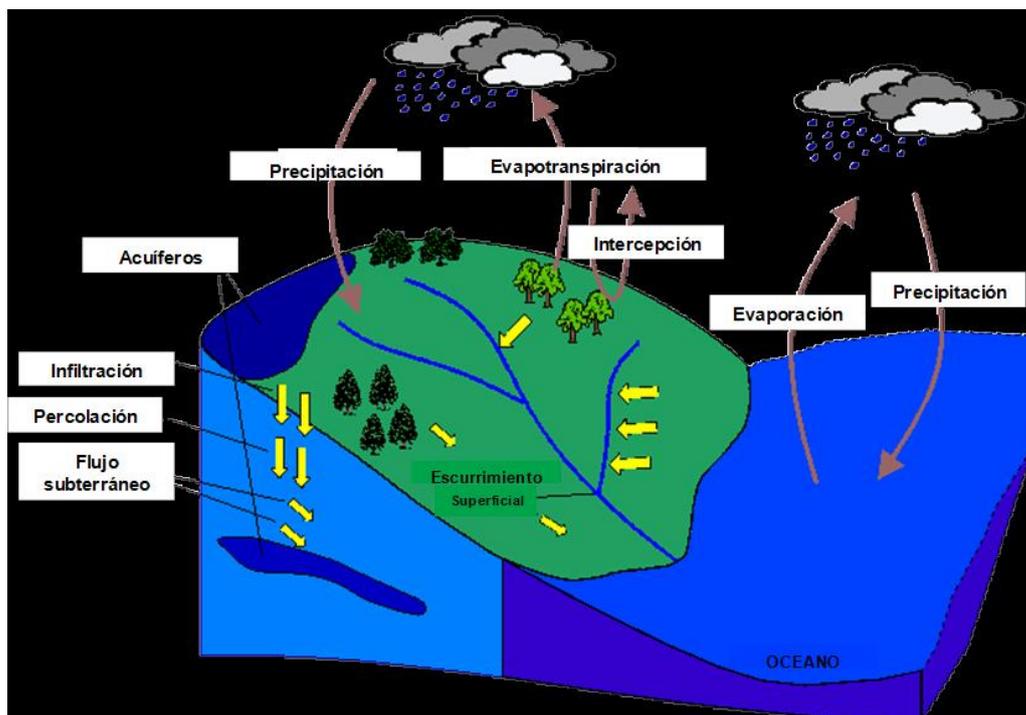
continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.” (Ordoñez, 2011, p. 8).

En otros conceptos “el ciclo hidrológico supone el constante movimiento del agua, tanto en la superficie de la Tierra, como por encima y debajo de la misma. Su correcto conocimiento es fundamental para una adecuada utilización y gestión del recurso hídrico.” (López, et al. 2009, p. 11)

“El agua subterránea tiene importancia también como componente esencial del ciclo hidrológico y como reserva fundamental” (Vélez, 1999, p. 5)

Figura 2

Representación del Ciclo Hidrológico.



Fuente: Musy, André, 2001



2.2.4. Aguas subterráneas

2.2.4.1. Conceptualización de agua subterránea

El “Reglamento Nacional de Edificaciones” define el agua subterránea como “agua localizada en el subsuelo que generalmente requiere de extracción para su excavación” (2015, p. 136).

Según el concepto amplio, generalmente utilizado en las ciencias, “el agua subterránea es toda agua debajo de la superficie de la tierra que actualmente participa en el ciclo hidrológico o que está almacenada de tal modo que puede entrar nuevamente en el ciclo” (Werner, 1996, p. 16).

“El agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de estos devuelve el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora” (Ordoñez, 2011, p. 7).

El agua subterránea es “el agua que se encuentra por debajo de la superficie del suelo en los distintos estados y relaciones de composición con la parte sólida y gaseosa” (Magne, 2008, p. 60).

La Comisión Nacional del Agua, asevera que “las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de abastecimiento en muchos países latinoamericanos. Se forman a partir del agua que precipita y percola al suelo, por acción de la gravedad hasta alcanzar un estrato impermeable y constituir un acuífero. Se caracterizan por tener un patrón de flujo relativamente estable en términos de dirección y velocidad. Esta última es del orden de 10^{-10} a 10^{-3} m/s, en función de la porosidad y permeabilidad del material geológico



(aunque en formaciones de tipo cárstico o fracturadas pueden alcanzar valores de varios metros por segundo, como consecuencia, el mezclado es pobre.” (2007, p.10)

Por lo general, “los acuíferos por estar cubiertos, presentan una buena calidad de agua, libre de sólidos suspendidos. Con excepción de las áreas donde la infiltración de aguas contaminadas ocurre muy rápidamente o en un corto trayecto, las aguas subterráneas no tienen problemas de contaminación. También, es común que estén libres de patógenos. Por ello, no requieren grandes sistemas de potabilización y la simple desinfección (cloración) es suficiente.” (Cardona, 1990)

Por otra parte, “la calidad de los acuíferos depende también de la capacidad del agua para disolver compuestos del suelo mientras fluye al infiltrarse o durante su almacenamiento (que puede ser hasta de cientos de años). Por ello, el agua subterránea contiene un mayor número de iones disueltos, entre los que se encuentran cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y manganeso) y aniones (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros). Estos componentes se reflejan en problemas para el abastecimiento como los que ocurren por las “aguas duras”, conductividad elevada y alteraciones estéticas ocasionadas por el hierro (Fe) y manganeso (Mn).” (Arizabalo, 1991)

En términos de volumen de agua potable “los acuíferos confinados son menos importantes que los no confinados. Sin embargo, dada la alta demanda de agua potable son una fuente de gran valor. Los acuíferos confinados son los más viejos (la edad se relaciona con la salinidad, exceso de hierro y manganeso, problemas de gases y ausencia de oxígeno disuelto) y se caracterizan por un menor contenido de nitratos y contaminantes orgánicos como los pesticidas.” (Gray, 1994).



2.2.5. Flujo subterráneo.

2.2.5.1. Conceptos Generales de Hidrogeología.

La hidrogeología “es la ciencia que se ocupa del estudio de las aguas subterráneas. Este estudio no puede ni debe ser de forma unilateral, analizando solamente las características físicas y químicas de estas aguas, de las rocas donde se almacenan por las cuales, a su vez transitan.” (Fernández, 2020)

Moreno et al., (2017) señalan que un acuífero “es una formación geológica, la cual almacena agua que puede ser extraída con la ayuda de pozos de bombeo. Los acuíferos son fuentes de agua “renovable”, los cuales pueden perder su carácter de renovable si son explotados de manera desmedida”. Por otro lado, Castaño (2020) añade que “es necesario conocer la capacidad de carga y de descarga de los acuíferos, con el fin de efectuar una adecuada gestión de los recursos hídricos. Además de la cuantificación, también es importante tener información de la calidad del agua, por lo que es primordial contar con información de la interacción del acuífero con posibles sustancias contaminantes para alertar y prevenir el contacto con agentes que pongan en peligro la potabilidad del acuífero, actuando de forma oportuna y eficaz o al menos reduciendo el impacto de dichos incidentes.”

2.2.5.2. Tipos de formaciones hidrogeológicas

De acuerdo a Castaño (2020) se definen “cuatro tipos de formaciones hidrogeológicas por su productividad de agua, es decir, dependiendo de la capacidad de almacenamiento y su capacidad de permitir la libre circulación del agua a través del material:

Acuífero: Se refiere a una formación geológica compuesta por materiales



permeables que permiten el almacenamiento de agua en cantidades apreciables. Además, permite al agua circular a través de ella con facilidad. Estas formaciones están compuestas principalmente por arenas y gravas. También pueden estar compuestas por arenas, grava o granito u otras rocas compactas con una fracturación.

Acuícludo: Es una formación geológica compuesta por materiales porosos, con una gran capacidad de almacenar agua que queda atrapada, pero no permiten una fácil liberación o circulación del agua por el material. Generalmente están compuestas por limos y arcillas las cuales, aunque poseen mayor capacidad de almacenamiento que la arena, no permite una libre circulación por el medio.

Acuitardo: Es una formación geológica con una cantidad de agua apreciable, pero el agua circula con dificultad a través del medio. Está compuesta generalmente por arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteraciones o fracturas moderadas.

Acuífugo: Formación geológica que no contiene agua y que no permite la libre circulación a través de ella. Compuestas principalmente por granito y rocas compactas no fracturadas.”

2.2.5.3. Tipos de acuíferos y parámetros hidrológicos

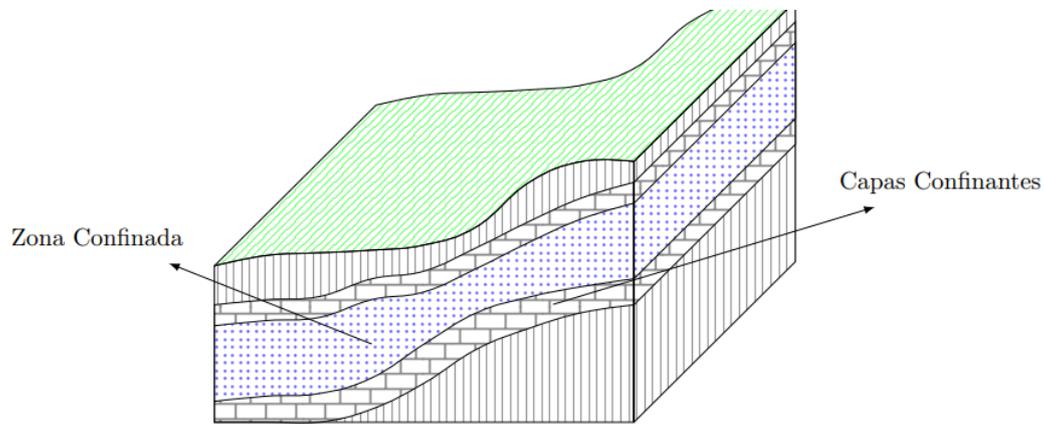
Los tipos de acuíferos y sus respectivos parámetros hidrológicos según Castaño (2020) son los siguientes:

Acuífero confinado: “Es una formación geológica cuya parte superior se encuentra delimitada por una capa impermeable o de muy baja permeabilidad por la que el flujo de agua es prácticamente inexistente. El acuífero se encuentra completamente saturado, siendo que la presión a la que está sometida el agua es superior a la atmosférica.” (figura

refacuconf).

Figura 3

Representación de un acuífero confinado.

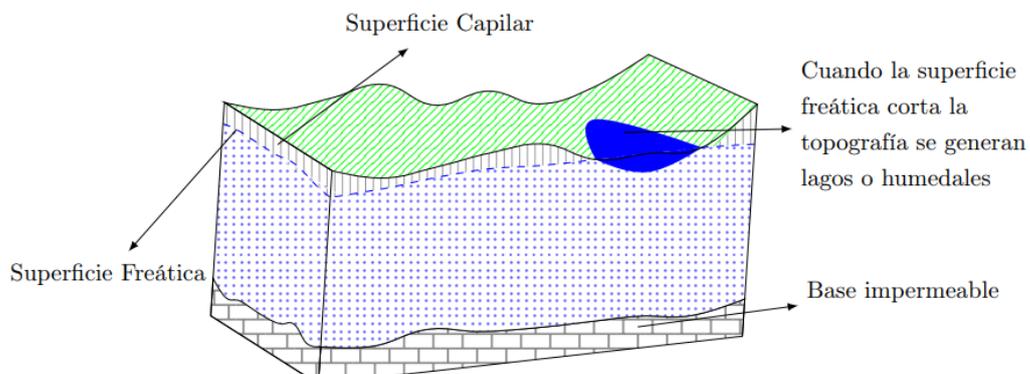


Fuente: Castaño, 2020

Acuífero libre: “Es aquel cuya parte superior no está delimitada por una capa de material impermeable o de baja permeabilidad. En este tipo de acuíferos, la parte superior de la zona saturada se encuentra a presión atmosférica. Además, en este tipo de acuíferos, los poros que están sobre la zona saturada se encuentran en su mayor parte ocupados por aire y constituyen la zona no saturada del acuífero.” (figura siguiente).

Figura 4

Representación de un acuífero libre.

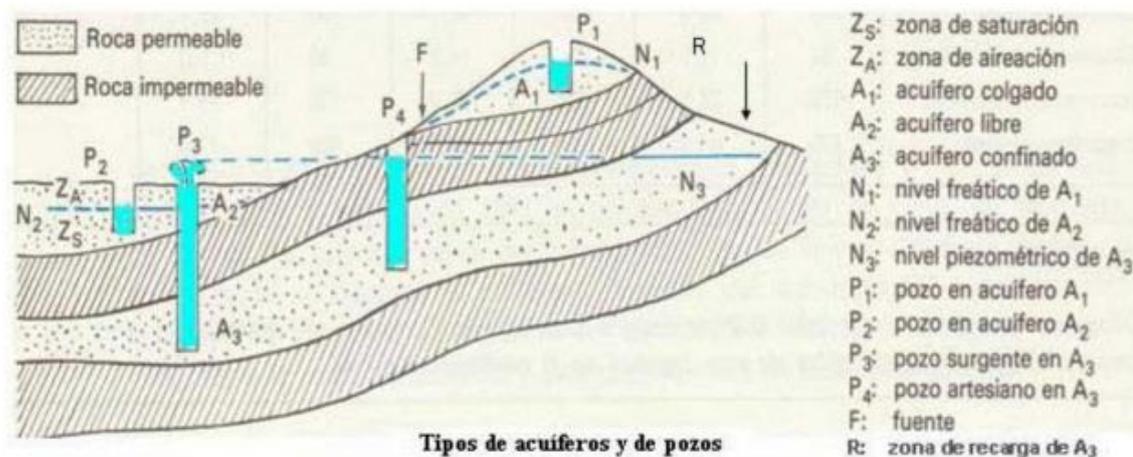


Fuente: Castaño, 2020

Acuífero semiconfinado: “Es aquel que se caracteriza porque su parte superior está compuesta por terrenos de permeabilidad reducida, pero sin llegar a ser impermeables. Es posible la recarga a través de dicho material, pero en un periodo de tiempo considerable.”

Figura 5

Tipos de acuíferos.



Fuente: (Tomada de: Funcionamiento de un acuífero | Cooperativa San Jerónimo)

2.2.6. Consumo y utilización de aguas subterráneas

Vélez (1999) indica que “el agua subterránea es utilizada para el abastecimiento de agua potable, tanto en viviendas individuales, como en aglomeraciones urbanas, en proyectos agropecuarios para riego y para uso animal; igualmente, muchas industrias consumidoras de grandes cantidades de agua hacen uso de este recurso.” (p. 3).

Ordoñez señala que “el volumen mundial de las aguas subterráneas representa el 96% del agua dulce líquida del planeta. Las aguas subterráneas proporcionan útiles funciones y servicios a los seres humanos y al medio ambiente.

- 60% del agua extraída se utiliza para la agricultura en zonas de clima árido y

semiárido

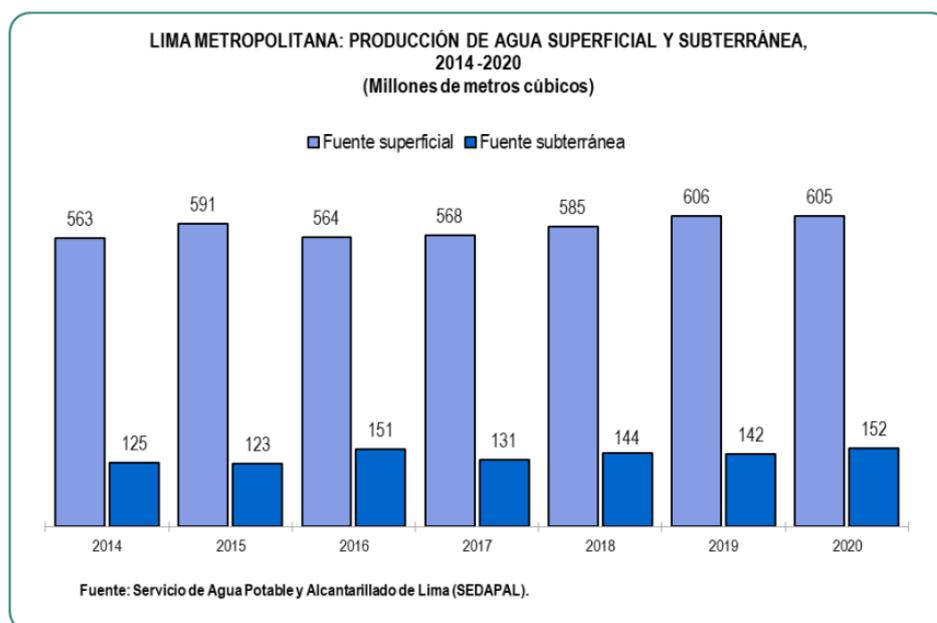
- 25-40% del agua potable del mundo proviene de las aguas subterráneas
- 50% de las megaciudades y cientos de otras ciudades importantes depender de manera significativa el uso de las aguas subterráneas

El agua subterránea es, a escala global, la fuente más importante de agua dulce para la sociedad, el AS es un recurso estratégico que puede conseguir el alivio de la pobreza y la seguridad alimentaria, en especial en las zonas áridas y semiáridas.” (2011, p. 31).

“En el año 2020, la producción de agua potable en Lima Metropolitana ascendió a 757 millones de metros cúbicos; el 79,9% provenía de fuentes superficiales y el 20,1% de fuentes subterráneas. La producción de agua aumentó en 1,2% respecto a lo producido en el año 2019 (748 millones de metros cúbicos)” (INEI, 2021, p. 285).

Figura 6

Producción de agua superficial y subterránea en Lima.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

Se aprecia en la figura anterior que la producción de agua superficial y subterránea en Lima Metropolitana que es la capital del país no ha habido un significativo crecimiento de la producción tanto en aguas subterráneas y aguas superficiales, a pesar que la población viene creciendo vertiginosamente, ello nos lleva a opinar que en ciudades tan importantes el gobierno y las autoridades locales no están actuando para cerrar brechas de agua potable.

Asimismo, en la siguiente Figura se aprecia “el volumen de agua subterránea por uso, según vertiente y administración local”, cuantificado en metros cúbicos en el que la ciudad de Juliaca consumió 1,26 hectómetros cúbicos de agua en un año el cual pone en evidencia de que la población juliaqueña consume grandes cantidades de agua subterránea.

Tabla 2

Volumen de agua subterránea por uso, según vertiente y administración local..

Vertiente / Administración Local de Agua	Total	Poblacional	Agrario	Mínero	Industrial	Acuícola	Energético	Recreativo	Turístico	Otros Usos
Atlántico	78,43	25,37	0,91	42,88	4,10	1,19	0,05	0,86	0,02	3,05
Chinchipec-Chamaya	0,12	0,06	0,03	-	0,03	-	-	-	-	0,01
Bagua-Santiago	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Chotano-Llaucano	0,42	0,01	-	0,41	-	-	-	-	-	-
Cajamarca	5,44	0,27	0,01	4,77	0,28	-	-	-	-	0,11
Crisnejas	0,43	0,05	0,01	0,37	-	-	-	-	-	-
Huamachuco	0,21	-	-	0,21	-	-	-	-	-	-
Huari	3,01	-	-	3,01	-	-	-	-	-	-
Iquitos	1,74	0,24	-	-	0,30	1,13	-	0,03	-	0,04
Alto Mayo	0,93	0,09	0,76	-	0,03	0,05	-	-	-	0,01
Tarapoto	0,39	0,13	0,02	-	0,13	-	-	-	-	0,10

Vertiente / Administración Local de Agua	Total	Poblacional	Agrario	Minero	Industrial	Acuícola	Energético	Recreativo	Turístico	Otros Usos
Huallaga Central	1,65	0,49	-	-	1,17	-	-	-	-	-
Tingo María	5,75	5,04	-	-	-	-	-	0,69	-	0,03
Alto Huallaga	0,13	0,03	-	0,03	-	-	-	-	-	0,11
Pucallpa	5,11	3,48	0,07	-	1,35	0,04	-	0,13	-	0,19
Atalaya	0,28	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-
Perené	0,12	-	0,07	-	0,08	-	-	0,07	-	-
Mantaro	28,97	11,79	-	16,77	0,39	-	-	0,07	-	0,20
Medio Apurímac- Pachachaca	1,98	0,10	-	1,95	-	-	-	-	-	-
Alto Apurímac-Velille	17,20	-	-	15,29	-	-	-	-	-	1,98
La Convención	0,30	0,25	-	-	-	-	0,13	-	-	-
Cusco	2,13	1,101	-	-	0,10	-	-	-	0,01	0,09
Tahuamanu-Madre de Dios	1,98	0,96	0,03	0,09	0,44	-	-	0,10	-	0,44
Tambopata-Inambari	0,56	0,32	-	0,20	0,02	0,01	-	-	-	0,10
Titicaca	12,12	3,99	0,12	7,82	0,19	0,15	-	0,09	-	-
Ramis	8,98	1,24	-	7,81	-	-	-	-	-	-
Huancané	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Juliaca	1,50	1,26	0,12	-	0,27	-	-	0,09	-	-
Ilave	1,62	1,47	-	-	-	0,23	-	-	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2021)

2.2.7. Contaminantes presentes en aguas subterráneas

2.2.7.1. Microorganismos Heterótrofos en aguas subterráneas.

Las bacterias heterótrofas “abundan en el agua, incluidas el agua tratada y del grifo; poseen gran capacidad de adaptación, pueden tolerar condiciones adversas de suministro de oxígeno y permanecer más tiempo que otros microorganismos en el agua.

Es un indicador de la carga total bacteriana, que favorece el recuento de bacterias viables



a 37 °C en 48 h de incubación; sus resultados se expresan en UFC de los microorganismos existentes.²⁵ Mediante este indicador se obtiene información útil que se estudia junto con el índice de coliformes, para controlar un determinado proceso o para verificar la calidad del tratamiento, desinfección o descontaminación. Se ha comprobado que el conteo total de microorganismos heterótrofos es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección.” (Robert, 2013, p.28)

2.2.7.2. Coliformes Termotolerantes o Fecales en aguas subterráneas.

“El subgrupo de las bacterias del grupo coliforme, presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Su origen es esencialmente fecal, tienen la capacidad de fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas a $(44,0 \pm 0,2)$ °C en 24 h de incubación. Incluye a *Escherichia* y en menor grado las especies de los géneros de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*; estas últimas tienen una importante función secundaria como indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales. Indican la calidad del agua tratada y la posible presencia de contaminación fecal.” (Robert, 2013, p.27)

2.2.7.3. Coliformes Totales en aguas subterráneas.

“Pertenece a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulados, fermentadores de lactosa a 35 °C con producción de gas y ácido láctico de 24 a 48 h de incubación y pueden presentar actividad de la enzima β -galactosidasa. Constituyen aproximadamente el 10 % de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales.^{18,21,22} Se encuentran en grandes cantidades en el ambiente (fuentes de agua, vegetación y suelos), no están asociados necesariamente con la contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente



un riesgo evidente para la salud. Son considerados indicadores de degradación de los cuerpos de agua. En aguas tratadas estas bacterias funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen, indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes.” (Robert, 2013, p.27)

Escherichia Coli en aguas subterráneas.

“Es una bacteria estrictamente intestinal, indicadora específica de contaminación fecal, se caracteriza por la producción de indol a partir de triptófano, oxidasa negativa, no hidroliza la urea y presenta actividad de las enzimas β -galactosidasa y β -glucuronidasa. Estudios efectuados han demostrado que está presente en las heces de humanos y animales de sangre caliente en concentraciones entre 10⁸ y 10⁹ Unidades formadoras de colonias (UFC)/g de heces. E. coli es considerada un habitante normal de la microbiota intestinal de los seres humanos, sin embargo, puede estar asociadas a diversas condiciones patológicas. Las diferentes cepas patógenas de E. coli muestran especificidad de huésped y poseen atributos de virulencia distintos. Cuando ocurren aumentos repentinos de la concentración de patógenos, aumenta de forma considerable el riesgo o se desencadenan brotes de enfermedades.” (Robert, 2013, p.27).

2.2.7.4. OVL - Protozoarios en aguas subterráneas.

Frecuentemente en “el agua contaminada con heces se encuentran dos protozoarios parásitos con incidencia en salud humana, responsables de epidemias:

- Giardia lamblia: es flagelado con un tamaño de 15 μ m y se transmite al hombre a través de agua contaminada con materia fecal. Las células del protozoario producen un estado de reposo denominado quiste. Los quistes al ser ingeridos germinan y causan giardiasis, enfermedad caracterizada por diarreas, calambres intestinales, flatulencia,



nauseas, síntomas que pueden ser agudos o crónicos. La giardiasis es una de las enfermedades parasitarias de origen hídrico más comunes.

- *Cryptosporidium parvum*: es un parásito del hombre y animales de tamaño muy pequeño (2-5 μ m), redondeado que crece en el interior de las células del epitelio mucoso de intestino y estómago. Los quistes infecciosos producidos por este protozoo poseen una pared muy gruesa. Los quistes de *Cryptosporidium* son mucho más resistentes a la cloración que los de *Giardia*. La criptosporidiosis es una infección que se caracteriza por dolores estomacales, náuseas, diarrea y deshidratación.” (Apella MC, Araújo PZ., 2005, p.46)

2.2.7.5. Arsénico en aguas subterráneas.

“El arsénico está presente en el agua por la disolución natural de minerales de depósitos geológicos, la descarga de los efluentes industriales y la sedimentación atmosférica. En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es la pentavalente o arsenato (As+5). Bajo condiciones de reducción, generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, predomina el arsénico trivalente o arsenito, (As+3).” (USEPA et al., 2010 como se citó en Alarcón, Leal, et al., 2013).

“Las aguas subterráneas no están libres de ser contaminadas con arsénico; en algunas zonas, las concentraciones son elevadas debido a la erosión” (SUNASS, 2004, p. 50).

Chavez y Miglio (2011) aseguran que “la presencia de arsénico en aguas para consumo humano constituye una amenaza para la salud pública; el valor máximo admisible recomendado por la Organización Mundial de la Salud es de 0,01 mg As/L. El consumo frecuente de agua contaminada con arsénico podría producir cáncer a la vejiga,



pulmón, piel, riñón, hígado y próstata. También indican que, en América Latina, por lo menos cuatro millones de personas en Argentina, Chile, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud, como la enfermedad del HACRE (hidroarsenicismo crónico regional endémico, en países latinoamericanos).” (p. 307).

“La mayor parte de los acuíferos con contenidos altos de arsénico tienen un origen ligado a procesos geoquímicos naturales. Uno de las peculiaridades más notables del problema del arsénico de origen natural en las aguas subterráneas, es que no siempre hay una relación directa entre el alto contenido en arsénico en el agua y un alto contenido en arsénico en los materiales que constituyen el acuífero. No se conoce un modelo geológico/hidrogeológico común para todas las ocurrencias identificadas, encontrándose aguas con arsénico en situaciones muy variadas, tanto en condiciones reductoras como en condiciones oxidantes, o en acuíferos sobreexplotados, tanto en zonas áridas como en zonas húmedas, o tanto en acuíferos superficiales libres como en acuíferos profundos confinados. Esta variedad de situaciones viene definida por la peculiaridad de las circunstancias y procesos que concurren en cada uno de los casos, en otras palabras, la presencia de arsénico en cada caso es la consecuencia de un ambiente geoquímico y condiciones hidrogeológicas específicas.” (Alarcón, Leal, et al., 2013, p. 11).

“Las concentraciones elevadas de As de origen natural afectan a grandes áreas en diferentes regiones del planeta. Además del problema de arsénico en agua potable, el agua subterránea con elevados niveles de arsénico está siendo utilizada para regar diferentes cultivos en todo el mundo. Esta práctica ha traído como resultado la acumulación de arsénico en los suelos y aumentado la transferencia de este a la cadena alimenticia.” (Meharg A. A. et al., 1994 como se citó en Alarcón, Leal, et al., 2013).



“El arsénico en agua presenta diferentes especies que dependen de las propiedades químicas del medio, pudiendo existir con números de oxidación de -3, 0, +3, y 5+” (Smedley et al, 2002). “En agua a pH’s naturales se encuentra generalmente en forma inorgánica como arsenito (As^{3+}) y/o arsenato (As^{5+}). El As^{3+} es un ácido fuerte, forma complejos preferentemente con óxidos y con el nitrógeno y es 25 a 60 veces más tóxico que el arsenato. Por el contrario, el As^{5+} se comporta como un ácido débil, formando complejos con sulfuros” (Bodek et al, 1998).

“Las especies de arsenato son AsO_4^{3-} , HAsO_4^{2-} , H_2AsO_4^- mientras que las especies de arsenito incluyen $\text{As}(\text{OH})_3$, $\text{As}(\text{OH})_4^-$, $\text{AsO}_2(\text{OH})^-$ y AsO_3^{3-} . Las primeras predominan y son estables en ambientes aerobios ricos en oxígeno, mientras que las segundas predominan en ambientes moderadamente reductores anaerobios tales como las aguas subterráneas.” (Greenwod & Earnshaw, 1984).

El arsénico encontrado en la naturaleza generalmente es gobernado por diversas reacciones químicas; pero, el campo energético Redox (Eh) y el potencial de hidrogeno influyen en el estado en la que se puede encontrar el arsénico. H_2AsO_4^- prevalece el potencial de hidrogeno con tendencia a ácidos (generalmente menores 6.9) en condicione de oxidante.

Garcia (2010). Afirma que “los métodos de tratamiento para remoción del arsénico fisicoquímicos son los más empleados principalmente por su menor costo y la relativa facilidad de adaptación y operación del proceso.” Algunas de las ventajas de los principales y tradicionales sistemas de remoción se muestran en la siguiente Tabla.



Tabla 3

Principales tratamientos fisicoquímicos de remoción de arsénico

MECANISMO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Oxidación Precipitación		
Oxidación con aire	Proceso relativamente simple, de bajo costo, de aplicación in situ, provoca la oxidación de As ³⁺ a As ⁵⁺ .	Remueve principalmente As ⁵⁺ y el proceso es relativamente lento. Se requiere de una eficiente aeración y de una etapa posterior de tratamiento mediante coagulantes o absorbentes para precipitar y remover al arsénico.
Oxidación química	Provoca la oxidación de otros contaminantes presentes y la destrucción de microorganismos; proceso relativamente simple y rápido con una mínima formación de lodos.	Se requiere de un estricto control del pH y de una adecuada mezcla y tiempo de contacto del oxidante con el agua a tratar.
Coagulación Precipitación		
Coagulación con alúmina	Efectivo en un intervalo de pH de 6.5-8.0 y el proceso es sencillo y relativamente barato.	Produce alto volumen de lodos de baja calidad, una etapa de pre-oxidación puede ser requerida, y una etapa posterior de sedimentación y filtración así como el ajuste de pH inicial del agua tratada. Se presume que su presencia



MECANISMO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
		en agua genera efectos tóxicos en la salud.
Coagulación con hierro	Más eficiente que la alúmina (base seca) y en un mayor intervalo de pH (4– 0), proceso sencillo y generalmente los reactivos comerciales disponibles son más baratos que los respectivos a base de aluminio.	Baja remoción de As +3, se requiere de una etapa de pre-oxidación seguida de sedimentación y filtración, así como ajuste del pH inicial.
Coprecipitación /Ablandamiento	Alta disponibilidad de reactivos	Es necesario el ajuste del pH final además de que el proceso genera gran volumen de lodos.

Fuente: Garcia,J. 2010, p. 12

2.2.7.6. Cloro Libre en aguas subterráneas.

En el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” (2011, p. 10) se señala al cloro libre como las “cantidad de cloro presente en el agua en forma de ácido hipocloroso e hipoclorito que debe quedar en el agua de consumo humano para proteger de posible contaminación microbiológica, posterior a la cloración como parte del tratamiento”.



2.2.8. Saneamiento básico

“Históricamente, en el Perú, se ha entendido por saneamiento básico, a la prestación de los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento, habiéndose definido una división según la atención estuviera dirigida a poblaciones rurales o urbanas” (Oblitas, 2010).

2.2.8.1. Potabilización del agua subterráneas

2.2.8.1.1. Conceptos de potabilización del agua

El agua potable en el RNE es definida como “agua apta para el consumo humano” (2015, p. 136). También se considera como agua potable “al agua incolora, insípida e inodora, que contiene oxígeno y sale disuelta en una concentración adecuada; y está libre de gérmenes patógenos y sustancias tóxicas que ponen en peligro la salud” (Magne, 2008, p. 245).

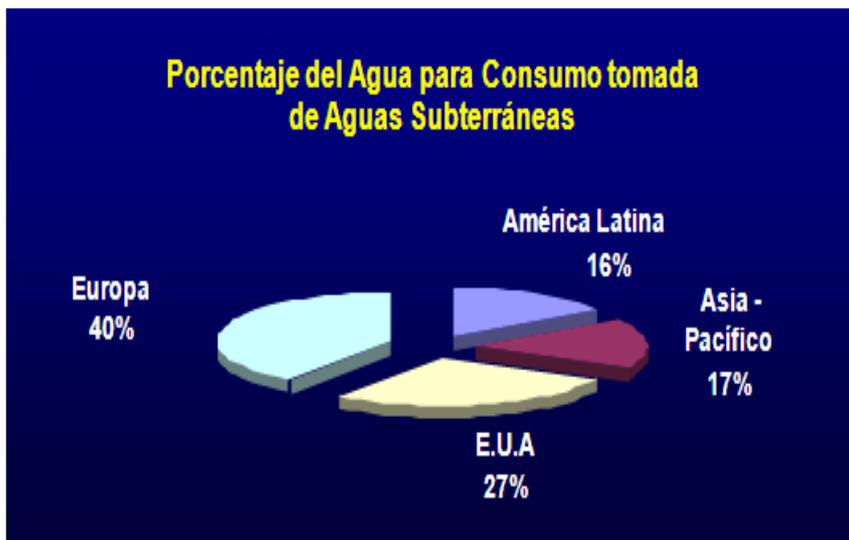
La SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento) indica que “en el Perú, el servicio de agua potable es brindado a la población por las EPS, que tienen la obligación de ofrecer un producto satisfactorio y realizar, por tanto, el control de calidad del agua potable que distribuyen. Así, el agua potable debe cumplir con una serie de requisitos bacteriológicos, físicos y químicos fijados por una norma nacional en virtud de la cual la EPS tiene la responsabilidad de suministrar agua potable cuya calidad sea rigurosamente controlada.” (2004, p. 50).

Según Casero (2008) el agua potable “es el agua, ya sea de superficie o subterránea, tratada y el agua no tratada por no estar contaminada. La definición de agua potable se ha ido adaptando al avance del conocimiento científico y a las nuevas técnicas, en especial a las relacionadas con el análisis de contaminantes.” (p. 07)

“El suministro de agua potable para Europa consta de aguas subterráneas en un 40%; los Estados Unidos de América dependen de las aguas subterráneas para abastecer el 27% de su suministro de agua potable, y la región Asia-Pacífico y Latinoamérica para el 17% y el 16% de su suministro, respectivamente.” (O’hogain, s.f, p. 72).

Figura 7

Porcentaje de agua potable tomada de aguas subterráneas.

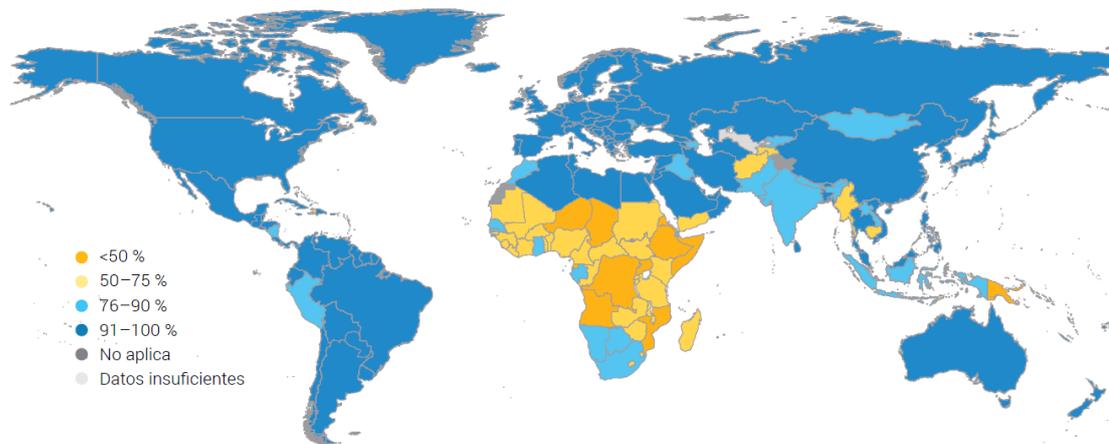


Fuente: Clarke and King, 2004

En la figura anterior se aprecia el porcentaje del agua para consumo tomada de aguas subterráneas, en donde el mayor consumo de agua subterránea es justamente en el continente europeo, quienes actualmente son considerados países de primer mundo, por tener cerrado las brechas de los servicios básicos de saneamiento y salud pública.

Figura 8

Proporción de la población que utiliza al menos servicios básicos de agua potable, 2015.



Fuente: UNESCO 2019

De acuerdo a la publicación de la UNESCO 2019, como muestra en la anterior figura la “proporción de la población que utiliza al menos servicios básicos de agua potable en el Perú muestra que tiene del rango de 76% a 90 % de su población con agua potable, por muy debajo de la estadística de otros países de la región.”

Asimismo, la producción de agua potable, según tamaño de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento en Perú en el periodo 2021-2020 (miles de metros cúbicos) nos llama la atención el de la ciudad de Juliaca en el que existe un crecimiento acelerado de la población en zonas periféricas, sin embargo, la producción de agua no ha crecido tanto como la población por lo que se evidencia que existe déficit de agua potable para la población, por lo que los nuevos pobladores optan por abastecerse de las aguas subterráneas.

Tabla 4

Producción de agua potable, según tamaño de la empresa prestadora de servicios de saneamiento en Perú.

Empresa	Departamento	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 P/
Empresa (Más de 1 millón de conexiones potables administradas)								
SEDAPAL S.A.	Lima y Callao	219	227	246	215	234	236	239
EPS Grandes (Más de 40 mil hasta 1 millón conexiones de agua potable administradas)								
EMAPA SAN MARTÍN S.A.	San Martín	218	228	248	257	233	228	243
EMAPICA S.A.	Ica	308	341	314	295	316	295	313
EMSAPUNO S.A.	Puno	157	186	193	184	196	211	190
AGUA TUMBES	Tumbes	320	350	341	315	323	413	352
EPS GRAU S.A.	Piura	235	264	254	233	281	278	292
SEDACUSCO S.A.	Cusco	150	149	158	166	162	163	162
EPS								
SEDALORETO S.A.	Loreto	226	265	281	281	276	289	334
EPS TACNA S.A.	Tacna	206	247	260	280	283	262	256
SEDA AYACUCHO S.A.	Ayacucho	216	230	237	219	243	241	237
EPSEL S.A.	Lambayeque	182	201	204	206	230	232	231
SEDACHIMBOTE S.A.	Áncash	211	234	227	221	230	219	251
SEDA HUÁNUCO S.A.	Huánuco	225	236	234	236	242	277	262
SEDAJULIACA S.A.	Puno	137	156	160	162	182	181	180
SEDACAJ S.A.	Cajamarca	155	168	168	163	172	178	174
SEDALIB S.A.	La Libertad	181	197	199	189	185	189	192
SEDAM HUANCAYO S.A.	Junín	287	272	281	291	283	261	264
SEDAPAR S.A.	Arequipa	188	224	233	230	223	235	239
EPS SEMAPACH S.A.	Ica	273	306	257	326	336	262	258

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2021)



2.2.8.1.2. Normas sobre la potabilidad del agua

A) Normas bacteriológicas

“Desde el punto de vista bacteriológico, se ha establecido que no debe mostrar la presencia de *Echerichia coli*. Esta regla no tiene en cuenta los virus entéricos ni los protozoarios que pueden existir en el agua y que son potencialmente peligrosos para la salud humana.” (Quispe, 2019)

“La dificultad que entraña el aislarlos y detectarlos hace que, hasta ahora, en el control rutinario de las plantas de tratamiento, no se hagan pruebas para constatar su presencia, aunque se están dando pasos significativos en ese sentido.” (Quispe, 2019)

Las “normas internacionales” para agua potable de la OMS (1974) “establecen una diferencia entre la calidad del agua que se suministra por medio de una red de distribución a la comunidad y la que no se suministra en esta forma, partiendo del principio de que a esta última le resulta impracticable mantener los mismos patrones de calidad que a la primera.”

Tiene que verificarse el estado de la calidad del agua en el punto de emisión de la planta de potabilizadora, pues esta calidad no es necesariamente coincide con la red de distribución por que después del punto de emisión puede sufrir alguna contaminación uq afecte a la calidad de dotación del agua.

Por eso, las normas internacionales para agua potable de la OMS (1974) recomiendan:

1. “Mantener una presión suficientemente alta en toda la red, como para evitar la succión de líquidos contaminantes”.



2. “Disponer de equipos de cloración de emergencia.”

“Para el agua que entra a la red de distribución y ha sido desinfectada, establecen que no debe mostrar la presencia de gérmenes coliformes en ninguna de las muestras de 100 ml. Las pruebas presuntivas deben ser debidamente confirmadas.” (Quispe, 2019)

OMS (1974) indica “para el agua que entra a la red de distribución, pero que no ha sido desinfectada, establecen que ninguna muestra puede considerarse satisfactoria si tiene E. coli por 1 00 ml. Si E. coli está ausente, la presencia de 3 gérmenes coliformes por 1 00 ml puede tolerarse en muestras ocasionales, siempre y cuando exista una vigilancia regular y frecuente, y el abastecimiento y el almacenaje sean satisfactorios desde el punto de vista sanitario.”

Para el agua que circula en la red de distribución, las normas establecidas por la OMS admiten que “puede haber contaminaciones que desmejoren la calidad, en vista de lo cual recomiendan que:

1. En el curso del año, 95% de las muestras no deben contener ningún germen coliforme en 100 ml.
2. Ninguna muestra ha de contener E. coli en 100 ml.
3. Ninguna muestra ha de contener más de 10 gérmenes coliformes por 100 ml.
4. En ningún caso han de hallarse gérmenes coliformes en 100 ml de dos muestras consecutivas.

En abastecimientos individuales o para pequeñas comunidades, el recuento de coliformes debe ser menor de 10 por 100ml. El no poder lograr esto, y particularmente la

presencia repetida de E. coli, debe conducir a abandonar el abastecimiento como regla general.”

Las “normas de 1998 de la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA) de los Estados Unidos” no diferencian “entre agua en la planta y agua en la red. Según ella, toda agua para el consumo debe tener menos de 1 coli/100 ml.”

La norma sobre la potabilidad del agua de la Unión Europea no consiente coliformes fecales.

Tabla 5

Límite máximo permisible de microorganismos en el agua.

Entidad	Organismo	Unidad	Valor	Observaciones
OMS				
Agua tratada entrando al sistema de distribución	Coliformes Fecales	Número/100 ml	0	En el 90% de las muestras analizadas en grandes sistemas. Para el agua no sometida a tratamiento se acepta hasta 3 coliformes /100 ml y para agua no distribuida por tuberías hasta 10 coliformes /100 ml
	Coliformes Totales	Número/100 ml	0	
Agua en el sistema de distribución	Coliformes Fecales	Número/100 ml	0	
	Coliformes Totales	Número/100 ml	0	
	Coliformes Totales	Número/100 ml	3	Ocasionalmente en alguna muestra, pero no en muestras consecutivas
EE.UU.	Coliformes Fecales	Número/100 ml		
	Giardia			Reducción de 3logs (99.9%)
	Virus			Reducción mínima 4 logs (99.9%)
Comunidad Económica Europea	Coliformes Fecales	Número/100 ml	0	

Fuente: OMS, 1985

B) Normas Fisicoquímicos

Las composiciones que la calidad del agua potable que no deben ser permisibles se pueden catalogar en dos grupos:

1. “Sustancias tóxicas.”
2. “Sustancias que pueden producir determinadas enfermedades.”

En la siguiente tabla se describe el nombre y comparativo respectivo de cada sustancia y los límites máximos permisibles para la potabilidad del agua, de manera restrictiva dada en las normas de OMS (1985), de la EPA de EE.UU. (1998) y en la “Comunidad Económica Europea”.

Valores fisicoquímicos de la calidad de agua para consumos humano la OMS, CEE de Unión Europea y los (EPA) de los EE.UU.

Tabla 6

Límite máximo permisible de parámetros físico-químicos en el agua.

Parámetros	OMS 1985 Valor Guía	CEE Nivel Guía	EE.UU. 1998	Produce
Turbiedad	< 1.0 Unt. por todo el	0-1 Unt.	0.5 Unt. 95% del tiempo para agua filtrada. Filtro lento 1- 5 Unt. 95% del tiempo	Interfiere con la desinsectación
Color Verdadero UC	15	1	5 UC	Con el cloro crea Trihalometanos
Olor	0	0	Inofensivo	Molesta al consumidor
Sabor	0	0	Inofensivo	Molesta al consumidor
Aluminio MG/L	0.2	0.05	0.1	Interfiere la diálisis de pacientes de riñón



Parámetros	OMS 1985 Valor Guía	CEE Nivel Guía	EE.UU. 1998	Produce
Antimonio MG/L	0	0	0.006	Altera colesterol y nivel de glucosa
Asbesto MG/L	0	0	7.0 millones de fibras/L	Tumores benignos
Arsénico	0.05	0.05	0.05	Cáncer en la piel y afecta los nervios
Bario MG/L	0	0.1	2	Afecta el sistema circulatorio
Cadmio	0.005	0.005	0.005	Se concentra en el hígado, riñones y páncreas
Berilio MG/L	0	0	0.004	Riesgo cáncer huesos y pulmones
Cromo MG/L	0.05	0.005	0.1	Efectos en el hígado y los riñones
Cloruro MG/L	250	200	0	Afecta la digestión y produce mal sabor
Cianuro	0.1	0.05	0.2	Efectos en el bazo, hígado y los riñones
Fluoruros MG/L	1.5	1.5-0.70	4	Daño de los Dientes y los huesos
Fenol MG/L	0.001	0	0	Interfiere cloración
Mercurio MG/L	0.001	0.001	0.002	Daña sistema nervioso
Hierro MG/L	0.3	0.05	0	Agua Roja
Magnesio MG/L	0	30	0	Puede contribuir a enfermedades cardiacas
Manganeso MG/L	0.1	0.02	0	Puede contribuir a enfermedades cardiacas



Parámetros	OMS 1985 Valor Guía	CEE Nivel Guía	EE.UU. 1998	Produce
Niquel MG/L	0	0.05	0.1	Sensibiliza piel y sistema nervioso
Nitratos como N	0	2.5	10	Disminuye la oxigenación de la sangre en niños (metemoglobine mia)
Nitritos como N	0	0	1	
Total, Nitritos Nitratos MG/L	10	0	10	
Selenio MG/L	0.01	0	0.05	Ataca sistema nervioso
Sulfatos MG/L	400	25	500	Daños estomacales
Talio MG/L	0	0	0.002	Altera hígado, riñones, intestinos y cerebro
Plomo MG/L	0.05	0.05	0.015	Daña sistema nervioso y riñones
Cobre MG/L	1	0.1	1.5	Toxico para niños
Sodio MG/L	200	20	0	Afecta la presión sanguínea
Zinc	5	0.1		
Alaclor MG/L	0.003	0.001	0.002	Riesgo de cáncer
Atracine MG/L	0	0.001	0.003	Ataca sistema reproductivo y cardiovascular
Clordano MG/L	0.003	0.001	0.002	Riesgo de cáncer
Carbofuran MG/L	0	0.001	0.04	Ataca sistema reproductivo y nervioso
Delapon MG/L	0	0.001	0.2	Afecta hígado y riñones
Dinoseb MG/L	0	0.001	0.007	Afecta tiroides y reproducción
PDT MG/L	0.001	0.001		Afecta sistema nervioso
Dieldrin-Aldrin MG/L	0.0003	0.001		Afecta hígado e intestinos
Diquat MG/L	0	0.001	0.02	Afecta hígado y nervios



Parámetros	OMS 1985 Valor Guía	CEE Nivel Guía	EE.UU. 1998	Produce
Endrin MG/L	0.01		0.002	Afecta sistema nervioso
Epíclorohidrin MG/L			0.002	Afecta hígado, intestino, riñones y reproducción
Glifosfato MG/L		0.001	0.7	Afecta hígado y riñones
Heptacloro MG/L	0.0001	0.001	0.0004	Riesgo de cáncer
Lindano MG/L	0.003	0.001	0.0002	Afecta hígado, riñones y nervios
Pentaclorofenol MG/L	0.01	0.001	0.001	Riesgo de cáncer
Picloram MG/L		0.001	0.5	Afecta hígado y riñones
Simazine MG/L		0.001	0.004	Riesgo de cáncer
Toxafene MG/L		0.001	0.003	Riesgo de cáncer
Benceno MG/L	0.01		0.005	Riesgo de cáncer
Hexaclorobenceno MG/L	0.0001			Riesgo de cáncer
Tetracloruro de carbono MG/L	0.003		0.005	Riesgo de cáncer
Para-Dicloro-Benceno MG/L			0.075	Riesgo de cáncer
Orto-Dicloro-benceno MG/L			0.6	Afecta hígado y riñones
1.2-Dicloro etano MG/L	0.001		0.005	Riesgo de cáncer
1.1-Dicloro etileno MG/L			0.007	Afecta hígado y riñones
Cis-1.2Dicloro etileno MG/L			0.07	Afecta hígado y sistema nervioso
Trans-1.2Dicloro etileno MG/L			0.1	Afecta hígado y sistema nervioso
Dicloro metano MG/L			0.005	Riesgo de cáncer
1.2-Dicloro propano MG/L			0.005	Riesgo de cáncer



Parámetros	OMS 1985 Valor Guía	CEE Nivel Guía	EE.UU. 1998	Produce
Etilbenzeno MG/L			0.7	Afecta hígado y riñones
Monocloro benzeno MG/L			0.1	Afecta hígado y riñones
Estirene MG/L			0.1	Afecta hígado y sistema nervioso
Tetracloro etileno MG/L			0.005	Riesgo de cáncer
Tolveno MG/L			1	Afecta riñones y sistema nervioso
1.2.4-Tricloro benzeno MG/L			0.07	Afecta hígado y riñones
1.1 Tricloro etano MG/L			0.02	Afecta hígado y riñones
Tricloro etileno MG/L			0.005	Riesgo de cáncer
Tricloro de vinilo MG/L			0.002	Riesgo de cáncer
Cloroformo MG/L	0.03			Riesgo de cáncer
Trihalometanos MG/L	0.025-0.25	0.001	0.08	Riesgo de cáncer
Resid. Sodios Filtr. MG/l	1000		500	Indicio de mala Purificación
Partículas Alfa Picuries/L			15	Peligro de cáncer
Partículas 226+228 Picuries/L			20	Peligro de cáncer
Partículas Beta Milirren/Año			4	Peligro de cáncer
Radon Picuries/L			300	Peligro de cáncer

Fuente; Arboleda Valencia Jorge, 2000.

2.2.8.2. Eliminación de fuentes contaminantes

2.2.8.2.1. Tanques Sépticos

De acuerdo con el “RNE Norma Técnica I.S. 020 Tanques Septicos” la percolación se define como “el flujo o goteo del líquido que desciende a través del medio

filtrante. El líquido puede o no llenar los poros del medio filtrante.”

“Aunque el fenómeno de permeabilidad se encuentra ampliamente estudiado dentro de un marco conceptual, como se observa en el estado del arte actual, debido a que las mediciones de la conductividad hidráulica se encuentran plenamente establecidas para la mayoría de materiales porosos. Existen ciertos vacíos de conocimiento que deben ser cubiertos. Entre ellos la estimación del coeficiente de permeabilidad para diferentes trayectorias o caminos preferenciales que el fluido (agua), lo cual ha sido evidenciado teóricamente, pero aun escasean estudios empíricos que demuestren estas distinciones. Por tal razón hoy día las investigaciones basadas en estimar la permeabilidad de un suelo, están encaminadas a la aplicación de teorías modernas, para resolver estocásticamente o numéricamente como permea al agua a través de una estructura porosa o en la investigación de nuevos materiales” (Aldana, López & García, 2019)

El test de percolación “tiene como finalidad determinar la velocidad de infiltración de agua en el suelo, para obtener datos específicos dentro del diseño hidrológico de los proyectos. Se realiza el ensayo de percolación, para obtener datos referentes al tipo de suelo en el que se encuentra el proyecto y saber si es apto para realizar la zanja de absorción.” (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2018)

Tabla 7

Sistema de infiltración por clase de terreno y tiempo de infiltración.

Clase de terreno	Tiempo de infiltración para el descenso de 1cm.
Rápidos	de 0 a 4 minutos
Medios	de 4 a 8 minutos
Lentos	de 8 a 12 minutos

Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2018)



Se sabe que “Terzaghi, fue el primero en proponer el uso de filtros, quien desarrolló reglas empíricas para la distribución del tamaño de las partículas de un filtro. Luego, fue reconocido como el inventor de un filtro de tal característica, que permitirá la salida libre del agua subterránea, pero evitará el paso de partes del suelo, y por lo que el filtro será cargado de tal manera que el agua fluya por las capas ubicadas debajo el filtro y a través del mismo, sin ser conducido hacia arriba.” (Fannin, 2008).

Criterios básicos por establecidos por Terzaghi a)

Criterio de permeabilidad: “El material fino que se colocará en el suelo natural debe tener un tamaño considerablemente grande para que con ello permita su permeabilidad y así se produzca una rápida evacuación del flujo, y así hacer desaparecer el exceso de presión de poros”. (Auvinet, 2014).

$$D_{15F} \geq 4d_{15S} \quad (16)$$

Donde:

D_{15F} = “diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro.”

d_{15S} = “diámetro por el que pasa el 15% del material del suelo base.”

b) Criterio de retención: “El material filtro que se colocará en el suelo, debe contar con un tamaño pequeño para que pueda cumplir con la retención del suelo base que se pretende proteger.” (Auvinet, 2014).

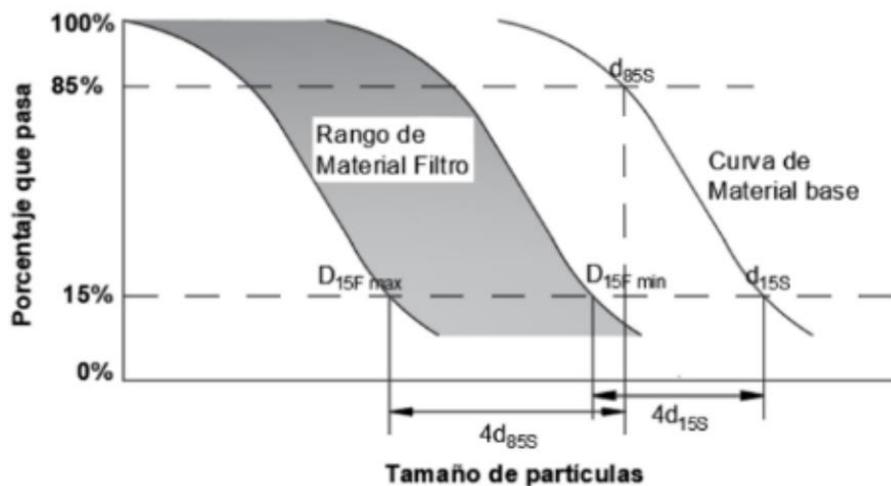
$$D_{15F} \leq 4d_{85S} \quad (17)$$

Donde: “ D_{15F} = diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro. d_{85S} = diámetro por el que pasa el 85% del material del suelo base. Las curvas que definen este

rango deben trazarse geoméricamente similares a la curva del material base, además, el rango queda limitado por el diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro, donde el valor máximo queda definido por el criterio de retención, y el valor mínimo se define por el criterio de permeabilidad.”

Figura 9

Rango según Terzaghi para determinar la distribución de un filtro.



Fuente: Fannin (2008).

ICOLD (1994) Muestra la “metodología para analizar la protección del suelo y recomendaciones que complacen los criterios de permeabilidad y retención nombradas por Terzaghi. Las recomendaciones que muestran hacen relación a la evaluación de la capacidad de descarga de filtros, la que tiene que encargarse de filtrar el líquido en una zona permeable sea lateral u horizontalmente dependiendo de los estratos que presente el suelo, todo ello sin generar exceso de presión.” Además “La ley de Darcy, es uno de los métodos más usados para el análisis de flujo, donde sugiere utilizar cualquier combinación práctica entre K_f y A , con tal que cumpla con el factor de seguridad y descarga. Se recomienda usar las capas más delgadas de materiales permeables, dado que son más económicas a comparación con los materiales menos permeables y de capa



gruesa.” (Auvinet, 2014).

$$Q/i = kF \cdot A \quad (18)$$

Donde:

Q = “Tasa de flujo en el filtro.”

i = “Gradiente hidráulico admisible en el filtro.”

kF = “Conductividad hidráulica del filtro.”

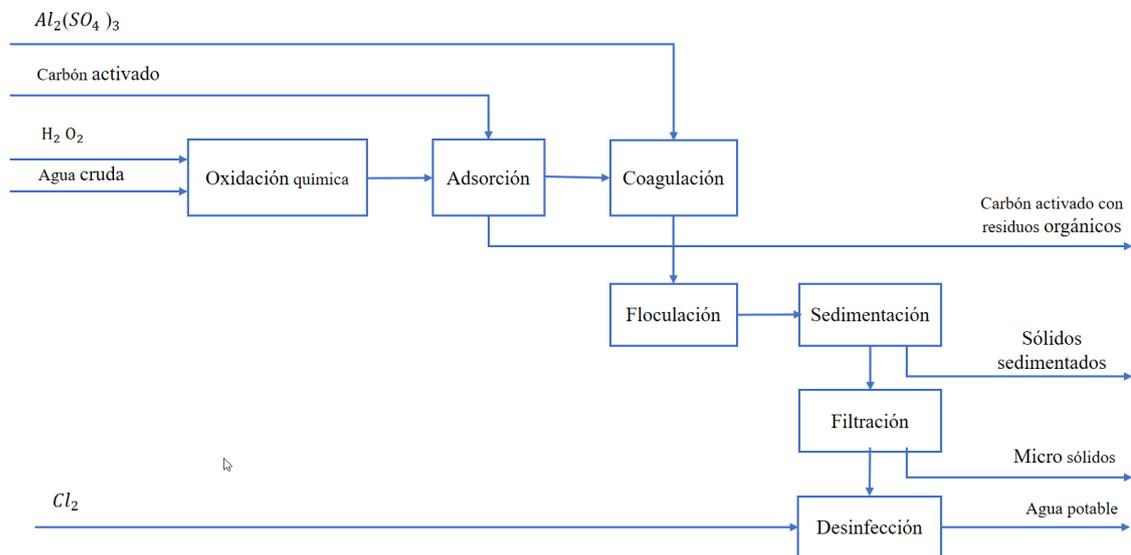
A = “Área transversal a la dirección de flujo en el filtro.”

Los filtros deben tener “una calidad buena, de gran dureza y durabilidad, para así evitar un aumento de cohesión o un cambio de distribución granulométrica”. La ICOLD “propone recomendaciones que ayudan en la construcción de filtros en campo, entre ellas el ancho que permita la compactación requerida y control de calidad.”

2.2.8.3. Procesos de potabilización de aguas

Figura 10

Proceso de potabilización de aguas.



Fuente: Aljure, I. y León, S. (2016)

2.2.8.3.1. Aireación

“En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. En resumen, es introducir aire al agua” (Romero, 1999, p. 23)

- **Fundamentos de aireación**

“De acuerdo al planteamiento de que todo soluto tiende a difundirse en una solución hasta que la composición se hace homogénea. La tasa a la cual un soluto se difunde a través de un área transversal uniforme depende de su tamaño y forma molecular, así como del gradiente de concentración de las sustancias” (Romero, J., 1999, p.30)



Además de la certeza de que “una sustancia se mueve espontáneamente de una zona de alta concentración a una zona de concentración inferior; por lo tanto, la concentración de las sustancias volátiles en el aire y el agua, así como la concentración de saturación, son factores que controlan la tasa a la cual se efectúa el intercambio. Como las temperaturas altas aumentan la volatilidad de los compuestos y disminuyen su valor de saturación, la aireación para la remoción de sustancias volátiles, es más eficiente en aguas cálidas que frías, a la vez la remoción por aireación, de gases como el H₂S, CO₂ y NH₃ es función del pH del agua.” (Romero, J., 1999, p.30)

Del concepto anterior se deduce “la ley de la difusión de Fick y la teoría de la capa líquida estacionaria, la tasa de cambio en la concentración de una sustancia volátil” se expresa por la ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{KA(C_s - C)}{V}$$

Donde:

dC/dt = “Tasa de cambio en la concentración mg/L.s”

K = “Coeficiente de transferencia de la sustancia volátil, m/s”

A = “Área de contacto entre la fase gaseosa y la fase líquida, m²”

V = “Volumen de fase líquida, m³”

C_s = “Concentración de saturación del gas en el líquido, mg/L”

C = “Concentración del gas o sustancia volátil en líquido, mg/L”



2.2.8.3.2. Adsorción (Carbón activado)

“El mejor tratamiento para la eliminación de olores y sabores es la adsorción, en la cual se utiliza carbón activo, debido a que éste elimina un amplio rango de olores, como el olor a moho y a tierra.” (Rojas, Guerrero, Vásquez, & Valencia, 2012). La aireación y la oxidación son los más frecuentes tratamientos empleados para eliminar olores.

“El carbón activado posee una alta porosidad y una gran superficie específica (la cual puede ir de áreas pequeñas hasta áreas de miles de metros cuadrados por gramo). Esto hace a este medio apto para el proceso de adsorción, dando como resultado un óptimo tratamiento del agua. Una de las mayores ventajas de utilizar carbón activado es su relativamente fácil obtención, ya que puede resultar como subproducto de la producción de aceite de coco, oliva y del procesamiento de la caña de azúcar” (Wilchez & Cruz, 2021)

2.2.8.3.3. Coagulación

El concepto de “coagulación química es parte del proceso fisicoquímico convencionalmente empleado en el tratamiento de agua potable conocido como clarificación química, que incluye las etapas de mezcla rápida (coagulación), mezcla lenta (floculación), sedimentación y frecuentemente filtración, un tren de tratamiento. En México, la clarificación química sigue siendo uno de los principales procesos utilizados en la potabilización de agua ya sea el sistema convencional o con modificaciones.” (García, J. 2010, 13)

2.2.8.3.4. Floculación

“El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en



partículas floculantes; es el proceso por el cual una vez desestabilizada los coloides, se provee una mezcla suave de partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados.” (Romero, 1999, p. 79)

2.2.8.3.5. Sedimentación

“Se designa por sedimentación la operación por el cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de la gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento” (Romero, 1999, p. 79)

2.2.8.3.6. Filtración

“En la planta de purificación la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y sin embargo son removibles mediante la filtración. Lo anterior indica que en la práctica se considera que el propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción del desinfectante.” (Romero, 1999, p. 79)

2.2.8.3.7. Desinfección (Cl₂)

Barreiro y Ghislieri (2002) Consideran que el “desinfectante ideal es aquel agente químico o físico que nos asegure una completa destrucción de los microorganismos que nos proponemos eliminar, afectando lo menos posible el agua que estamos tratando, los seres vivos y los equipos que estarán en contacto con ésta, el ambiente y que se obtenga a un costo razonable.”



Como algunas consideraciones adicionales se debe tener en cuenta las siguientes:

1) “Debe destruir toda clase y cantidad de microorganismos que puedan introducirse en las aguas que habremos de tratar, en un lapso razonable, dentro de una amplia gama de temperaturas y que no se vea afectado por posibles fluctuaciones en la composición, concentración y condición de las aguas a tratar.”

2) “En las concentraciones requeridas no debe ser tóxico al hombre y otros seres vivos, y tampoco debe tener sabor.”

3) “Debe ser aplicable a un costo razonable, seguro, y fácil de almacenar, manipular, transportar y aplicar.”

4) “Su concentración en el agua debe ser fácil, rápida y automáticamente medible. Estos ensayos deben ser exactos, precisos y reproducibles.”

5) “Debe persistir en el agua con una concentración suficiente que asegure un efecto residual.”

De acuerdo a lo que señalan Barreiro y Ghislieri (2002) “para diferentes concentraciones de desinfectante, el comportamiento de la desinfección se puede expresar como:

$$C^n t_p = cte$$

C es la concentración del desinfectante y t_p es el tiempo que se requiere para lograr la muerte de una proporción determinada de microorganismos (generalmente se toma el 99%)

Algunos ejemplos: Si usamos HClO como desinfectante y consideramos una



mortandad del 99 % se verifican las siguientes relaciones:

$$\text{Escherichia Coli} \quad C^{0.86} t_p = 0.24$$

$$\text{Virus Coxsackie A2} \quad C^{0.86} t_p = 6.3$$

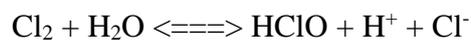
$$\text{Virus 1 de Poliometitis} \quad C^{0.86} t_p = 1.2$$

$$\text{Virus Adeno 3} \quad C^{0.86} t_p = 0.098$$

Estos son datos que se verifican entre 0 y 6 °C.”

El cloro “es un excelente desinfectante y verifica la mayoría de las condiciones que le exigimos a un desinfectante ideal: barato, fácil de aplicar, fácil de dosificar, deja efecto residual, no afecta a formas superiores de vida en las concentraciones en que es mortal para todo tipo de microorganismo, actúa en un amplio grado de temperatura y de pH (aunque a determinados pH la especie presente pueda tener más poder desinfectante que a otros pH). Las dificultades que se deben considerar son, básicamente, que es muy irritante y altamente tóxico a altas concentraciones, por lo que debe ser manipulado con mucha precaución y, si se aplica en exceso, deja un sabor característico en el agua tratada.

Aplicando gas cloro en el agua a tratar, se verifican los siguientes equilibrios:

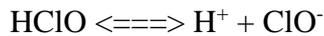


$$k_1 = 4,5 \times 10^{-4} \text{ a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para $\text{pH} > 4$ el equilibrio está totalmente desplazado a la derecha, por lo que ya no hay presencia de gas cloro disuelto y prácticamente todo se encuentra bajo forma de hipocloroso.



El hipocloroso se comporta como ácido débil:

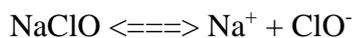


$$k_2 = 2,7 \times 10^{-8} \text{ a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

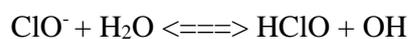
Para $\text{pH} < 6$ el hipocloroso se encuentra muy poco dissociado y prácticamente desaparece a $\text{pH} > 10$.”

Se ha demostrado experimentalmente que, para una concentración dada de cloro y sus especies en equilibrio, la más alta mortandad se logra alrededor del $\text{pH} = 6$, de lo que se puede deducir que la especie mejor desinfectante es el hipocloroso. Afortunadamente es alrededor de ese valor de pH donde siempre vamos a estar trabajando y por lo tanto estamos en las mejores condiciones.

También se puede utilizar, como agente desinfectante el hipoclorito, ya sea de sodio o de calcio. Este es un agente seguro de manipular, en plantas pequeñas y medianas, pero no así en plantas grandes, ya que los grandes volúmenes que se deben manejar, hace que sea más conveniente el cloro gaseoso.”



Al mismo tiempo, el hipoclorito se hidroliza (es una “sal de base fuerte y de ácido débil”)





CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tipo

Aplicada: Este tipo de investigación “busca soluciones de aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo, se basa fundamentalmente en las propuestas tecnológicas de la investigación básica, cumpliendo la función de ser la conexión entre la teoría y el producto” (Lozada, 2014)

Nivel

Descriptivo – tecnológica: “Encuentra problemas sociales o procesos, evalúa; busca crear nuevas realidades que no existen y propuestas útiles para solucionar problemas mejorando procesos” (García & Muñoz, 2009) en este caso se evalúa la calidad del agua y luego se propone un sistema de saneamiento unifamiliar.

3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO

3.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca, cuyo área de estudio está delimitado por el sur con Av. Ferrocarril, por el este con Av. Huayna Cápac, por el norte con el Aeropuerto Internacional Inca Manco Cápac y por el oeste con Av. Aviación; el área de la zona de estudio es 1.54KM², este área abarca las urbanizaciones de Cincuentenario Kankollani, Santa Catalina y Santa Adriana; geográficamente ubicada en la provincia de San Román, que pertenece a la región Puno,

la coordenada promedio del de los puntos de estudio se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8

Coordenadas promedio de los puntos de estudio.

Zona	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota
19 L	376772.00 m E	8288230.00 m S	3831.12 m

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Ubicación de puntos de muestreo en zonas de expansión noreste de la ciudad de Juliaca.



Fuente: Elaboración propia - Google Earth Pro.

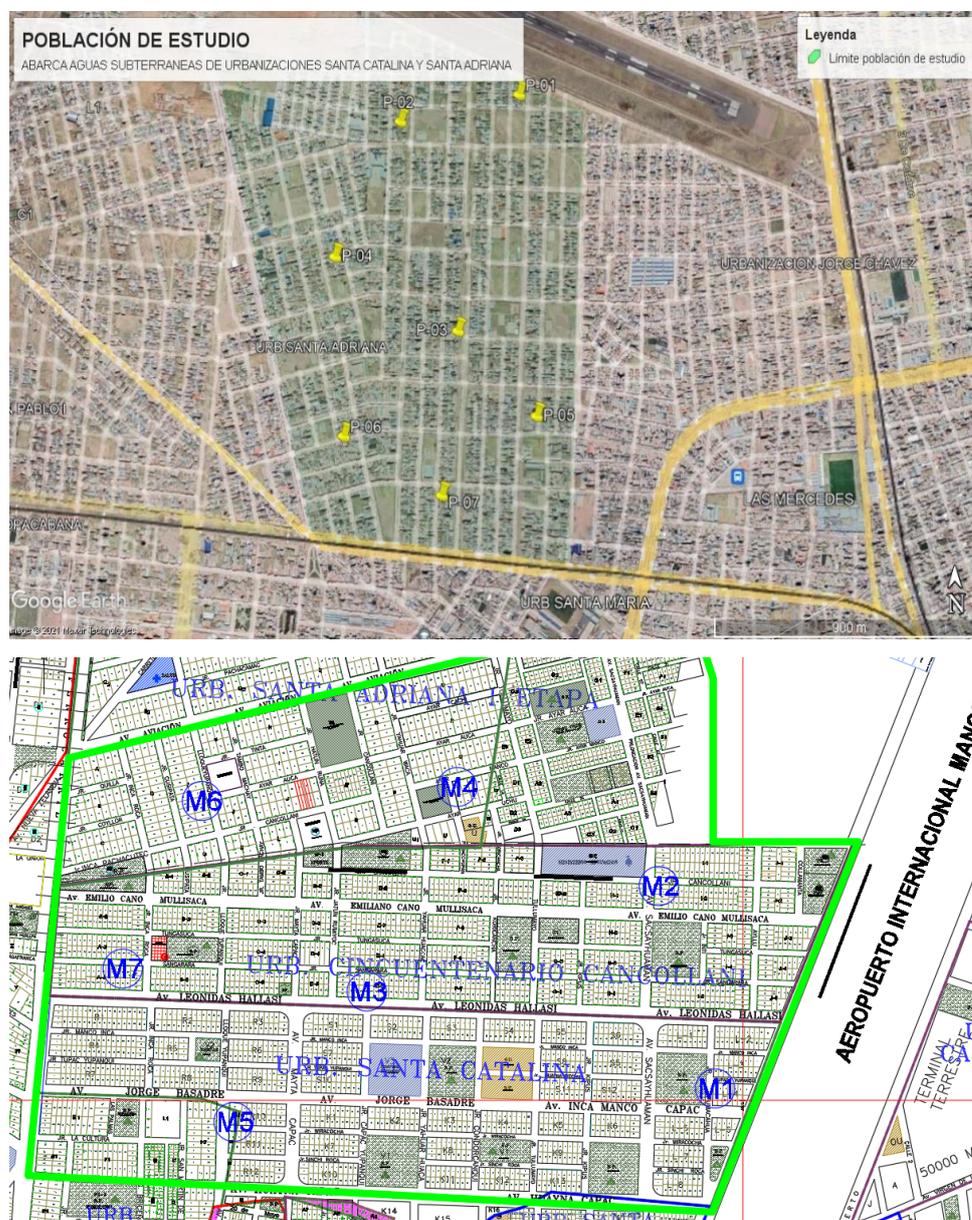
3.2.2. Población de estudio

La población de estudio son las aguas subterráneas de zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca, el que cuenta con aproximadamente con 3078 pozos (entre tubulares y artesianos) según padrón de viviendas de las urbanizaciones de

Cincuentenario Kankollani, Santa Catalina y Santa Adriana contando con un área aproximado de 1.54 kilómetros cuadrados, de los cuales se determinó por conveniencia realizar el muestreo en 7 puntos de forma representativa para evaluar la calidad de agua subterránea, cuya distribución se aprecia en la siguiente figura.

Figura 12

Población de agua subterránea evaluada para zonas de muestreo en zonas de expansión de la ciudad de Juliaca.



Fuente: Elaboración propia - Google Earth Pro.

3.2.3. Muestra

De la población se determinó por conveniencia realizar el muestreo en 7 puntos de forma representativa para realizar la evaluación correspondiente de la calidad de agua subterránea, cuyas coordenadas se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 9

Coordenadas de los puntos de estudio.

Punto de Muestreo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
M-1	377174.10 m E	8288824.60 m S	Esquina Av. Tupac Yupanqui/Jr.Pumacahua
M-2	376605.80 m E	8288859.60 m S	Esquina Av. Sacsayhuaman/Jr.Cancollani
M-3	376759.30 m E	8288237.40 m S	Cuadra 5 de Av. Leonidas Hallasi
M-4	376333.70 m E	8288380.20 m S	Esquina Jr. Ayar Manco con Jr. Pumacchupan
M-5	377206.50 m E	8287981.50 m S	Esquina Av. Lloque Yupanqui/Jr. Wiraccocha
M-6	376402.40 m E	8287927.60 m S	Esquina Av. Lloque Yupanqui/Jr. Ayar Auca
M-7	376716.90 m E	8287756.50 m S	Jr. Sangarará N°262

Fuente: Elaboración propia

Muestra M-1: La primera muestra M-1 de agua subterránea se obtuvo del pozo tubular existente en la vivienda ubicada en la esquina de Av. Tupac Yupanqui con Jr. Pumacahua de la urbanización Santa Catalina; el nivel del espejo de agua del pozo tubular del que se extrajo el agua fue de -2.85m respecto al nivel del piso terminado y el potencial de hidrógeno fue de 7.4; la actividad del muestreo en el punto M-1 se muestra en la siguiente figura 13.

Figura 13

Muestreo de agua subterránea M-1.



Fuente: Elaboración propia.

Muestra M-2: La segunda muestra M-2 de agua subterránea se obtuvo mediante pozo tubular existente dentro de la vivienda ubicada en la esquina de Av. Sacsayhuaman con Jr. Cancollani de la urbanización Cincuentenario Cancollani; el nivel del espejo de agua del pozo tubular fue de -3.05m y potencial de hidrogeno de 7.2 , la actividad de muestreo se aprecia en la siguiente figura 14.

Figura 14

Muestreo de agua subterránea M-2.



Fuente: Elaboración propia.

Muestra M-3: La tercera muestra M-3 de agua subterránea se obtuvo del pozo tubular existente en la vivienda ubicada en la quinta cuadra de Av. Leonidas Hallasi de la urbanización Cincuentenario Cancollani; el nivel del espejo de agua del pozo tubular del que se extrajo el agua fue de -3.25m respecto al nivel del piso terminado y el potencial de hidrógeno fue de 7.3; la actividad del muestreo en el punto M-3 se muestra en la siguiente figura 15.

Figura 15

Muestreo de agua subterránea M-3.



Fuente: Elaboración propia.

Muestra M-4: La cuarta muestra M-4 de agua subterránea se obtuvo del pozo artesiano existente en la vivienda ubicada en la esquina de Jr. Ayar Manco con Jr. Pumacchupan de la urbanización Santa Adriana; el nivel del espejo de agua del pozo tubular del que se extrajo el agua fue de -3.15m respecto al nivel del piso terminado y mientras que el potencial de hidrógeno fue de 7.1; la actividad del muestreo en el punto M-4 se muestra en la siguiente figura 16.

Figura 16

Muestreo de agua subterránea M-4.



Fuente: Elaboración propia.

Muestra M-5: La quinta muestra M-5 de agua subterránea se obtuvo del pozo artesiano existente en la vivienda ubicada en la esquina Av. Lloque Yupanqui con Jr. Wiracocha de la urbanización Santa Catalina; el nivel del espejo de agua del pozo tubular del que se extrajo el agua fue de -2.55m respecto al nivel del piso terminado y mientras que el potencial de hidrógeno fue de 7.3; la actividad del muestreo en el punto M-5 se muestra en la siguiente figura 17.

Figura 17

Muestreo de agua subterránea M-5.



Fuente: Elaboración propia.

Muestra M-6: La sexta muestra M-6 de agua subterránea se obtuvo del pozo artesiano existente en la vivienda ubicada en la esquina Av. Lloque Yupanqui con Jr. Ayar Auca de la urbanización Santa Adriana; el nivel del espejo de agua del pozo tubular del que se extrajo el agua fue de -2.30m respecto al nivel del piso terminado y mientras que el potencial de hidrógeno fue de 7.2; la actividad del muestreo en el punto M-6 se muestra en la siguiente figura 18.

Figura 18

Muestreo de agua subterránea M-6.



Fuente: Elaboración propia.

Muestra M-7: La séptima muestra M-7 de agua subterránea se obtuvo del pozo artesiano existente en la vivienda ubicada en Jr. Sangarará N°262 de la urbanización Santa Catalina; el nivel del espejo de agua del pozo tubular del que se extrajo el agua fue de -2.60m respecto al nivel del piso terminado y mientras que el potencial de hidrógeno fue de 7.2; la actividad del muestreo en el punto M-7 se muestra en la siguiente figura 19.

Figura 19

Muestreo de agua subterránea M-7.



Fuente: Elaboración propia.



3.3. MATERIALES

3.3.1. Materiales para procesamiento de datos

Para la ejecución del presente proyecto fue necesario contar con la logística que se da a conocer en la siguiente lista:

- 01 Computadora Personal
- Ubicación de 07 pozos estratégicos para el muestreo.
- Software Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCAD, Google Earth Pro, Qgis y Delphin Express.

3.3.2. Materiales de muestreo de agua subterránea (campo)

Para el muestreo de agua subterránea, se utilizó los siguientes materiales:

- 07 Envases esterilizados enviados por BHIOS LABORATORIOS.
- 07 Coolers (Cajas de protección)
- 01 Termómetro de mercurio
- 07 Medidores de PH
- 01 Par de Guantes quirúrgico
- 01 GPS Navegador
- 01 Cámara fotográfica
- 01 Tablero plástico portátil
- 01 Mandil
- 01 Máscara quirúrgica

*Los materiales para la toma de muestras han sido enviados por BHIOS LABORATORIOS.

Figura 20

Uso de materiales en muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Materiales para prueba test de percolación (campo)

Con el fin de obtener el grado de infiltración de aguas servidas y plantear su sistema de tratamiento se realiza la prueba del test de percolación, para lo cual se requiere los siguientes materiales.

- 01 Regla graduada transparente milimétrica.
- 01 Cronometro graduado a décimas de segundo.
- 01 Lampa.
- 02 Picos
- 01 Espátula
- 01 GPS Navegador
- 01 Cámara fotográfica



- 01 Tablero plástico portátil
- 01 Flexómetro de 5m
- 01 Arena gruesa

3.4. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

3.4.1. Método para muestreo de agua subterránea (campo)

Se dispusieron los envases o frascos de muestreo adecuadamente esterilizados cuya capacidad para los diferentes ensayos y pruebas fueron determinados por BHIOS LABORATORIOS sede Arequipa con la finalidad de obtener los resultados más reales posibles.

Seguidamente se ejecutó la extracción de muestra de los respectivos pozos tubulares con bombas ya existentes y con ayuda de una jarra transparente el cual se esterilizó previo uso con alcohol y en cuanto a la extracción del agua antes de tomar las muestras se dejó fluir el agua por unos 2 minutos acorde a lo especificado en la NTP ISO 5667-5:2001 “Guía para muestreo de agua para consumo humano y agua utilizada para procesamiento de comidas y bebidas,” en el caso de pozos artesanales se utilizó un envase de plástico limpio (balde) para extraer el agua con ayuda de una cuerda.

Posteriormente los envases con las muestras de aguas subterráneas se transportaron en unas cajas cooler el que ayudo a que la muestra se conserve la temperatura adecuada.

En exteriores de las cajas cooler se identificó cada muestra con su respectivo código. En interiores de las cajas cooler se envió el formulario proveído por el laboratorio BHIOS en el que se registraron datos como los descritos en la siguiente tabla.

Tabla 10

Tabla de identificación de muestra.

N°	Descripción de registro
1	• Identificación del punto de muestreo.
2	• Procedencia
3	• Número de muestra o código.
4	• Fecha.
5	• Hora de recolección
6	• Volumen enviado (dependiendo del tipo de análisis).
7	• Nombre y firma de la persona que realizó el muestreo.
8	• Observaciones: (se incluirá alguna característica saltante fuera de lo común).

Fuente: Elaboración propia

Después del haber realizado el registro de datos correspondientes a cada muestra, se envió al laboratorio BHIOS sede Arequipa para su respectivo análisis.

Figura 21

Se aprecia muestreo de aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración propia.



3.4.2. Métodos para análisis de agua subterránea en laboratorio

En el laboratorio se utilizó los métodos de pruebas existentes establecidos en la tabla 11 el cual ha sido desarrollado por BHIOS LABORATORIOS, acreditado bajo la norma “NTP ISO/IEC 17025.2006. empleando las Norma Técnica Peruana (2012), Manual de Análisis de Agua HACH (2000).”

Para cada uno de los parámetros biológicos y físico-químicos generales se ha basado en los protocolos de las normas internacionales y nacionales, acorde a lo emitido por BHIOS LABORATORIOS se utilizó los métodos que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 11

Métodos utilizados para determinación de parámetros biológicos, microbiológicos y físico-químicos.

Determinación	Métodos Utilizados
OVL-Nemátodos (Cuantificación)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10750 Nematological Examination. Pag. 10-98 a 10-113. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23nd Ed. 2017.”
Numeración de Escherichia coli (NMP)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000 9221-F Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. 23nd Ed. 2017.”
Numeración de Coliformes totales	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Techique. 23nd Ed. 2017.”
Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-E Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Fecal Coliform Procedure. 23nd Ed. 2017.”



Determinación	Métodos Utilizados
Recuento de Microorganismos Heterótrofos	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9215-B Heterotrophic Plate Count: Pour Plate Method. 23nd Ed. 2017.”
OVL-Protozoarios (Cuantificación)	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9711 Pathogenic Protozoa Pag.1 a 5. / Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23nd Ed. 2017.
OVL-Algas (Cuantificación)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23nd Ed. 2017.”
Quistes y quistes de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9711 Pathogenic Protozoa Pag.1 a 5. / Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23nd Ed. 2017.”
Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23nd Ed. 2017.”
OVL-Rotíferos (Cuantificación)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23nd Ed. 2017.”
OVL-Copépodos (Cuantificación)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23nd Ed. 2017.”
Cloro Libre (Cl ₂)	“Cloro Libre DPD – HACH”
Turbidez	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2130-B. Turbidity. Nephelometric Method. 23nd Ed. 2017.”
Sólidos Disueltos Totales	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2540-C. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C. P23nd Ed. 2017.”
Sabor	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2160-B. Flavor Threshold Test (FTT). 23nd Ed. 2017.”
pH	“Environmental Protection Agency. Method 150.1. pH (Electrometric). 1999”



Determinación	Métodos Utilizados
Sensorial Olor	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2150-A. 23nd Ed.”
Nitrógeno (Amoniaco) (NH ₃ -N)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Method 4500-NH ₃ . Nitrogen (Ammonia). 23nd Ed”
Dureza Total (como CaCO ₃)	“Norma Técnica Peruana 214.018: 1999 (Revisada el 2019) Agua para consumo Humano. Determinación de la dureza. Método Volumétrico con EDTA.”
Conductividad (25°C)	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000 Method 2510-B Conductivity. Laboratory Method. 23nd Ed. 2017”
Cloro Total (Cl ₂)	“Cloro Total DPD – HACH”
Cianuro Total	“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000 Method 4500-CN- J. Cyanide. Cyanogen Chloride. Colorimetric Method . 23nd Ed. 2017.”
Color	“Water Analysis Handbook HACH. Color True and Apparent. Method 8025: Platinum-Cobalt Standard Method. Pag.381. 4th Ed.”

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que para la determinación de metales totales presentes en el agua subterránea se utilizó el método que se menciona en la siguiente tabla.

Tabla 12

Métodos utilizados para determinación metales totales en el agua.

Determinación	Método utilizado
Metales Totales por ICP-MS	“EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry”

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para la determinación de Aniones Oxihálidos y Aniones presentes

en las aguas subterránea se utilizó los siguientes métodos respectivamente.

Tabla 13

Métodos utilizados para determinación de aniones y oxihálidos.

Determinación	Método utilizado
Aniones Oxihálidos (DS 031)	“Environmental Protection Agency. Method 300.0 Determination of inorganic anions by Ion Chromatography Revision 2.1 August 1993”
Aniones (DS 031)	“Environmental Protection Agency. Method 300.0 Determination of inorganic anions by Ion Chromatography Revision 2.1 August 1993”

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Análisis de muestras de aguas subterráneas en BHIOS LABORATORIOS.



Fuente: BHIOS LABORATORIOS.



La ejecución de los análisis en laboratorio con fines de determinar los parámetros físico químicos fue desde 01/06/2021 al 09/06/2021, mientras que en laboratorio de microbiología fue desde el 01/06/2021 al 08/06/2021.

3.4.3. Método de cuadro comparativo y mapa de calor de los contaminantes presentes en agua subterránea.

Posterior al análisis de la calidad de aguas subterráneas en BHIOS LABORATORIOS se procedió a concatenar datos en tablas empleando programa Microsoft Excel por cada muestra y sus respectivos parámetros para su manejo estadístico, generando gráficos que se muestran en el capítulo de resultados y análisis.

Se utilizaron cuadros comparativos para determinar las condiciones de potabilidad de cada parámetro de acuerdo a los LMP de DIGESA 2010; adicional a ello se utilizó barras comparativas para apreciar de mejor variabilidad de concentración de cada parámetro de acuerdo a las 7 muestras, donde también se aprecia el LMP establecido por la DIGESA.

Por otro lado, se empleó mapas de calor calculado mediante método de elementos finitos con el software Qgis, introduciendo como punto de partidas las coordenadas UTM y grado de concentración de contaminante de cada punto de muestreo, para apreciar la distribución geográfica de los contaminantes presentes en aguas subterráneas.

3.5. METODOLOGÍA PARA SANEAMIENTO BÁSICO UNIFAMILIAR

Una vez determinado y tomado en conocimiento las características de la calidad del agua subterránea y las causas de su contaminación se plantean las soluciones; por un lado, eliminar las fuentes contaminantes como las letrinas cercanas a pozos de agua, y



por otro lado plantear un sistema de tratamiento para lograr la potabilización de las mismas. Por lo que para su diseño y funcionalidad es necesario recurrir al procedimiento de los siguientes métodos.

3.5.1. Método de diseño del sistema de potabilización de aguas subterráneas.

Para el diseño de sistema de potabilización de aguas subterráneas se optó por buscar alternativas económicas y eficientes para remover los contaminantes que superan los LMP de acuerdo a los resultados del análisis de laboratorio como se reporta en el Anexo A y del cuadro comparativo que se adjunta en el Anexo B.

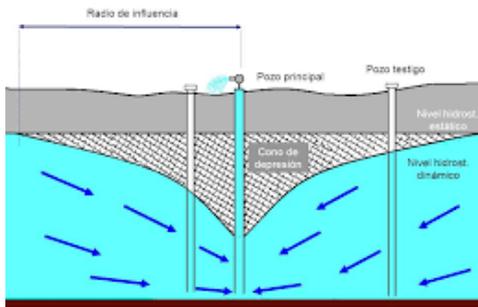
Primeramente, se estableció el procedimiento de potabilización del agua de acuerdo a lo recomendado por Arboleda (2000) quien coincide con Aljure, I. y León, S. (2016), pero en este caso omitiendo los procesos de cribado y aireación, debido a que las características del agua subterránea no lo requieren.

Cabe precisar que el sistema de potabilización que se plantea es a nivel unifamiliar, puesto que los pozos actuales de abastecimiento son unifamiliares.

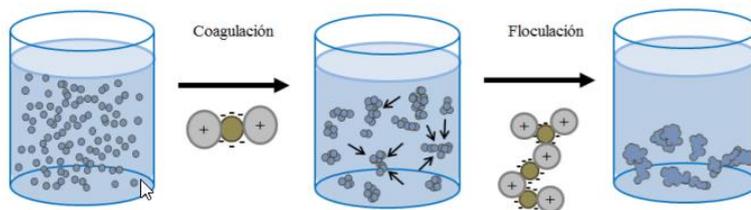
El tren va a estar compuesto de por los siguientes sistemas de tratamiento:

Figura 23

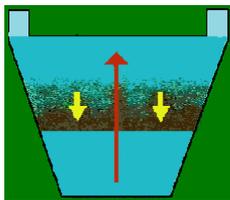
Secuencia de tratamiento.



Fuente: Vargas & Martínez (2018).



Fuente: Universidad de Guanajuato (2007).



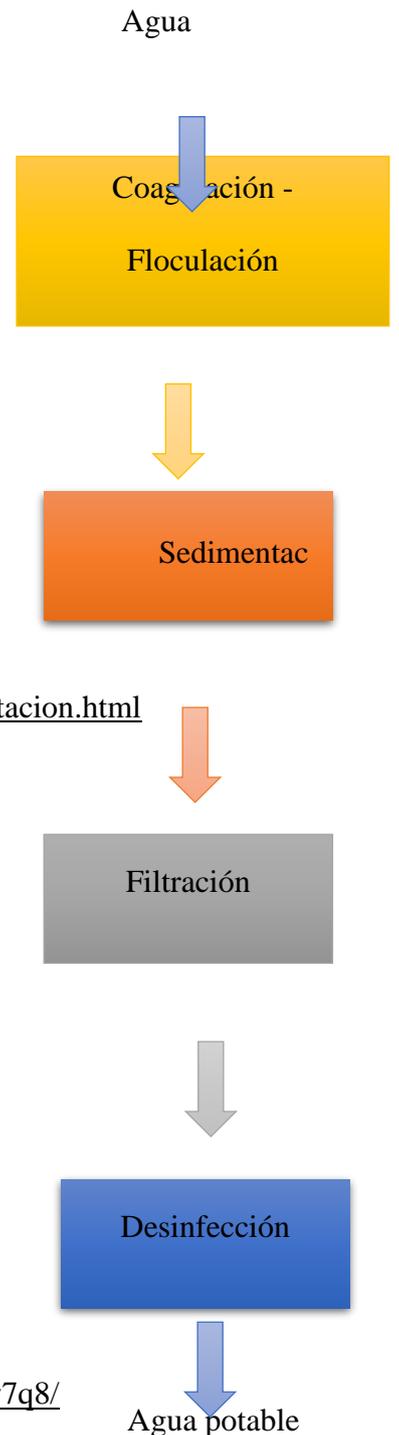
Fuente: <http://procpot.blogspot.com.co/2013/07/sedimentacion.html>



Fuente: <https://brainly.lat/tarea/19067092>



Fuente: <https://www.nicepng.com/maxp/u2q8y3u2y3r5w7q8/>





a) Captación de agua subterránea

La captación de agua para abastecimiento unifamiliar es de procedencia subterránea mediante pozos tubulares como actualmente ya se practica en las zonas expansivas noroeste de la ciudad de Juliaca; estas deben estar mínimamente a una distancia 15.00 m de los puntos de percolación de aguas servidas.

b) Coagulación, floculación y decantación.

Para remover el arsénico se planteó el método de tratamiento mediante la coagulación y posterior floculación, la mezcla o la desestabilización será mecánica el cuyo tiempo se obtendrá calculado mediante la fórmula sugerida por Letterman, May y May(2) el cual es aplicado por Lidia Vargas (1999) “para optimizar las operaciones de mezcla rápida se utiliza la ecuación siguiente:

$$G \cdot T^* \cdot C^{1.46} = 5,9 (10)^6$$

donde:

T^* = tiempo óptimo de mezcla rápida con unidad de tiempo en segundos

C = cantidad de coagulante en mg/L

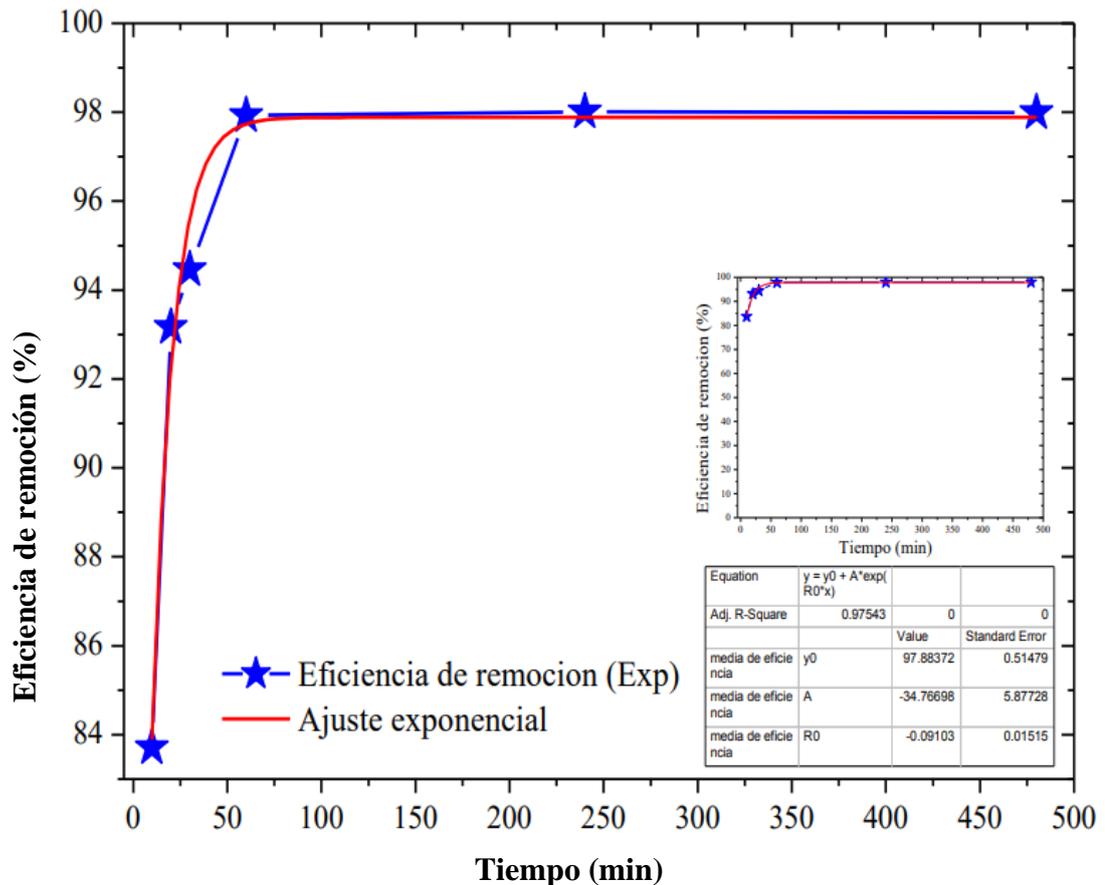
G = gradiente de velocidad promedio en s^{-1}

Para llegar al dimensionamiento se utilizó cálculos de ingeniería los cuales se muestran en el Anexo G, como complemento se usaron datos de investigaciones referentes alternativas de remoción de Arsénico de aguas subterráneas llegándose a utilizar estos datos para el diseño y la geometría del sistema de tratamiento.”

Para la eficiencia de la remoción del arsénico se optó por el uso en 5 mg/L de Nanopartículas Fe₃O₄ y filtro de Zeolita cuya descripción grafica es la siguiente en función al tiempo de contacto.

Figura 24

Curva de eficiencia de remoción de arsénico con Nanopartículas Fe₃O₄.



Fuente: Tapia & Huanca (2019)

Y mediante la ecuación de ajuste exponencial, que grafica proceso de remoción de arsénico en función del tiempo de contacto para alcanzar la eficiencia de remoción requerida de acuerdo a los resultados del análisis en laboratorio, tomando como referencia la muestra que tenga la concentración más alta.



Ecuación producto del ajuste exponencial planteado para la remoción de arsénico con Nanopartículas Fe₃O₄:

$$y = y_0 + A * \exp^{(R_0 * x)}$$

$$A = -34.766$$

$$y_0 = 97.88372$$

$$R_0 = -0.09103$$

$x = \text{tiempos a iterar (min)}$

El tiempo requerido se tomará para la duración del proceso de decantación.

Posterior al resultado se determinará la geometría volumétrica del sistema de tratamiento, con el objetivo de alcanzar la dotación de agua sugerida por la “Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos Saneamiento Básico en el Ámbito Rural, a Nivel de Perfil.”

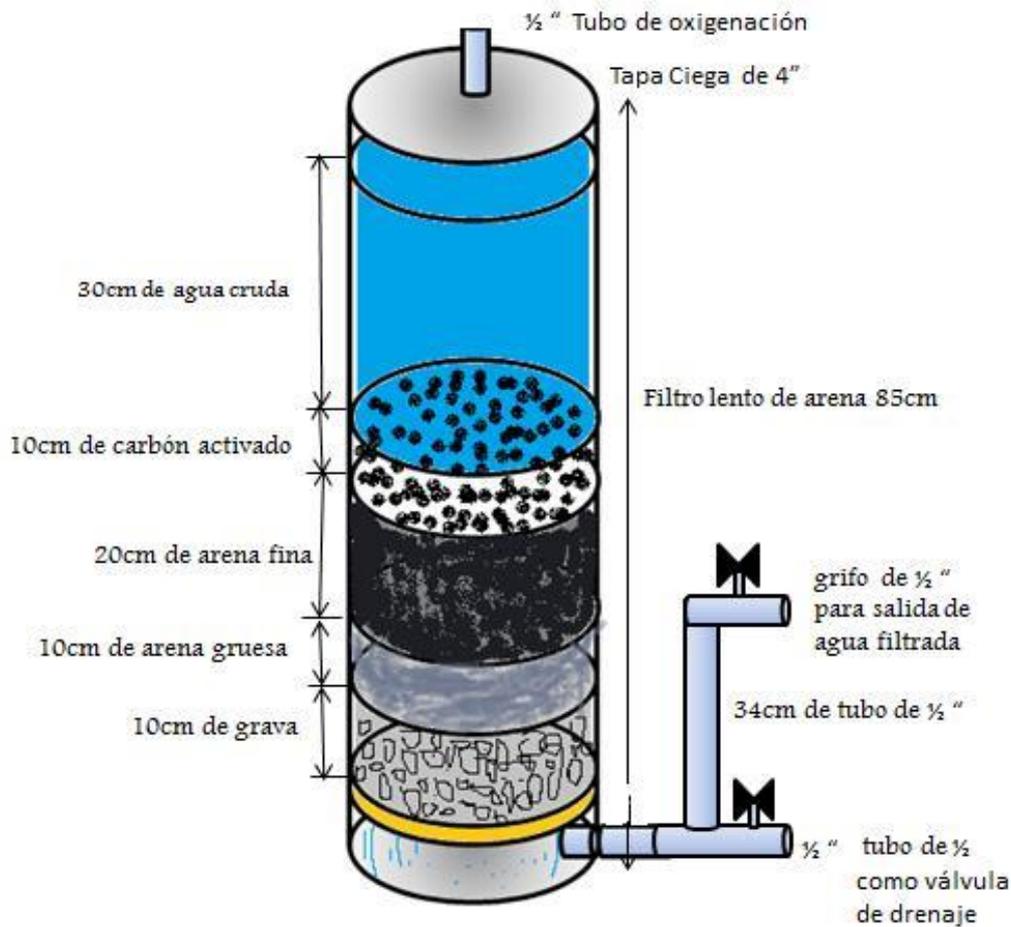
c) Filtración

Para remoción de contaminantes microbiológicos y remanente de arsénico se plantea dos filtros:

Para la eliminación de contaminantes microbiológicos se optó por usar el “método de filtro lento de arena con carbón activado” planteado por Carcausto (2017), cuyo esquema se muestra en la siguiente figura.

Figura 25

Esquema de filtro lento de arena con carbón activado.



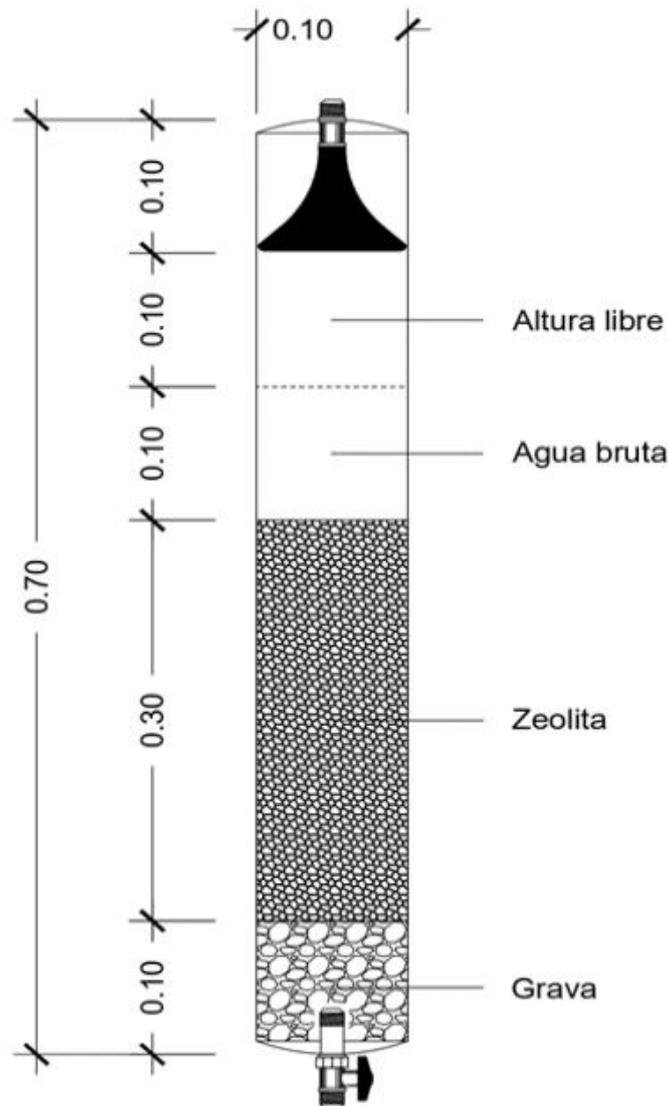
Fuente: Carcausto (2017)

Siendo esta tecnología de “filtro lento de arena una alternativa optima con la retención de coliformes totales en un 94.39% y coliformes termotolerantes en un 98.96%.” (Carcausto, 2017)

Por otro lado, para la eliminación del remanente de arsénico se opta por el método de filtración con zeolita propuesto por (Yogafanny et al., 2018) cuya configuración es como se observa en la figura.

Figura 26

Esquema de con zeolitas naturales de la región de Puno.



Fuente: Turpo et al (2022)

“La remoción de arsénico del agua subterránea es factible, utilizando zeolitas naturales como medio filtrante. El adsorbente de Atuncolla removi6 47,56% de concentración de arsénico” (Turpo et al, 2022)

d) Desinfección

Para el proceso de desinfección se propone el uso de desinfectante cloro en para lo cual se debe proceder a hacer la desinfección agregando al agua filtrada 4ml de hipoclorito de sodio al 0,5% por cada 5 litros, en la figura siguiente se detalla el uso y dosificación de otros desinfectantes alternos para el proceso de desinfección en tanque unifamiliar.

Figura 27

Dosificaciones de productos para desinfección de agua.

RECOMENDACIONES PARA TENER AGUA SEGURA

Dosificación de Productos para Desinfección del Agua

Hervir el agua por 3 minutos



Ó

Agregar al agua un producto desinfectante de con registro de DIGESA



PRODUCTO	APLICACIÓN	DOSIFICACIÓN	FORMA DE PRESENTACIÓN
DISTRIBUIDO POR EL MINISTERIO DE SALUD			
Hipoclorito de Sodio al 0.5 %	Desinfección de agua para consumo humano	4 gotas por litro de agua	
	Desinfección de frutas y verduras	6 gotas por litro de agua	
OTROS PRODUCTOS			
Productos comerciales de Hipoclorito de Sodio en concentraciones de 2%, 3%, 5%, 6%	Desinfección de agua para consumo humano	1 gota por litro de agua	
	Desinfección de frutas y verduras	3 gotas por litro de agua	
Pastillas para desinfectar 1 litro de agua	Desinfección de agua para consumo humano	1 comprimido por litro de agua	
		Para lavar frutas y verduras agregar 3 comprimidos por litro de agua	
Pastillas para desinfectar 20 litros de agua	Desinfección de agua para consumo humano	1 pastilla en 20 litros de agua, esperar 2 horas antes de consumir.	

NOTA:

1. Utilizar solo desinfectantes con registro de la DIGESA en la cantidad indicada en la etiqueta del producto.
2. Luego de agregar el desinfectante esperar 30 minutos para poder utilizar el agua
3. En aguas turbias, dejar en reposo hasta que se aclare, luego hervir el agua por 03 minutos y finalmente agregar el desinfectante de acuerdo a la dosificación indicada en la tabla.

Fuente: MINSA – MI AGUA (2011)

El agua filtrada en tanque de almacenamiento se deja en contacto con el cloro por un tiempo mínimo de 30 minutos, para asegurar una adecuada desinfección y de esta forma consumir agua segura.



Posterior al resultado se determinará la geometría volumétrica del sistema de tratamiento, con la finalidad de alcanzar la dotación de agua sugerida por el “Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos Saneamiento Básico en el Ámbito Rural”, a Nivel de Perfil y finalmente se realiza el diseño del plano en el software AutoCAD.

Para eliminar fuentes contaminantes de origen antrópico, se plantea un sistema de saneamiento de compostera seca para cuyo diseño se requiere la prueba de percolación cuyo método se describe de la siguiente manera.

3.5.2. Método de test de percolación según Norma IS. 020.

“El test de percolación se utilizó para determinar un estimativo de tipo numérico de la capacidad de absorción del suelo en la zona de estudio.” El cual se realizó de acuerdo al procedimiento recomendado por la Norma IS.020, cuyos pasos para realizar dichas pruebas son como se detalla en los procedimientos siguientes:

1. Número y ubicación de las pruebas

Se determinó realizar pruebas en 6 puntos diferentes separados uniformemente en el área de estudio donde se propone la implementación de zanjas de percolación; la ubicación de cada una de las calicatas se muestra en la figura 28; de la misma manera cabe señalar que se eligieron áreas y/o espacios libres como plazas, parques, campos deportivos, etc.

Figura 28

Ubicación de calicatas para prueba test de percolación.



Fuente: Elaboración propia (Google Earth Pro).

2. Tipo de hoyo

Empleando herramientas de medición se realizó el trazo de hoyo, además con uso de pico y pala se excavó hoyos cuadrados de 30 x 30 centímetros donde se busca que el fondo coincida con la profundidad de funcionamiento a la que se propone implementar las zanjas de percolación, como muestra en la figura 29 y figura 30.

Figura 29

Trazo para la Excavación de hoyos.



Fuente: Elaboración propia.

3. Preparación del hoyo de prueba

Cuidadosamente, con el uso de cuchillo y herramientas menores se perfilaron las paredes del hoyo de para prueba de percolación; añadiendo 5 cm de material gravoso al fondo del agujero.

Figura 30

Perfilado de fondo de hoyo.



Fuente: Elaboración propia

4. Saturación y Expansión del Suelo.

Posterior al perfilado se llenó cuidadosamente empleando agua limpia en el hoyo hasta llegar a una altura de 30 centímetros sobre la capa de grava y se mantuvo esta altura por un período mínimo de 4 horas. Este procedimiento se ejecutó en horas nocturnas debido a que se debe evitar la influencia de la evaporación influenciada por el sol. Pasadas las 24 horas de haber llenado por primera vez el hoyo, se determinó la “tasa de percolación” de acuerdo con el procedimiento que se describe en el paso 5.

Figura 31

Saturación del hoyo.



Fuente: Elaboración propia



5. Determinación de la tasa de percolación:

Según la norma IS.020 puede suceder uno de los siguientes casos

a. “Si el agua permanece en el agujero después del periodo nocturno de expansión, se ajusta la profundidad aproximadamente a 25 cm sobre la grava. Luego utilizando un punto de referencia fijo, se mide el descenso del nivel de agua durante un periodo de 30 min. Este descenso se usa para calcular la tasa de percolación.”

b. “Si no permanece agua en el agujero después del periodo nocturno de expansión, se añade agua hasta lograr una lámina de 15 cm por encima de la capa de grava. Luego, utilizando un punto de referencia fijo, se mide el descenso del nivel de agua a intervalos de 30 minutos aproximadamente, durante un periodo de 4 horas. Cuando se estime necesario se podrá añadir agua hasta obtener un nuevo nivel de 15 cm por encima de la capa de grava. El descenso que ocurre durante el periodo final de 30 minutos se usa para calcular la tasa de absorción o infiltración. Los datos obtenidos en las primeras horas proporcionan información para posibles modificaciones del procedimiento, de acuerdo con las condiciones locales.”

c. “En suelos arenosos o en algunos otros donde los primeros 15 cm de agua se filtran en menos de 30 minutos después del periodo nocturno de expansión, el intervalo de tiempo entre mediciones debe ser de 10 minutos y la duración de la prueba una hora. El descenso que ocurra en los últimos 10 minutos se usa para calcular la tasa de infiltración. Nota: En los terrenos arenosos no será necesario esperar 24 horas para realizar la prueba de percolación.”

Figura 32

Medidas de descenso y/o infiltración del agua.



Fuente: Elaboración propia

En este caso de acuerdo al comportamiento del suelo en área de estudio se tuvo que aplicar la opción “c” por lo que se empleó tiempos con intervalos de 10 minutos.

Los datos de los 6 puntos de muestreo se registraron en las tablas que se muestra en el Anexo C. cuyos resultados se presentan en el apartado del Capítulo 4.

3.5.3. Método de diseño de zanja de percolación.

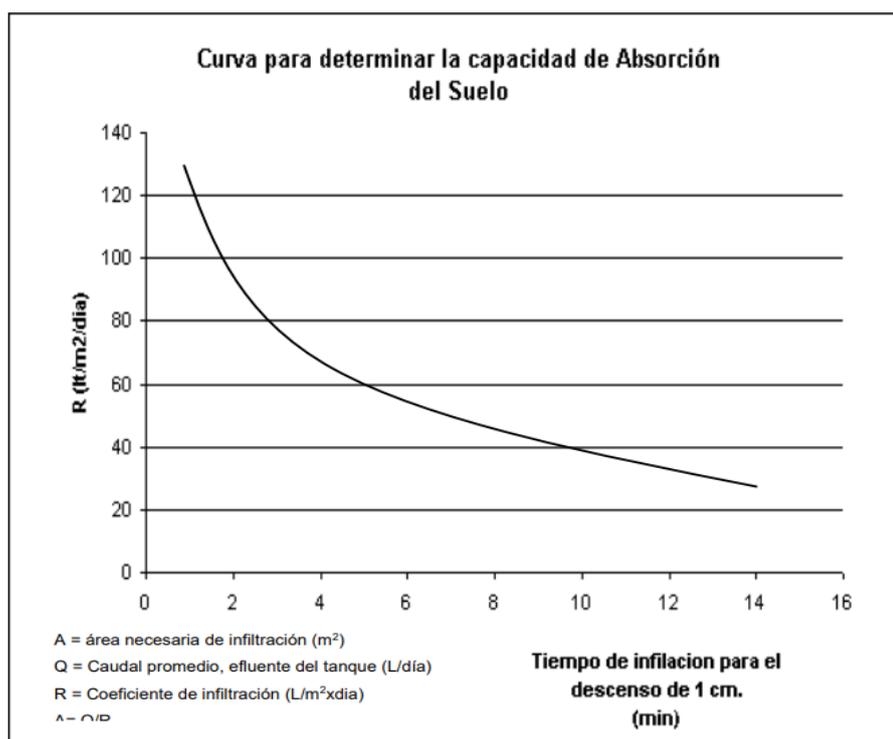
Para el diseño de zanja de percolación se planteó de acuerdo a la configuración y necesidad y los datos de infiltración de la zona de estudio, para la elección del sistema de saneamiento, se ha tomado en consideración la funcionalidad y disposición final de excretas, buscando que tasa de contaminación y vertimiento a las aguas subterráneas y al medio ambiente sea mínima, obteniéndose un coeficiente de infiltración en min/cm. Además, se consideró la densidad de viviendas de zonas de expansión noroeste de la

ciudad de Juliaca y la dotación para la zona. Estos valores son 6 hab/viv y 50 lts/hab/día. Con los parámetros antes mencionados se procede a calcular las dimensiones de la zanja de absorción, teniendo en consideración los parámetros establecidos en la norma I.S – 020 y “Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos Saneamiento Básico en el Ámbito Rural, a Nivel de Perfil.”

El cálculo de la dimensión de zanja percolador también requiere el coeficiente de infiltración cuyo dato se determinó con el uso de la siguiente curva proporcionada por la norma IS.020.

Figura 33

Curva para determinar el coeficiente de infiltración, en función al tiempo de infiltración.



Fuente: RNE IS.020.

- *El procedimiento del cálculo se muestra en Anexo D, teniendo como referencia la norma IS.020.



Cabe aclarar que los métodos tratados en los ítems 3.5.2. y 3.5.3. surge debido a que en los resultados presentados en el ítem 4.1 existe alto grado de concentración de contaminantes de origen fecal o heces humanos, los cuales son efecto del uso de letrinas artesanales y disposición descontrolada de aguas servidas por falta de implementación de sistemas de saneamiento; por ello se plantea la implementación de UBS de tipo compostera seca con zanja de percolación; se elige este sistema de saneamiento por su bajo nivel de descarga de contaminantes en el subsuelo y fácil funcionamiento, además de no requerir agua para su operación.

Posterior a los cálculos de dimensión requerida de zanja de percolación se elaboró planos en AutoCAD como se muestra en Anexo E, con sus respectivos detalles de funcionamiento.

3.6. MÉTODO DE ELABORACIÓN PRESUPUESTAL.

Después de la elaboración de planos se procedió a elaborar el presupuesto con el uso del software Delphin Express. Mediante Análisis de precios unitarios, teniendo como referencia los rendimientos, incidencia de materiales, equipos y herramientas de CAPECO y de acuerdo a la “RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 350-2021-VIVIENDA, donde Aprueban los Valores Unitarios Oficiales de Edificación para las localidades de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao, la Costa, la Sierra y la Selva, vigentes para el Ejercicio Fiscal 2022” a los precios de mercado.

a) Definición de partidas

Se definió las partidas de acuerdo a las actividades requeridas según orden de ejecución y características de cada componente, en este caso se planteó dos componentes de acuerdo a los planos.



b) Análisis de costos unitarios

Una vez definida las partidas se elaboró el análisis de costos unitarios de cada componente en el programa Delphin Express de acuerdo a la incidencia de mano de obra, materiales, equipos, herramientas y maquinarias necesarias para la ejecución de cada actividad; así como los precios de cada uno de estos insumos.

c) Metrado

El metrado se realizó por componentes de agua potable y saneamiento con el uso de tablas en el programa de Microsoft Excel cuantificando cada partida de acuerdo a las dimensiones y cantidades planteadas en los planos; estos metrados se introdujeron a al Delphin Express.

d) Presupuesto

El presupuesto para ambos componentes ha sido obtenida una vez culminado el ingreso de metrados, cuyo desarrollo se muestra en el Anexo I.1, así mismo el resumen y análisis de muestra en el siguiente capítulo.

Finalmente se determina su ratio presupuestal por la cantidad de personas beneficiadas, con el uso de la siguiente fórmula.

$$\text{Ratio (Costo por Persona)} = \frac{\text{Presupuesto total}}{\text{Personas Beneficiadas}}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los valores de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos han sido analizados en laboratorios microbiológicos y laboratorio fisicoquímico respectivamente, conforme a lo reportado por BHIOS laboratorios se tiene los resultados siguientes:

- **Caracterización Microbiológica**

Tabla 14

Resultados del análisis en laboratorio microbiológico.

Lab	Determinación	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	Unidades
MB	OVL-Nemátodos (Cuantificación)*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Org./L
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)**	7.8	7.6	6.4	4.6	4.3	4.1	3.9	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes totales**	22000	21000	19900	16400	14900	10154	11623	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales**	7.8	7.6	6.9	4.1	4.5	4	3.4	NMP/100mL
MB	Recuento de Microorganismos Heterótrofos	980	980	951	862	884	642	721	ufc/mL
MB	OVL-Protozoarios (Cuantificación)*	258270	257450	211222	202537	208614	124708	130281	Org./L
MB	OVL-Algas (Cuantificación)*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Org./L
MB	Larvas de Helmintos (Cuantificación 1L)*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Org./L
MB	Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L)*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Quistes/L
MB	Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L)*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Huevos/L
MB	OVL-Rotíferos (Cuantificación)*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Org./L
MB	OVL-Copépodos (Cuantificación)*	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Org./L

Fuente: BHIOS Laboratorios.



El agua subterránea evaluada en el presente trabajo de investigación presenta características microbiológicas no aptas para el consumo humano, puesto que según el contraste realizado en el Anexo B, los valores superan en Recuento de Microorganismos Heterótrofos, Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales, Numeración de Escherichia coli (NMP) y OVL-Protozoarios (Cuantificación) a los “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA.”

A opinión del autor, la alta presencia de contaminantes microbiológicos ocurre debido a que los puntos de descarga de aguas servidas y heces humanas (letrinas improvisadas) se encuentran muy cercanos a los puntos de captación de aguas subterránea para consumo humano, además estas aguas servidas y liquido de heces percolan en el subsuelo sin ningún tipo de tratamiento previo, por lo que se requiere implementar un sistema de saneamiento unifamiliar para eliminar fuentes de contaminación antrópica además de implementar un sistema de potabilización que elimine los contaminantes microbiológicos.

• **Caracterización Físico – Químico**

Tabla 15

Resultados del análisis en laboratorio fisicoquímico.

Lb	Determinación	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	Unidades
FQ	Cloro Libre (Cl ₂)*	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	mg/L
FQ	Turbidez*	0.27	0.18	0.16	0.16	0.19	0.14	0.13	NTU
FQ	Sólidos Disueltos Totales	594	174	140	142	151	135	108	mg/L
FQ	Sabor*	Característico al producto, libre de sabores extraños.	---						
FQ	pH**	7.3	7.1	7.2	7.1	7.3	7.1	7.2	U de pH
FQ	Sensorial Olor*	Característico al producto, libre de olores extraños.	---						
FQ	Nitrógeno (Amoniac) (NH ₃ -N)*	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	mg/L
FQ	Dureza Total (como CaCO ₃)	381.22	380.14	371.26	362.95	351.84	254.86	302.63	mg/L
FQ	Conductividad (25°C)	1025	1015	984	928	954	861	280	μS/cm
FQ	Cloro Total (Cl ₂)*	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	mg/L
FQ	Cianuro Total*	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	mg/L
FQ	Color*	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	U de color

Fuente: BHIOS Laboratorios.

• **Metales Totales**

Tabla 16

Resultados del análisis de metales totales.

Lb	Determinación	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	Unidades
FQ	Ag (Plata)*	0.00041	0.00039	0.00028	0.00021	0.00019	0.00012	0.0001	mg/L
FQ	Al (Aluminio)*	0.08	0.07	0.066	0.068	0.056	0.04	0.044	mg/L
FQ	As (Arsénico)*	0.13466	0.13586	0.14652	0.15351	0.13148	0.12694	0.11573	mg/L
FQ	B (Boro)*	0.311	0.314	0.254	0.263	0.198	0.153	0.209	mg/L
FQ	Ba (Bario)*	0.0908	0.0912	0.0891	0.0904	0.0537	0.0484	0.0441	mg/L
FQ	Be (Berilio)*	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	mg/L
FQ	Bi (Bismuto)*	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	mg/L
FQ	Ca (Calcio)*	96.83	93.52	89.62	80.61	78.17	69.29	69.54	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)*	0.00002	0.00006	0.00006	0.00007	0.00005	0.00006	0.00003	mg/L



Lb	Determinación	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	Unidades
FQ	Ce (Cerio)*	0.00006	0.00008	0.00008	0.00009	0.00005	0.00004	0.00004	mg/L
FQ	Co (Cobalto)*	0.00011	0.00014	0.00015	0.00018	0.00016	0.00057	0.00012	mg/L
FQ	Cr (Cromo)*	0.00078	0.00071	0.00076	0.00082	0.00076	0.00024	0.00027	mg/L
FQ	Cs (Cesio)*	0.00024	0.00024	0.00027	0.00031	0.00027	0.00019	0.00031	mg/L
FQ	Cu (Cobre)*	0.003	0.004	0.006	0.007	0.006	0.004	0.003	mg/L
FQ	Fe (Hierro)*	0.012	0.009	0.005	0.006	0.005	0.006	0.002	mg/L
FQ	Hg (Mercurio)*	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/L
FQ	K (Potasio)*	16	14	14.5	15.12	14.57	13.23	11.4	mg/L
FQ	Li (Litio)*	0.04149	0.04047	0.04174	0.04356	0.03971	0.03246	0.03022	mg/L
FQ	Mg (Magnesio)*	33.55	31.42	33.41	34.01	32.1	30.52	25.14	mg/L
FQ	Mn (Manganeso)*	0.0006	0.0005	0.0006	0.0005	0.0004	0.0004	0.0002	mg/L
FQ	Mo (Molibdeno)*	0.00246	0.00235	0.00243	0.00221	0.00253	0.00289	0.00188	mg/L
FQ	Na (Sodio)*	60.75	59.19	58.29	49.86	41.58	44.52	30.23	mg/L
FQ	Ni (Niquel)*	0.0004	0.0006	0.0009	0.0009	0.0008	0.0006	0.0006	mg/L
FQ	P (Fosforo)*	0.08	0.1	0.1	0.9	0.89	0.91	0.53	mg/L
FQ	Pb (Plomo)*	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0003	mg/L
FQ	Sb (Antimonio)*	0.00026	0.00022	0.00028	0.00031	0.00036	0.00028	0.00024	mg/L
FQ	Se (Selenio)*	0.0008	0.0006	0.0005	0.0004	0.0005	0.0009	0.0004	mg/L
FQ	Si (Silicio)*	26.47	22.57	18.98	17.22	13.89	14.23	11.04	mg/L
FQ	Sn (Estaño)*	0.00031	0.00033	0.00041	0.00039	0.00031	0.00052	0.00023	mg/L
FQ	Sr (Estroncio)*	1.709	1.598	1.429	1.358	1.162	1.109	1.004	mg/L
FQ	Ti (Titanio)*	0.0004	0.0009	0.0008	0.0009	0.0007	0.0006	0.0004	mg/L
FQ	Tl (Talio)*	0.00004	0.00002	0.00001	0.00001	0.00002	0.00004	0.00003	mg/L
FQ	U (Uranio)*	0.00875	0.00865	0.00842	0.00835	0.00724	0.00781	0.00581	mg/L
FQ	V (Vanadio)*	0.0217	0.0245	0.0356	0.0399	0.0381	0.0293	0.0271	mg/L
FQ	Zn (Zinc)*	0.007	0.005	0.006	0.008	0.006	0.007	0.004	mg/L

Fuente: BHIOS Laboratorios.

- **Aniones oxihálidos**

Tabla 17

Resultados del análisis de aniones oxihálidos.

Lab	Determinación	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	Unidades
FQ	Clorato (ClO ₃)*	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	mg/L
FQ	Clorito (ClO ₂)*	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	mg/L

Fuente: BHIOS Laboratorios.

- **Aniones**

Tabla 18*Resultados del análisis de aniones.*

Lab	Determinación	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	Unidades
FQ	Cloruro (Cl ⁻)*	44.42	41.48	38.28	37.48	32.89	30.95	22.4	mg/L
FQ	Fluoruro (F ⁻)*	0.23	0.25	0.27	0.3	0.48	0.48	0.4	mg/L
FQ	Nitrato (NO ₃ ⁻)*	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	mg/L
FQ	Nitrito (NO ₂ ⁻)*	0.051	0.047	0.043	0.042	0.051	0.06	0.038	mg/L
FQ	Sulfato (SO ₄ ⁻²)*	142.93	136.41	161.61	168.21	157.31	120.41	102.4	mg/L

Fuente: BHIOS Laboratorios.

El agua subterránea evaluada presenta características fisicoquímicas no aptas para el consumo humano, puesto que de acuerdo a la evaluación los parámetros se encuentran fuera del rango permitido establecido por la DIGESA como se adjunta en el contraste de datos realizados en el Anexo B.

En el caso metales pesados en la totalidad de las muestras el Arsénico supera el límite máximo permisible; esto confirma los antecedentes y estudios realizados anteriormente con referente a metales pesados en aguas subterráneas, además de ser concordante con otros estudios realizados en el ámbito local donde también hallaron la presencia de Arsénico como se indica en los antecedentes, confirmando que el consumo de agua de fuente subterránea sin tratamiento en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca es altamente perjudicial para la salud humana.

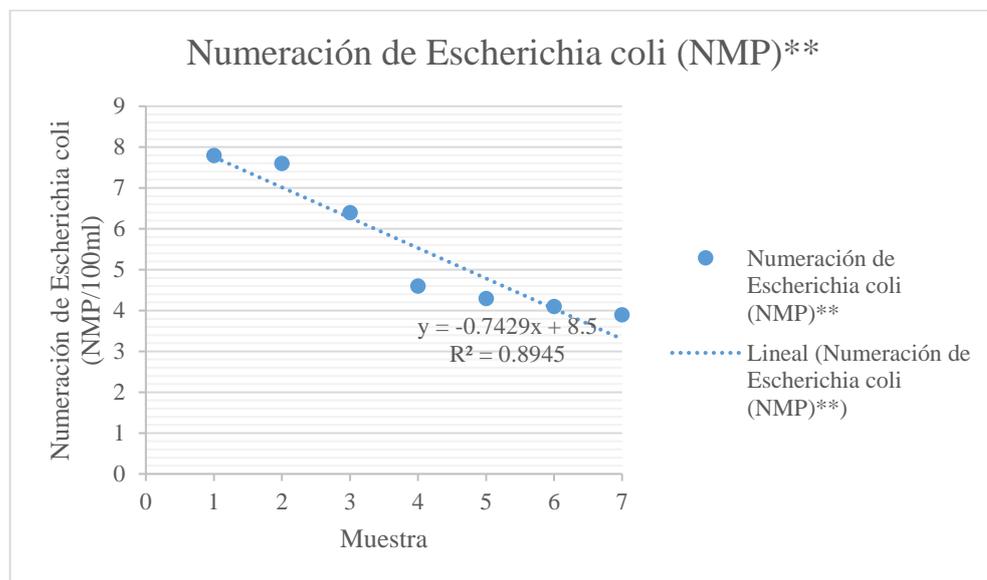
Por otro lado, de acuerdo al contraste de valores en el Anexo B, el contenido de cloro libre es muy bajo para garantizar la potabilidad de las aguas subterráneas.

4.2. REPRESENTACIÓN GRAFICA DE LOS RESULTADOS

Después de lo observado los resultados del contraste realizado en el Anexo B, se procede a dar especial atención e importancia a aquellos parámetros que no cumplen con el requisito de potabilidad de las aguas subterráneas por ello se procede a graficar mediante dispersión y posteriormente con barras comparando con los límites máximos permisibles.

Figura 34

Dispersión de numeración de Escherichia coli.

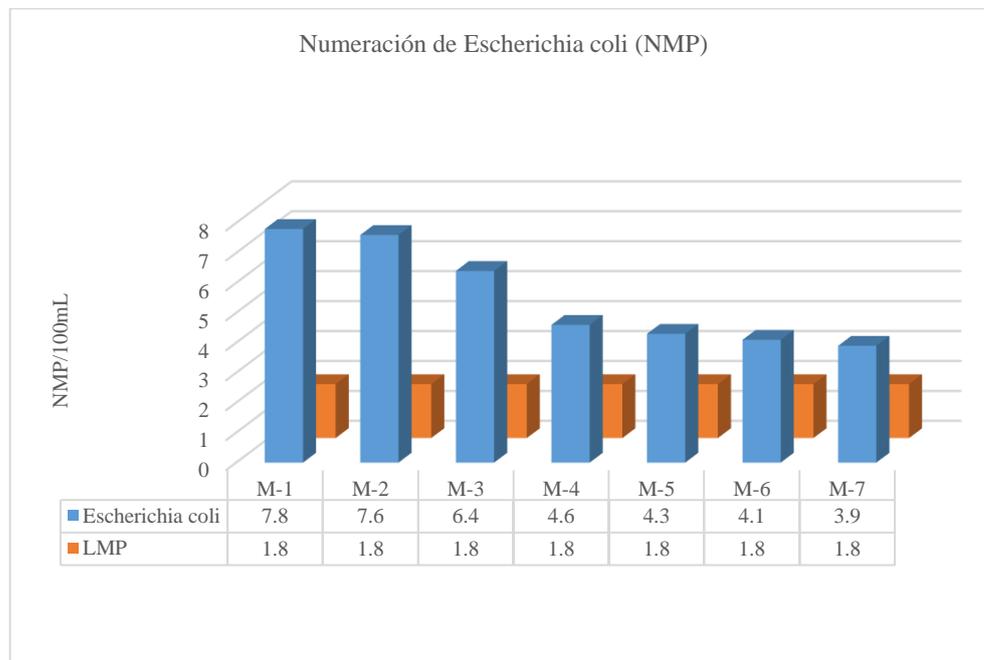


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 34 se aprecia la dispersión del número más probable por 100 mililitros de presencia de Escherichia coli de las 7 muestras de las aguas subterráneas de las zonas expansivas de la zona noroeste de la ciudad de Juliaca, donde de acuerdo al orden los puntos muestreados se comporta de manera descendente mostrando considerables variabilidad de los datos que oscilan entre 3.9 y 7.8, esto indica los diferentes grados de concentración de Escherichia coli en cada punto.

Figura 35

Comparación de numeración de Escherichia coli.

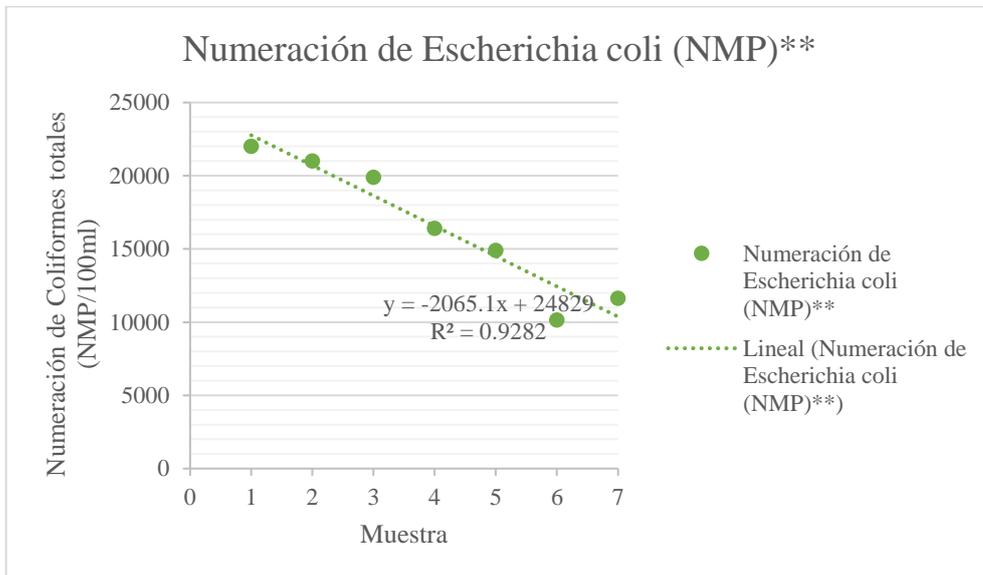


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 35 se aprecia que el número más probable por 100 mililitros de presencia de Escherichia coli es muy superior a los límites máximos permisibles de potabilidad de aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca, siendo esta como máximo 1.8 NMP/100mL. Por lo que se requiere tratamientos de filtración y desinfección para lograr su potabilización.

Figura 36

Dispersión de numeración de coliformes totales.

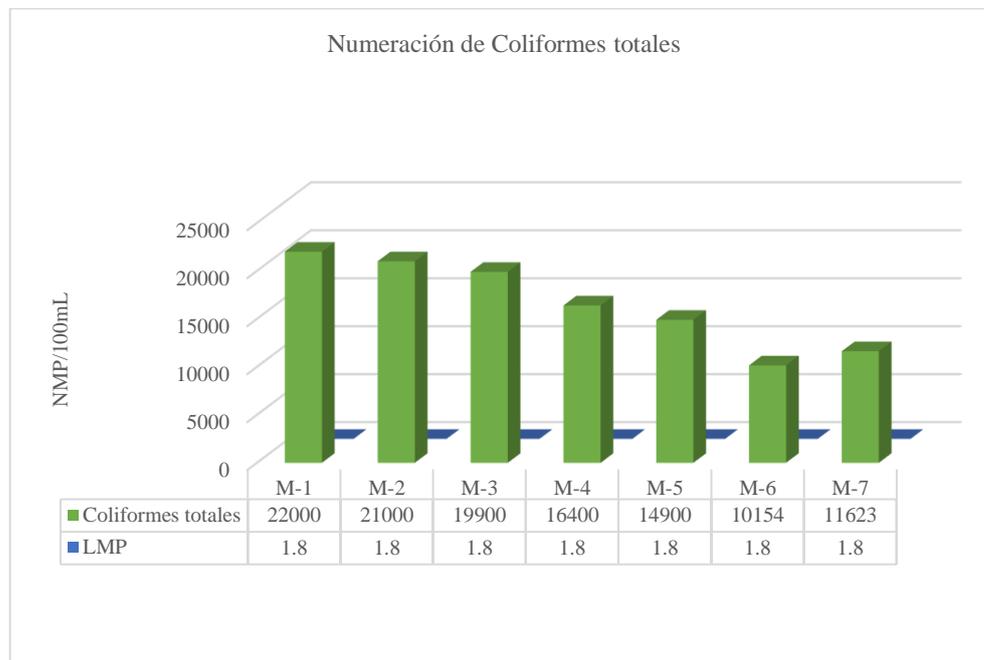


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se aprecia la dispersión de numeración de coliformes totales de las 7 muestras de las aguas subterráneas de las zonas expansivas del norte de la ciudad de Juliaca, donde de acuerdo al orden los puntos muestreados se comporta de manera descendente mostrando considerable variabilidad de los valores que oscilan entre 22000 y 10154, esto indica los diferentes grados de contaminación en cada punto.

Figura 37

Comparación de numeración de coliformes totales

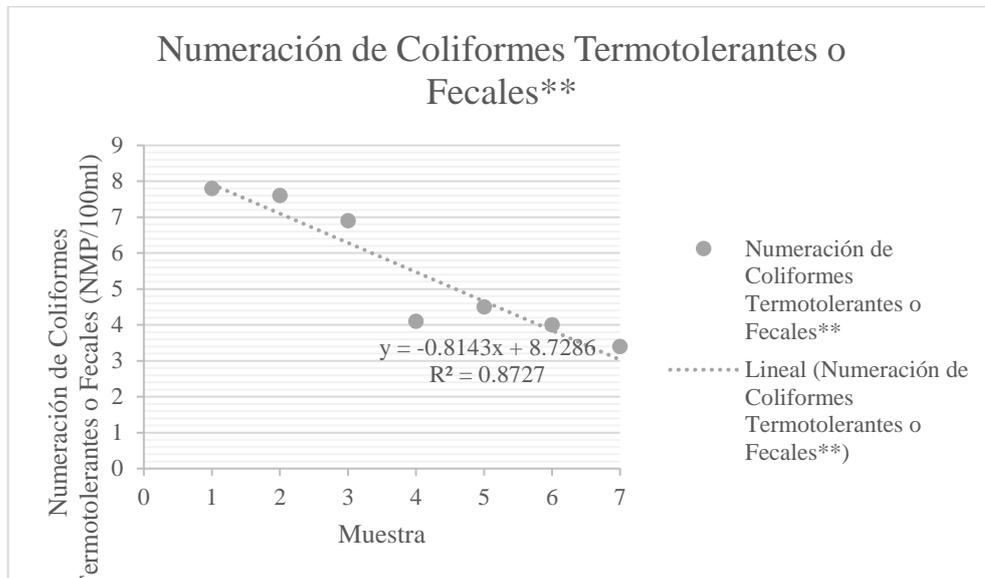


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 se aprecia que el número más probable por 100 mililitros de presencia de coliformes totales es tremendamente superior a los límites máximos permisibles de potabilidad de aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca, siendo esta como máximo 1.8 NMP/100mL. Por lo que se requiere tratamientos de filtración y desinfección para lograr su potabilización.

Figura 38

Dispersión de Coliformes termotolerantes o fecales.

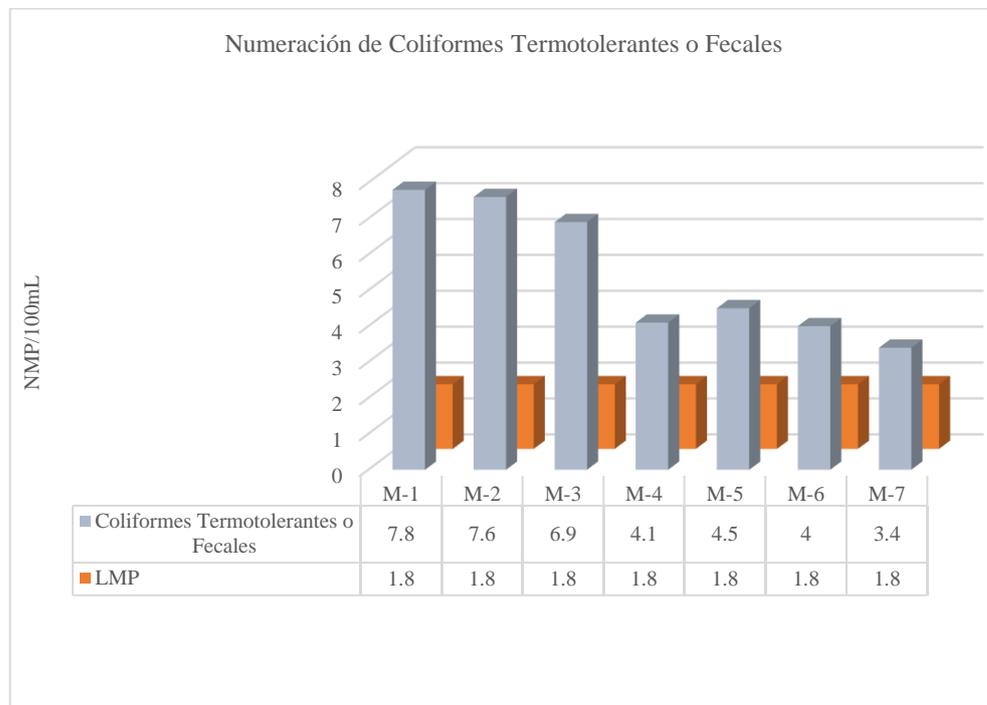


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 38 se aprecia la dispersión de Coliformes termotolerantes o fecales de las 7 muestras de las aguas subterráneas de las zonas expansivas del norte de la ciudad de Juliaca, donde de acuerdo al orden los puntos muestreados se comporta de manera descendente mostrando considerable variabilidad de los datos que oscilan entre 7.8 y 3.4, esto indica los diferentes grados de contaminación en cada punto, dando a entender que de ninguna manera se puede tomar como referencia un solo punto de muestreo.

Figura 39

Comparación de Coliformes termotolerantes o fecales.

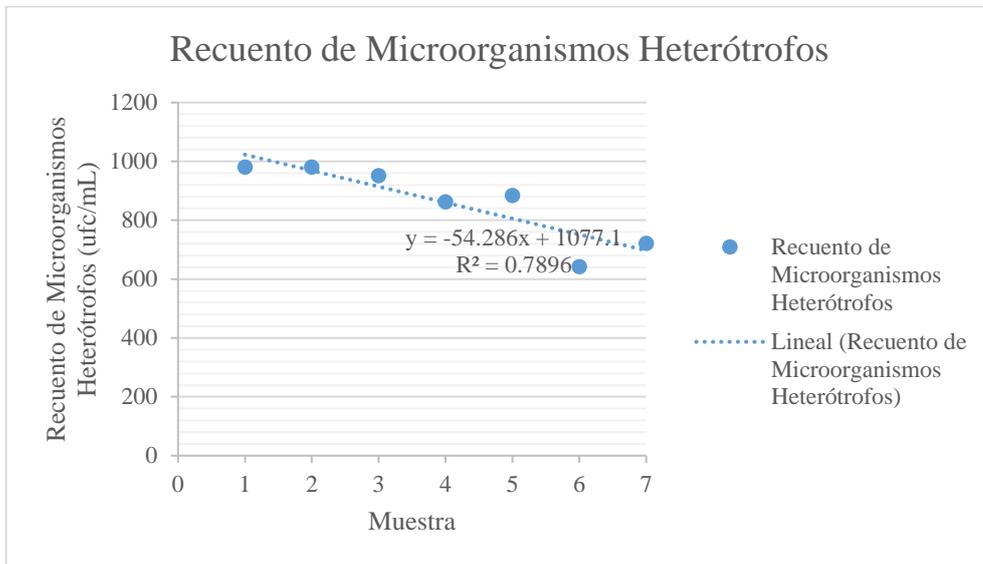


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 39 se aprecia que el número más probable por 100 mililitros de presencia de Coliformes termotolerantes o fecales despunta a los límites máximos permisibles de potabilidad de aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca, siendo esta como máximo 1.8 NMP/100mL. Por lo que se requiere tratamientos de filtración y desinfección para lograr su potabilización.

Figura 40

Dispersión de Microorganismos Heterótrofos.

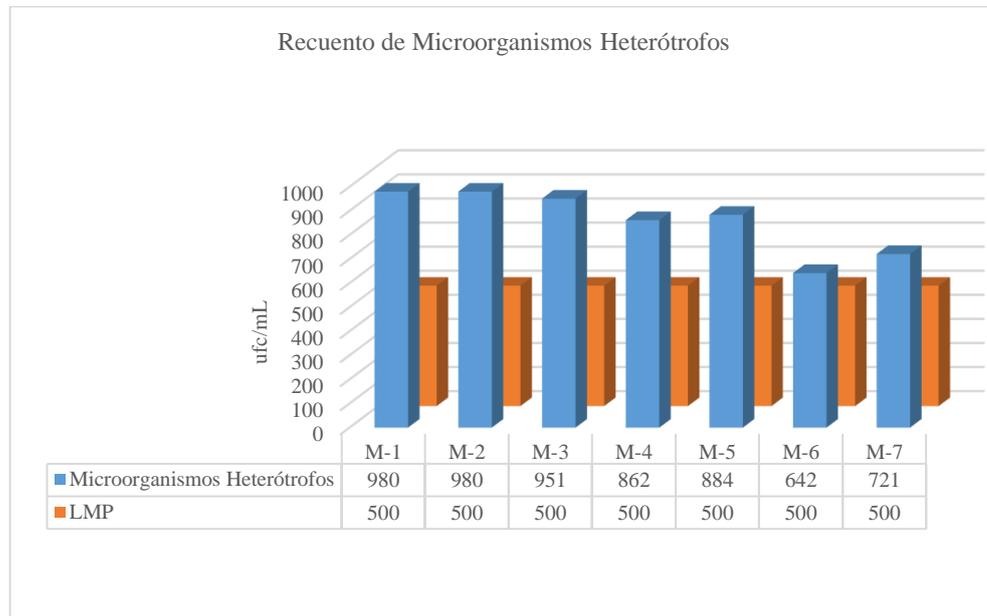


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40 se aprecia la dispersión de Microorganismos Heterótrofos de las 7 muestras de las aguas subterráneas de las zonas expansivas del norte de la ciudad de Juliaca, donde de acuerdo al orden los puntos muestreados se comporta de manera descendente mostrando considerable variabilidad de los datos que oscilan entre 980 y 721, esto indica los diferentes grados de contaminación en cada punto, dando a entender que de ninguna manera se puede tomar como referencia un solo punto de muestreo.

Figura 41

Comparación de Microorganismos Heterótrofos.

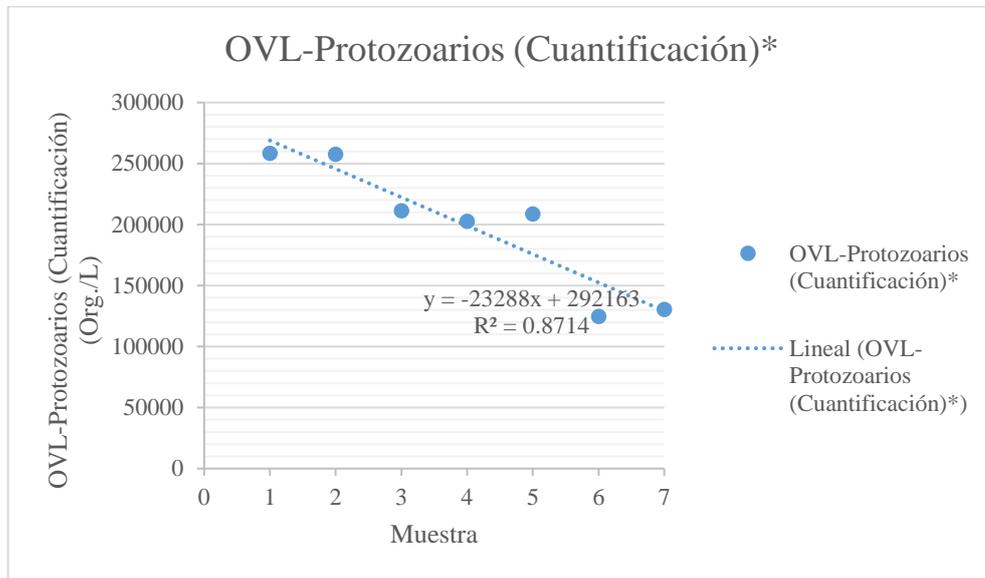


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 41 se aprecia que las unidades formadoras de colonia por mililitro de Microorganismos Heterótrofos en las 7 muestras supera los límites máximos permisibles considerados para la potabilidad de aguas subterráneas de zonas de expansión de la ciudad de Juliaca debiendo ser menores de 500 ufc/mL. Por lo que la población de agua muestreada es no-potables; para lograr la inocuidad se debe someter a tratamientos de filtración y desinfección.

Figura 42

Dispersión de Organismos por litro de OVL-Protozoarios.

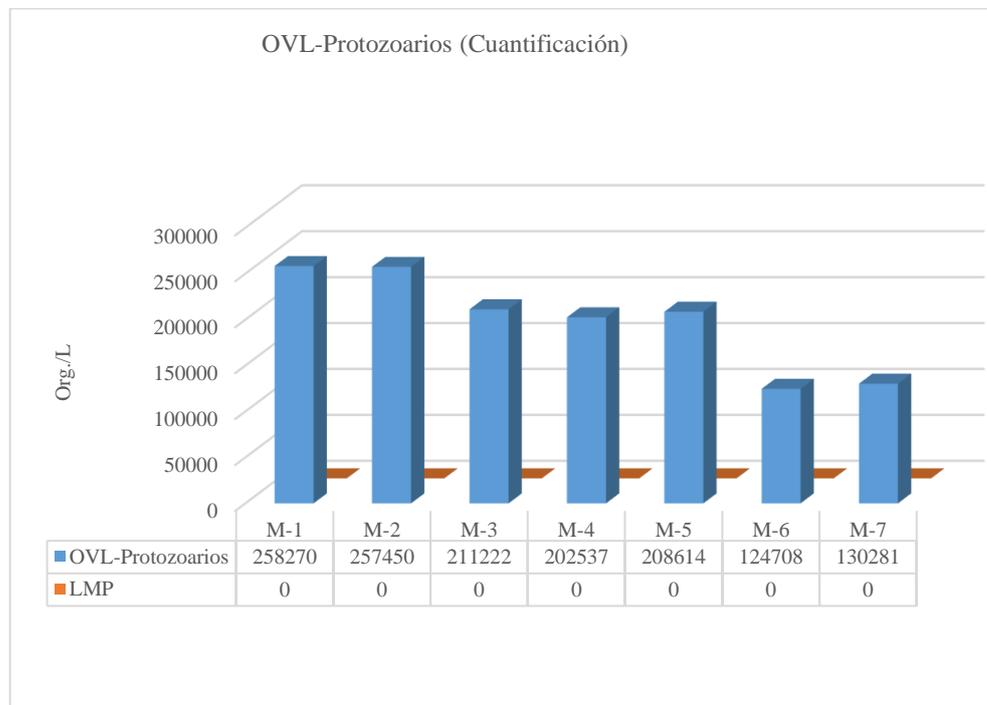


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42 se aprecia la dispersión de Organismos por litro de OVL-Protozoarios de las 7 muestras de las aguas subterráneas de las zonas expansivas del norte de la ciudad de Juliaca, donde de acuerdo al orden los puntos muestreados se comporta de manera descendente mostrando considerable variabilidad de los datos que oscilan entre 258270 y 124708, esto indica los diferentes grados de contaminación en cada punto, dando a entender que de ninguna manera se puede tomar como referencia un solo punto de muestreo.

Figura 43

Comparación de Organismos por litro de OVL-Protozoarios.

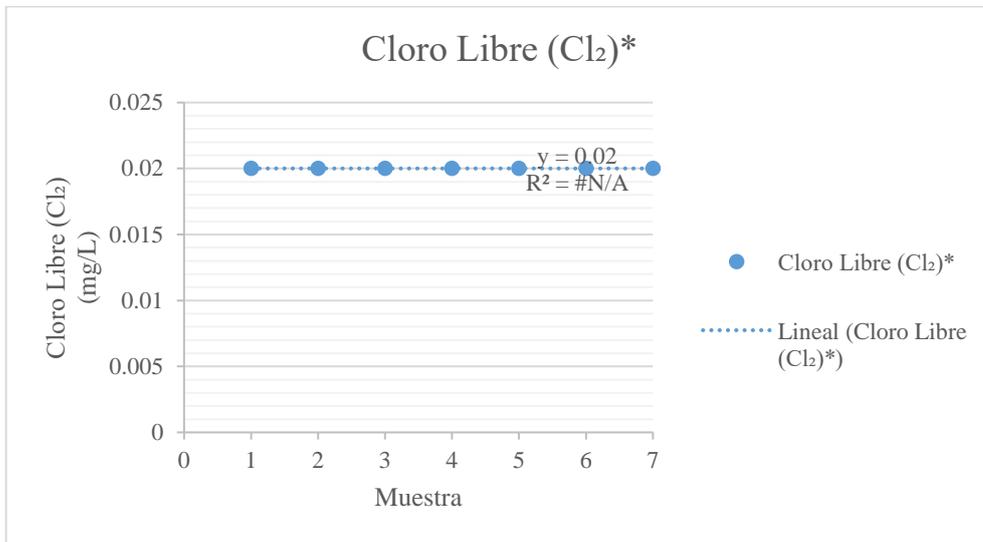


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43 se aprecia que los Organismos por litro de OVL-Protozoarios son muy altos en las 7 muestras; sin embargo el límite máximo permisible considerado para potabilidad de aguas subterráneas en las zonas de expansión de la ciudad de Juliaca debe ser nulo. Por lo que no es potable y para lograrlo se debe someter a tratamientos de filtración y desinfección.

Figura 44

Dispersión de Cloro Libre (Cl₂)

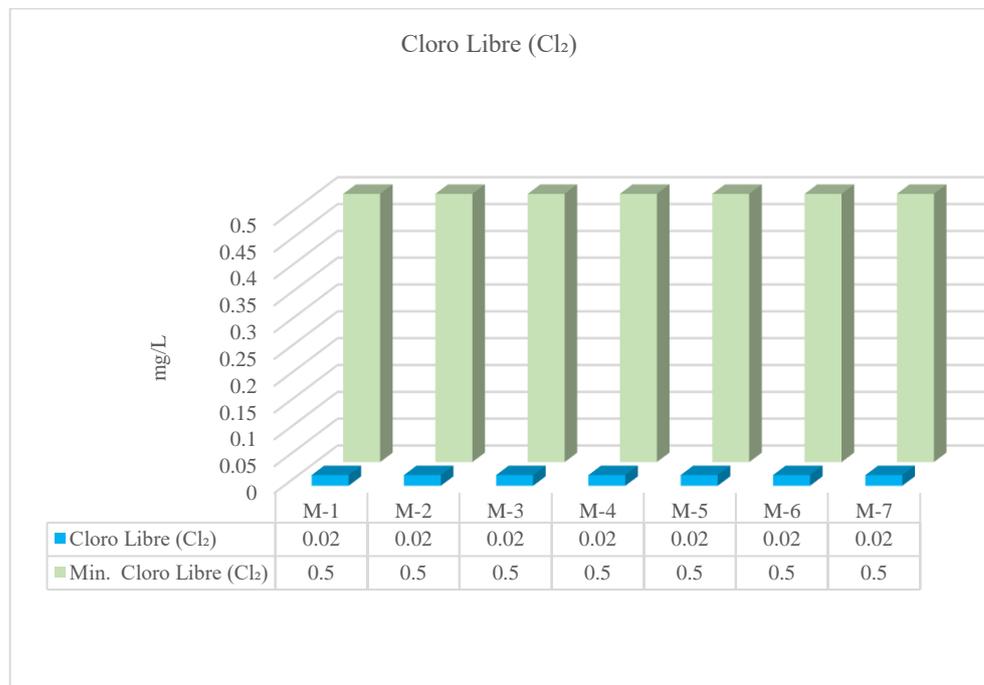


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 45 se aprecia la dispersión de Cloro Libre (Cl₂) de las 7 muestras de las aguas subterráneas de las zonas expansivas del norte de la ciudad de Juliaca, donde de acuerdo al orden los puntos muestreados se comportan de manera similar, esto indica la que hay un déficit de cloro dando lugar a la existencia de contaminantes microbiológicos.

Figura 45

Comparación de Cloro Libre (Cl₂)



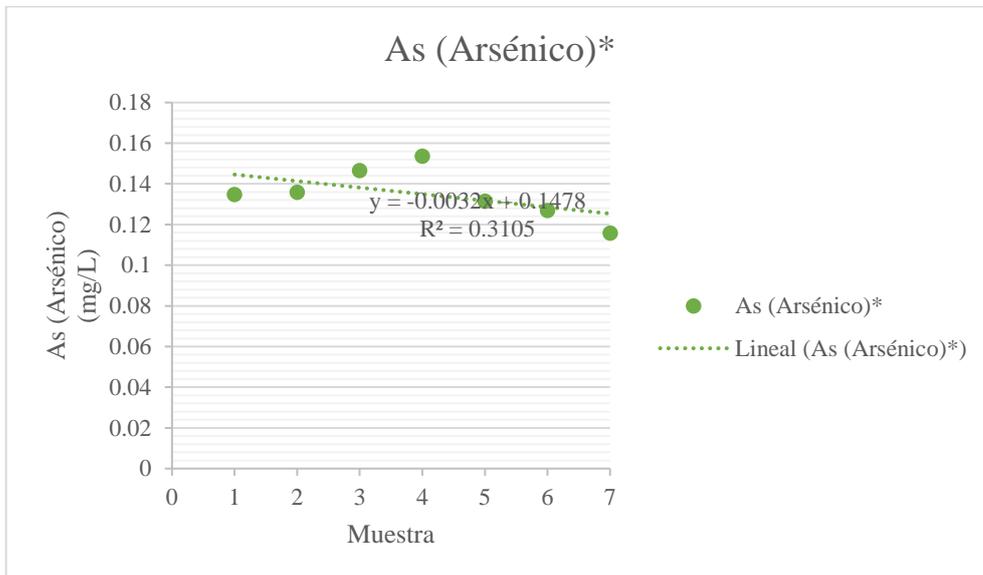
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45

Comparación de Cloro Libre (Cl₂) se aprecia que la cantidad de miligramos por litro de presencia de Cloro Libre (Cl₂) es muy inferior a lo requerido para garantizar la potabilidad de aguas subterráneas en las zonas de expansión de la ciudad de Juliaca. Lo cual en su ausencia crea más posibilidades de presencia de microorganismos por lo que para garantizar la potabilidad es muy importante el uso de Cloro (Cl₂) como desinfectante.

Figura 46

Dispersión de contenido de arsénico.

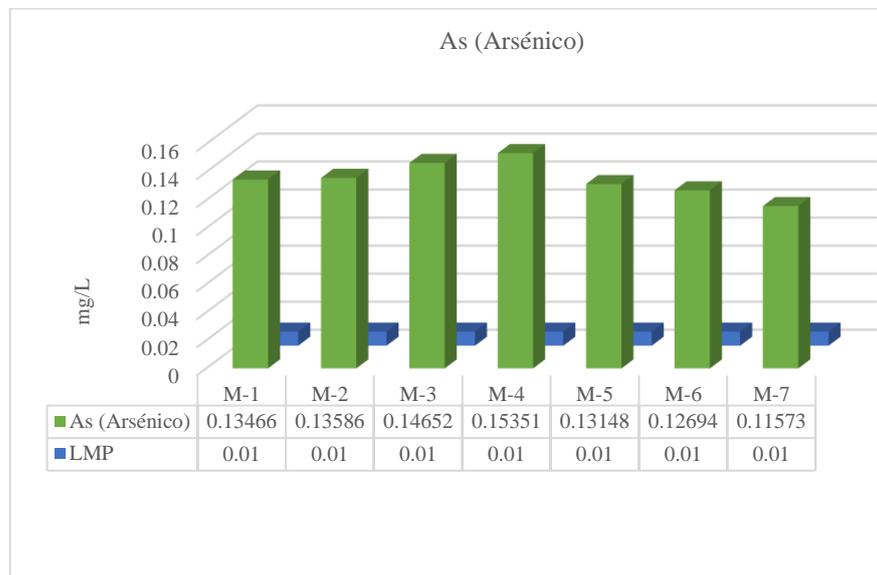


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 46 se aprecia la dispersión de arsénico de las 7 muestras de las aguas subterráneas de las zonas expansivas del norte de la ciudad de Juliaca, donde de acuerdo al orden los puntos muestreados se comporta inicialmente de forma ascendente hasta llegar al máximo en el cuarto punto de muestreo y mostrando su valor mínimo en el séptimo punto de muestreo, esto indica la variabilidad de los grados de contaminación en cada punto, dando a entender que de ninguna manera se puede tomar como referencia un solo punto de muestreo.

Figura 47

Comparación de contenido de arsénico.



Fuente: Elaboración propia.

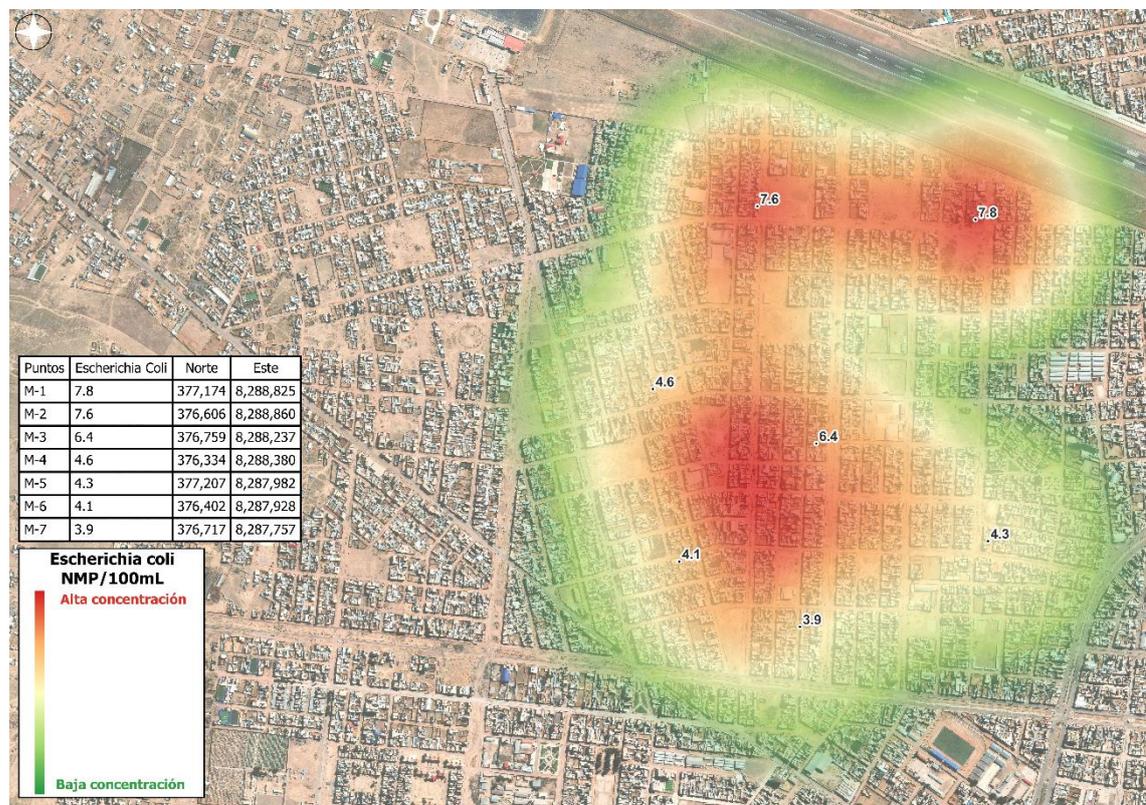
En la Figura 47 se aprecia que la cantidad de miligramos por litro de presencia de Arsénico (As) muy superior a los límites máximos permisibles requeridos para garantizar la potabilidad de aguas subterráneas en las zonas de expansión de la ciudad de Juliaca. Lo cual con su presencia genera riesgos altos en enfermedades como cáncer y lesiones cutáneas, también se ha asociado a enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes; por lo que se requiere tecnología de alta categoría como son osmosis inversa, floculación coagulación para lograr la potabilización respectiva o caso contrario prohibir el consumo de estas aguas subterráneas y abastecer de otras fuentes a los usuarios.

4.3. REPRESENTACIÓN EN MAPAS DE CALOR DE LOS RESULTADOS

Como complemento de la presente investigación se analizó la distribución de los datos geográficamente con el uso del software QGIS, los cuales serán representados mediante mapas de calor de acuerdo a la concentración de contaminantes.

Figura 48

Representación de concentración de Escherichia coli



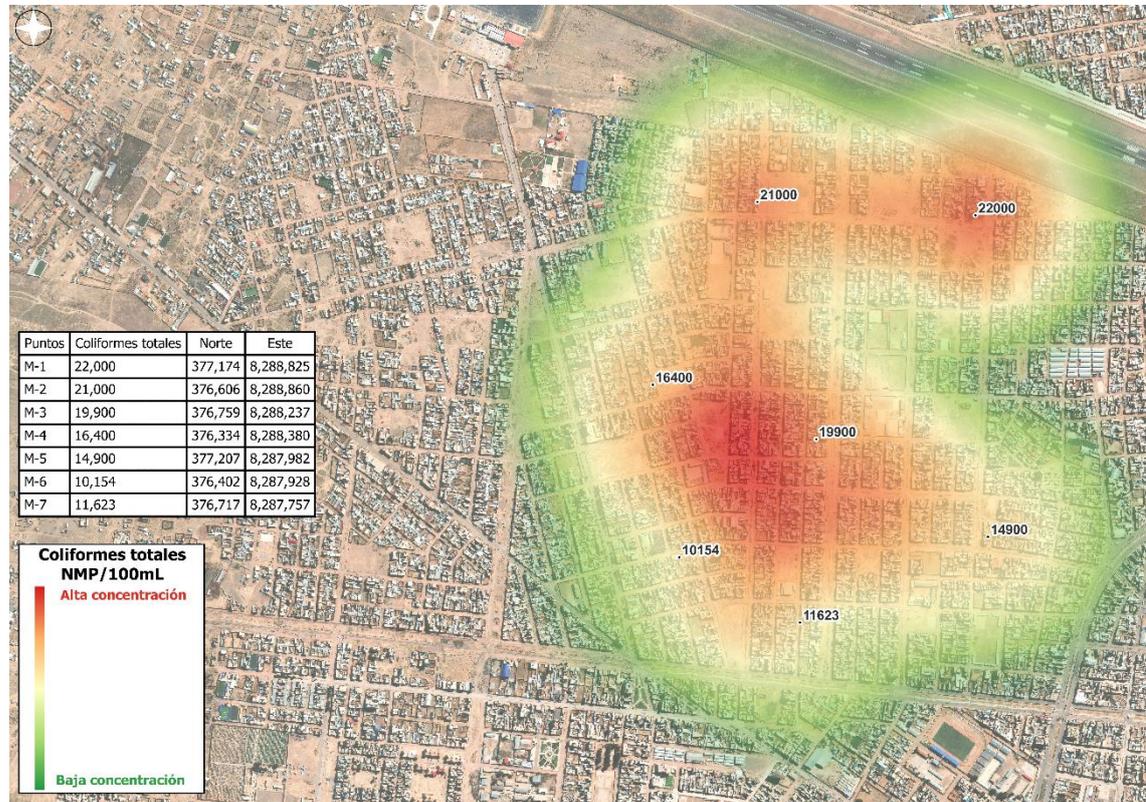
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 48 se aprecia la distribución geográfica del número más probable por 100 mililitros; donde la concentración de Escherichia coli de acuerdo al procesamiento de datos mediante modelos matemáticos empleando el método de elementos finitos de acuerdo a los puntos de muestreo con el software QGIS, en el cual se aprecia según el ámbito de alcance de muestra la concentración más alta se encuentra en alrededores al

punto de muestreo M-1 con 7.8 NMP/100mL.

Figura 49

Representación de concentración de Coliformes totales.

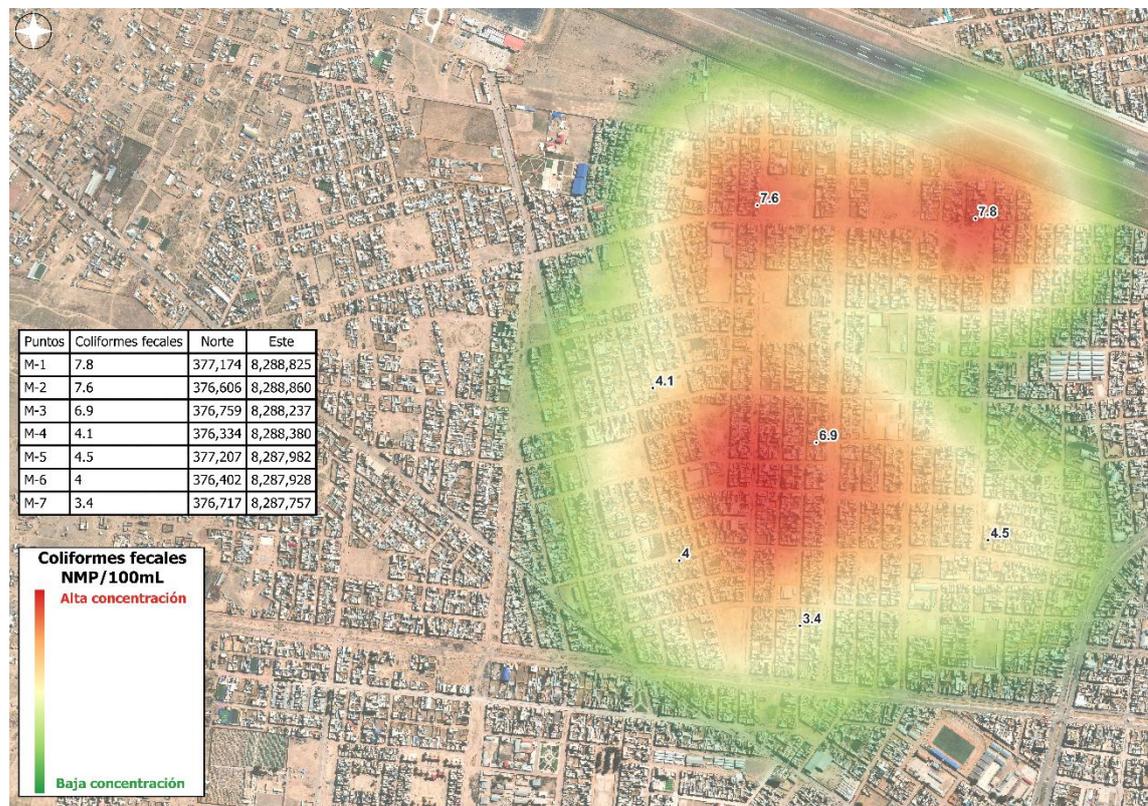


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 49 se aprecia la distribución geográfica del número más probable por 100 mililitros; donde la presencia de Coliformes totales se dispersa según el ámbito de alcance de muestra, la concentración más alta se localiza en cercanías al punto de muestreo M-1 con un valor de 22,000 NMP/100mL.

Figura 50

Representación de concentración de Coliformes Fecales.

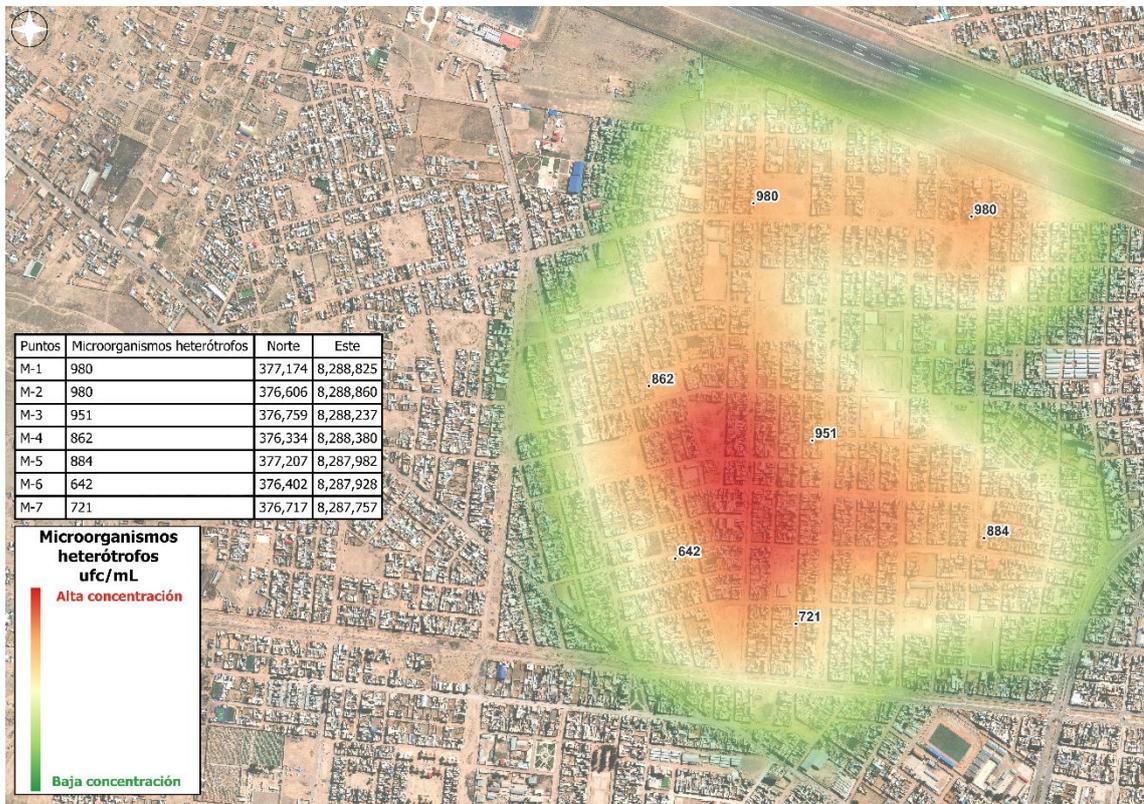


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 50 se aprecia la distribución geográfica del Número más probable por 100 mililitros; donde la presencia de Coliformes Fecales se dispersa según el ámbito de alcance de muestra, la concentración más alta se localiza en proximidades al punto de muestreo M-1 con 7.8 NMP/100mL.

Figura 51

Representación de concentración de Microorganismos Heterótrofos.

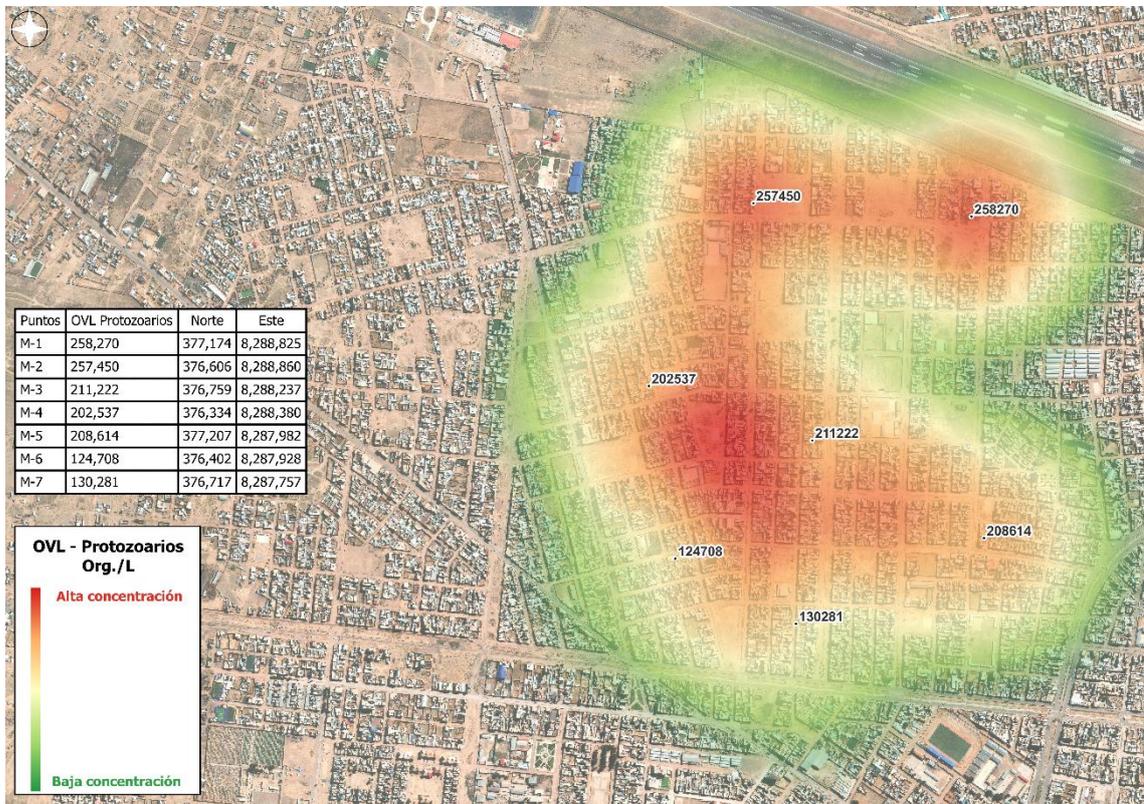


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 51 se aprecia la distribución geográfica de las Unidades Formadoras de colonias por mililitros; donde la presencia de Microorganismos Heterótrofos se extiende de acuerdo a los puntos de muestreo, en el cual se evidencia que de acuerdo al alcance de muestra, la concentración más alta se encuentra en cercanías al punto de muestreo M-1 con 980 ufc/mL.

Figura 52

Representación de concentración de OVL – Protozoarios.

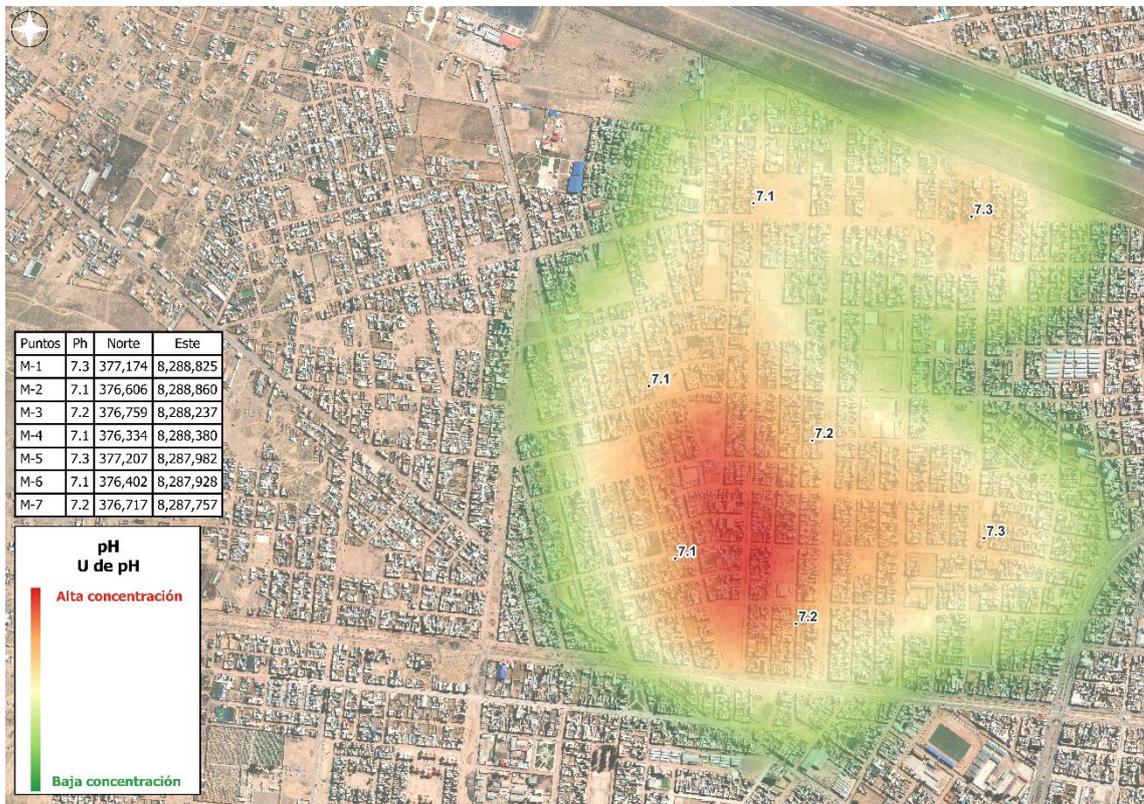


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52 se aprecia la distribución geográfica del Organismos por litro; donde la presencia de OVL – Protozoarios de acuerdo al procesamiento de datos de los puntos de muestreo, el cual se dispersa según el ámbito de alcance de muestra, la concentración más alta se localiza en cercanías al punto de muestreo M-1 con 258,270 Org./L.

Figura 53

Representación de concentración de PH.

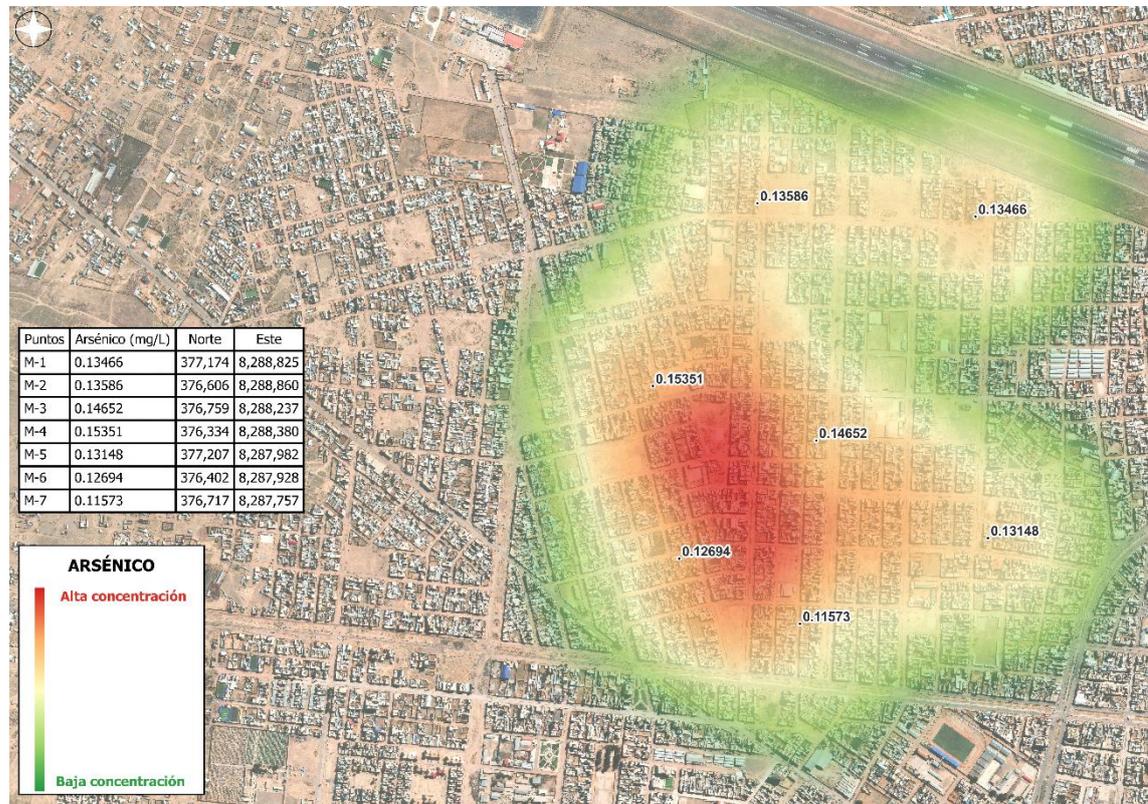


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 53 se aprecia la distribución geográfica que corresponde a la unidad de potencial de hidrógeno; donde la concentración de Potencial de Hidrogeno(PH) de acuerdo al procesamiento de datos extraídos de los puntos de muestreo, el cual se dispersa según el ámbito de alcance de muestra, la concentración más alta se encuentra en cercanías al punto de muestreo M-1 y M-5 con 7.3 U de PH.

Figura 54

Representación de concentración de Arsénico.

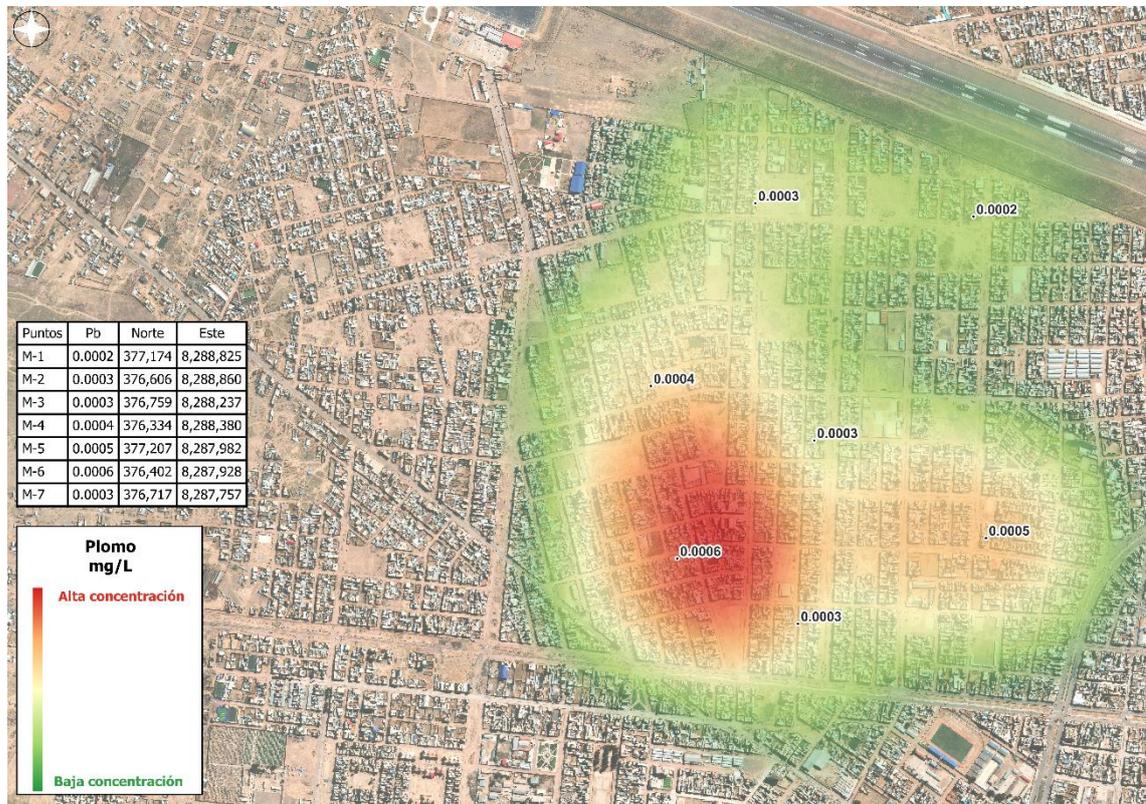


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 54 se aprecia la distribución geográfica de Arsénico en miligramos por litro; donde la concentración del mismo de acuerdo al procesamiento de datos extraídos de los puntos de muestreo, el cual se representa según el ámbito de alcance de muestra, la concentración más alta del metal pesado (As) se encuentra en cercanías a puntos M-3 y M-4 de muestreo con 0.14652 mg./L y 0.15351 mg./L respectivamente.

Figura 55

Representación de concentración de Plomo.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 55 se aprecia la distribución geográfica de Plomo en miligramos por litro; como resultado al procesamiento de datos, el cual se aprecia según el ámbito de alcance de muestra la concentración más alta del metal pesado (Pb) se encuentra en cercanías al punto de muestreo M-6 con 0.0003 mg./L.

Con el resultado del análisis se puede reafirmar lo que se señalan los autores citados en los antecedentes en el que varios coincidían sobre la contaminación de fuentes de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca y otras regiones; siendo el más común y perjudicial arsénico, seguido de contaminantes microbiológicos.



4.4. SISTEMA DE SANEAMIENTO BÁSICO UNIFAMILIAR

El presente sistema de tratamiento es un planteamiento para lograr la potabilización de aguas subterráneas necesarias acorde a los resultados del estudio realizado en laboratorio, el cual comprende los componentes de tratamiento que implica para poder alcanzar la potabilidad de aguas subterráneas en zonas periféricas o expansión de la ciudad de Juliaca.

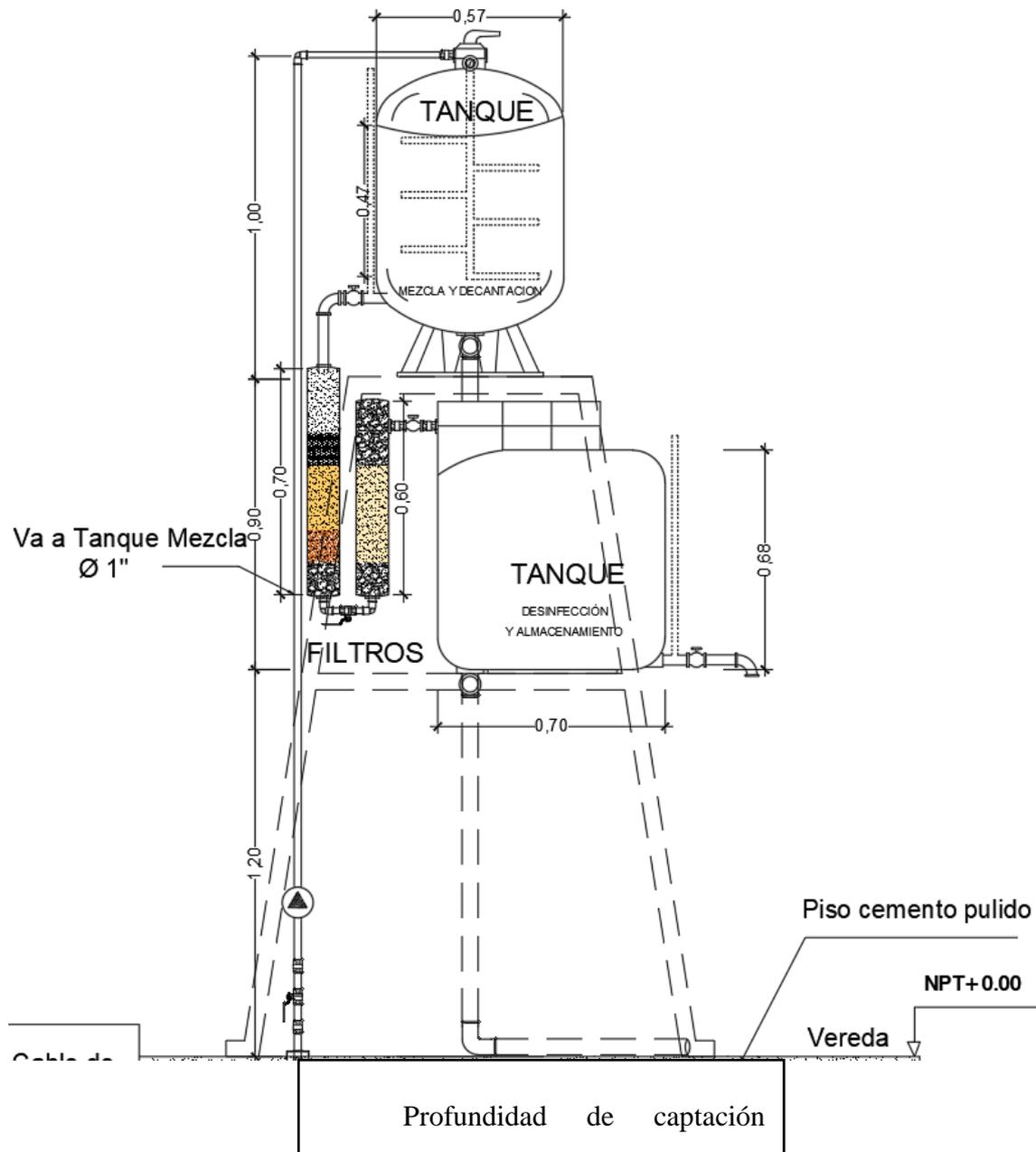
Este sistema parte desde la propuesta del sistema de potabilización unifamiliar de agua subterránea, además como complemento para evitar la permanente contaminación del recurso hídrico subterráneo, con aguas servidas de origen antrópico se plantea la implementación de UBS de tipo compostera seca con zanjas de percolación, para lo cual de acuerdo al procedimiento de la metodología se obtuvo los siguientes resultados y/o planteamientos.

4.4.1. Resultados del cálculo para potabilización de aguas subterráneas.

De acuerdo al grado y variedad de contaminantes que se requieren remover en referencia a los resultados de análisis de agua subterránea en laboratorio, se planteó y dimensionó el sistema de tratamiento de acuerdo a los procedimientos de la metodología, asimismo estas han sido desarrolladas en Anexo G; cuyo resultado está representado en la Figura 56, donde se aprecia la secuencia de tratamiento para lograr la potabilización, cabe aclarar que la profundidad del pozo considerado para el cálculo es de 15m.

Figura 56

Esquema de planta potabilizadora unifamiliar.



Fuente: Elaboración propia (Autocad)

a) Línea de impulsión.

El sistema de abastecimiento es mediante una tubería cuyo diámetro de 1", siendo



18.10m la diferencia de cotas desde el punto de captación y el punto de entrega, asimismo las características del equipo de bombeo es la siguiente:

Caudal de bombeo (Qbombeo)	0.14	lps
Altura dinámica Total (HDT) :	19.91	m
Potencia de electrobomba (Pot.):	0.50	HP
Eficiencia	63	%

*Los cálculos detallados se muestran en el Anexo G

b) Tanque de mezcla y decantación

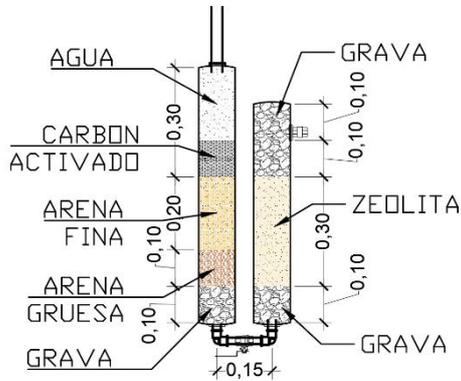
Mientras que el volumen del tanque de mezcla y decantación es de 125 litros (volumen y geometría comercial); en el que el proceso coagulación se realiza con paletas giratorias, cuya duración de mezcla es de 5 minutos y la remoción de Arsénico es de 30 minutos posterior a la mezcla, previa remoción de inyección de 5mg de Nanopartículas de Fe_3O_4 , el que es abastecida de una cámara de coagulante.

c) Filtros

Otro de los procesos de tratamiento es la filtración el cual está comprendida por dos filtrantes los cuales efectivizan la remoción de Arsénico y Contaminantes microbiológicos. Estos filtros tienen la configuración que se muestran en la Figura 57.

Figura 57

Esquema de filtros (Derecha: Filtro lento de arena con carbón activado e Izquierda: filtro de zeolita)



Fuente: Elaboración propia (Autocad)

d) Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento es de 250 litros de capacidad (volumen y geometría comercial), el cual cuenta con el balde de cloración de 10 litros, cabe aclarar que el volumen de almacenamiento ha sido calculado de acuerdo a lo indicado en la metodología, cuyo detalle de cálculo se adjunta en el Anexo G.

El sistema de potabilización unifamiliar está diseñado para trabajar con un caudal mínimo de 0.0038 lts/seg y remover tanto el arsénico como los contaminantes microbiológicos presentes en aguas subterráneas de zonas expansivas noroeste de la ciudad de Juliaca. También se debe aclarar que el sistema de tratamiento que se plantea es unifamiliar para la población que reside en las Zonas de Expansión Noroeste de la ciudad de Juliaca, con variaciones mínimas o considerables acorde a los resultados del pozo de muestreo.



4.4.2. Resultados para el sistema de saneamiento

a) Resultados de prueba test de percolación

De la evaluación de la prueba test de percolación se tiene lo siguiente seguido de acuerdo a la metodología se tiene los siguientes resultados extraídos del anexo C:

Primeramente, se muestra los Resultados de Capacidad de infiltración promedio del terreno de las 6 calicatas.

Tabla 19

Resultados de la capacidad de infiltración promedio del terreno.

Test	Capacidad de infiltración promedio del terreno (mm/hora)
1	567.17
2	578.33
3	520.00
4	463.83
5	472.67
6	535.67

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como capacidad de infiltración promedio del terreno más desfavorable el valor de 463.83mm/h.

A continuación, también se muestra tiempo requeridos en minutos para el descenso de un centímetro.

Tabla 20

Resultados del tiempo requerido en minutos para el descenso de un centímetro.

Test	Tiempo en minutos para el descenso de un centímetro (minutos/cm)
1	1.62
2	1.58
3	1.88
4	1.94
5	2.00
6	1.76

Fuente: Elaboración propia.

Tomando como tiempo en minutos para el descenso de un centímetro más desfavorable el valor de 2.00minutos/cm. El cual de acuerdo a la tabla clasifica al terreno como de filtración rápida.

Tabla 21

Tabla de clasificación de terreno según resultados de prueba de percolación.

Clase de terreno	Tiempo de infiltración para el descenso de 1 cm.	(X)
Rápidos	de 0 a 4 minutos	X
Medios	de 4 a 8 minutos	
Lentos	de 8 a 12 minutos	

Fuente: RNE IS.020

b) Dimensiones de la zanja de percolación

Con los datos anteriores y con el uso de la curva que se muestra en la Figura 33 proporcionada por IS.020 se determinó el coeficiente de infiltración; teniendo como resultado 100L/m². día

Del resultado del cálculo de basado en las indicaciones del IS.020 como se



muestra en el Anexo D se tiene

Caudal de diseño para 6 habitantes/vivienda 240.00 L/día

Área requerida para la infiltración (A_i) de 2.400 m²

Ancho de la zanja de acuerdo a IS.020 debe ser de 0.50 m

Por lo tanto, la longitud de zanja requerida para la operatividad de la filtración de aguas servidas es calculado de acuerdo a la fórmula dada por IS.020 ($L_{UTIL} = A_{util}/B_{ZANJA}$) es de 4.80m. Para este caso se considera dos zanjas paralelas de 2.50 m cada uno cumpliendo con la separación mínima sugerida de 2.00 m de eje a eje según IS.020.

Cabe indicar que a opinión del autor esta tecnología de tratamiento de aguas servidas es totalmente practico y ejecutable en zonas con nivel freático poco profundo además de cumplir con los parámetros y dimensiones establecidos en la norma IS.020.

En resumen y en cumplimiento de los rangos de dimensiones establecidos por IS.020 para la zanja percolador se tiene:

Cantidad de zanja = 2 zanjas

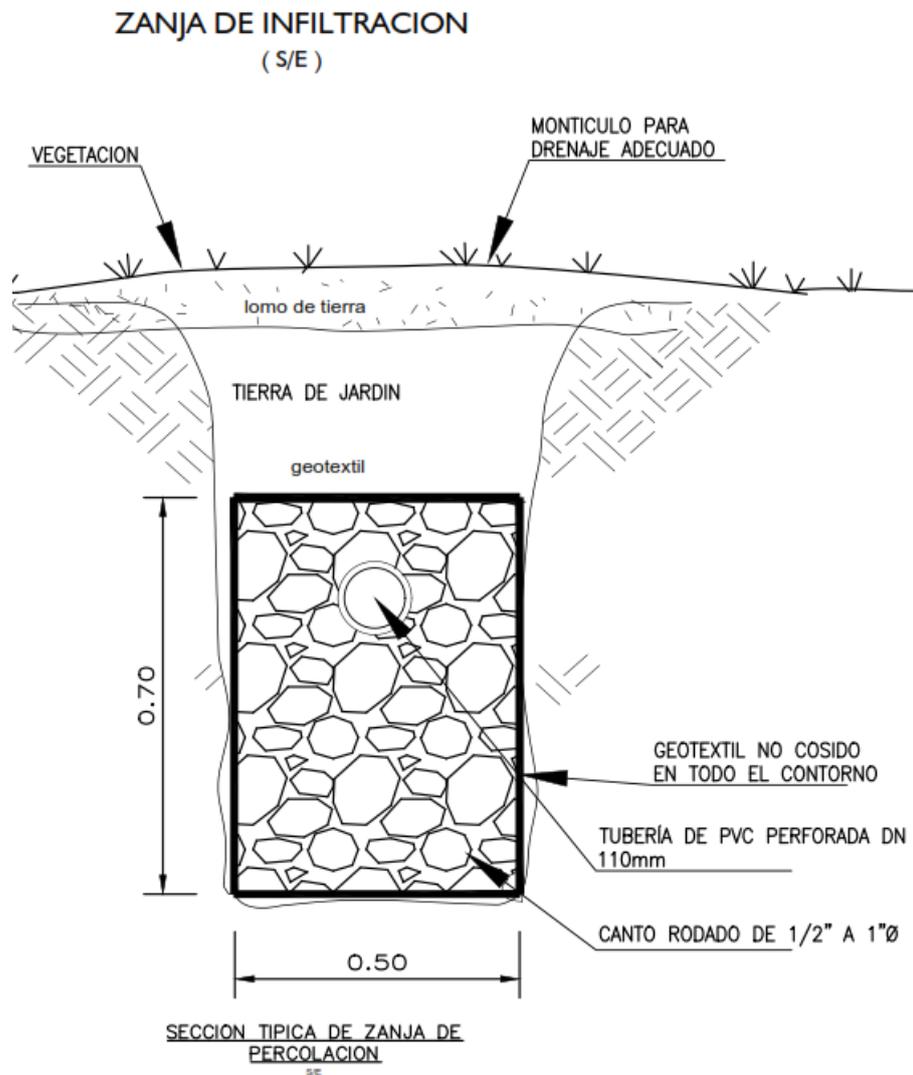
B base de zanja= 0.50m

Longitud de cada zanja=2.00m

Con estas dimensiones de zanja se procedió elaborar los planos como muestra en el Anexo E; cuyo extracto se muestra en la Figura 58.

Figura 58

Geometría de zanja percolador.



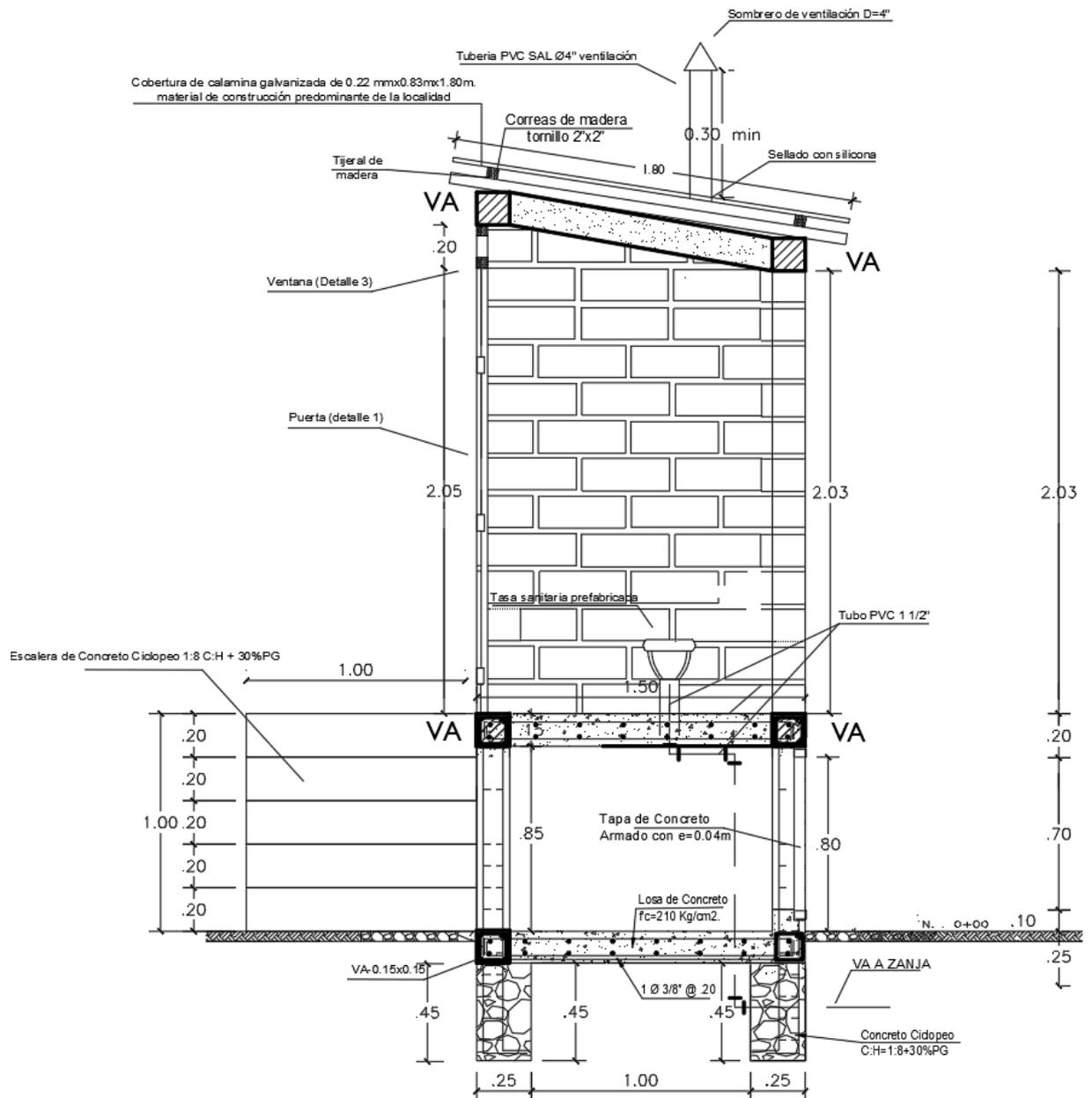
Fuente: Elaboración propia (Autocad)

c) Resultado de diseño de UBS tipo compostera seca

La unidad básica de saneamiento de tipo compostera seca que se propone tiene la geometría que se muestra en la Figura 59.

Figura 59

Esquema de UBS tipo compostera seca.



Fuente: Elaboración propia (Autocad)

4.5. RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN PRESUPUESTAL

De la elaboración presupuestal para el sistema de tratamiento y saneamiento unifamiliar compuesta por 6 integrantes se tiene como resumen la siguiente tabla, según componentes planteados para el sistema de potabilización y saneamiento, el desarrollo

detallado de los metrados, análisis de costos unitarios, y presupuestos por partidas se adjunta en el Anexo I. También cabe aclarar que el presupuesto fue elaborado para un sistema de ejecución por contrata, en el que se contará con dirección técnica de profesionales; considerando que a futuro los pobladores agrupados pueden solicitar el financiamiento de un programa social a entidades del sector público o a Organizaciones No Gubernamentales (ONG).

Tabla 22

Presupuesto para ejecución del sistema de tratamiento y saneamiento.

Ítem	Componente	Parcial (S/.)
1	AGUA POTABLE	7,583.71
2	CONSTRUCCIÓN DE UBS	8,614.28
	Costo Directo	16,197.99
	Gastos Generales 12.00%	1,943.76
	Utilidad 8.00%	1,295.84
	Parcial	19,437.59
	IGV 18.00%	3,498.77
	TOTAL :	22,936.36

Fuente: Elaboración propia

También se determina su ratio presupuestal del sistema de saneamiento que se propones por la cantidad de personas beneficiadas, cuyos datos y resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 23

Comparación de presupuesto.

Proyecto	Descripción	Valores
SISTEMA DE POTABILIZACIÓN Y SANEAMIENTO UNIFAMILIAR PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ZONAS EXPANSIVAS NOROESTE DE LA CIUDAD DE JULIACA	Presupuesto Total	22,936.36
	Personas beneficiadas	6
	Ratio (S/. Por persona)	3,822.73

Fuente: Elaboración propia



De la tabla anterior se determina que el sistema propuesto en la presente investigación tiene como ratio presupuestal por persona de S/. 3,822.73.

4.6. DISCUSIÓN SOBRE RESULTADOS

A partir de los resultados del presente trabajo de investigación, se afirma que calidad de aguas subterráneas no cumple con los requisitos para el consumo humano en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca.

Estos resultados de la calidad de aguas subterráneas guardan relación con estudios realizados por Quispe (2019) en urbanización Satelite de la ciudad de Juliaca; por Pancca (2021) en los barrios 15 de Agosto y San Salvador de la ciudad de Juliaca; por Calsín, K. (2016) en sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca; por Soriano (2018) en el centro poblado de Pata Pata, ubicado en el distrito de Pariamarca, Cajamarca; por Pacheco, Cabrera y Pérez (2004) en el Estado de Yucatán, Mexico; y Nicora et al., (2021) en las escuelas rurales del partido de Tandil, Argentina. Quienes señalan que la calidad de aguas subterráneas no es apta para el consumo humano, también estos autores expresan que es necesario plantear e implementar algún método de potabilización acorde a la necesidad del lugar, ello es congruente a lo que en la presente investigación se halló.

En cuanto a los resultados de los valores de parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas subterráneas según contraste realizado en el Anexo B, no cumplen con el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano,” puesto que estos valores se presenta superior a los “LMP en Recuento de Microorganismos Heterótrofos (980ufc/mL), Coliformes totales (22000NMP/100mL) Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales (7.8NMP/100mL), Numeración de Escherichia coli (7.8NMP/100mL), OVL-Protozoarios (258270Org/L), Arsénico (0.15351mg/L) e



inferior en presencia de Cloro Libre (Cl_2) (0.02mg/L).”

Estos resultados guardan relación con los estudios realizados por Quispe (2019) quien analizó la “calidad del agua subterránea en urbanización Satelite de la ciudad de Juliaca, obteniendo valores de pH entre 6.65 a 7.65, turbidez entre 0.99 a 52.5 NTU y temperatura entre 14.78 a 15.86 °C, en conclusión, el agua en la zona de estudio para su potabilización requiere de desinfección y tratamiento convencional. Por Pancca (2021) quien evaluó el impacto por la existencia de letrinas en la calidad del agua subterránea para el consumo humano en los barrios 15 de Agosto y San Salvador de la ciudad de Juliaca, llegando a comprobar que los parámetros físico químicos como color, olor, sabor, pH, cloruro, sulfatos, nitratos, magnesio, sólidos disueltos totales, zinc, sodio, turbiedad, amoníaco, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP); excepto, dureza excediendo en sus 4 muestras un promedio de 29%, alcalinidad en la muestra 1 el 16.1 %, calcio en sus 4 muestras un promedio del 25%, Aluminio en la muestra 2 el 50%, coliformes totales y termotolerantes (fecales) en sus 4 muestras en un promedio de 262% y 87.25%. en conclusión, las aguas subterráneas evaluadas no son potables, requiriendo un sistema de tratamiento y educación sanitaria, Calsín, K. (2016) quien determinó los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en aguas de pozo del sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca. Pqui concluye que Los parámetros bacteriológicos, coliformes totales y coliformes fecales de aguas de pozos artesanales y tubulares exceden los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Por este motivo a pesar que los parámetros físicos y químicos no exceden en su totalidad los LMP, se demostró que bacteriológicamente si hay presencia de coliformes, por lo tanto, el agua de pozos artesanales y tubulares son considerados no aptos para el consumo humano. Soriano (2018) quien evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea en el centro poblado de Pata Pata, ubicado en el



distrito de Pariamarca, Cajamarca, para llegar a concluir que las aguas de los tres puntos de muestreo no son aceptables para el consumo humano porque hubo presencia excesiva de coliformes tanto totales como termotolerantes, por lo que debe pasar por un proceso de tratamiento.

A opinión del autor, la alta presencia de contaminantes microbiológicos ocurre debido a que los puntos de descarga de aguas servidas y heces humanas (letrinas improvisadas) se encuentran muy cercanos a los puntos de captación de aguas subterránea para consumo humano, además estas aguas servidas y liquido de heces percolan en el subsuelo sin ningún tipo de tratamiento, por lo que se requiere implementar un sistema de saneamiento unifamiliar para eliminar fuentes de contaminación antrópica e implementar un sistema de potabilización que elimine los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos.

En el caso metales pesados en la totalidad de las muestras el Arsénico supera el límite máximo permisible; esto confirma la presencia de metales pesados, además de ser concordante con otros estudios realizados por Humpiri (2021) en Juliaca; por Tapia (2017) en Taraco; Coaquira (2020) en Caracoto; Tintaya (2019) en Huancané, Escarcena, C. (2018) en Juliaca, todos ellos en el ámbito regional también hallaron la presencia de Arsénico como se indica en los antecedentes, confirmando que el consumo de agua de fuente subterránea sin tratamiento es altamente perjudicial para la salud humana. Adicional a ello Ccencho (2018) en Lambayeque, también concluye que las aguas subterráneas contienen alta concentración de arsénico.

Por su parte Pary & Mamani (2018) y Tapia & Huanca (2019) hicieron estudio de contenido de arsénico en aguas superficiales de ríos Ayaviri y Tambo respectivamente, donde también hallaron alto contenido de Arsénico.



Sin embargo, Molina (2018) en el distrito de Uraca, Castilla, Arequipa, encontró el contenido de arsénico dentro de los límites Permisibles.

A opinión del autor, la presencia de alto grado de arsénico se encuentra en todas las aguas subterráneas, pero sobretodo en las aguas subterráneas de la cuenca del Titicaca.

En cuanto al sistema de saneamiento básico unifamiliar, es una propuesta efectiva y viables, acorde a los cálculos realizados en el Anexo G y Anexo I respectivamente; esta propuesta de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del agua subterráneas integra y utiliza los sistemas propuestos por Tapia & Huanca (2019) para la remoción de Arsénico con Nanopartículas de Fe_3O_4 ; Carcausto, C. (2017) para el filtro lento de arena; (Turpo, Ccama & Quispe; 2022) para filtro de zeolita, con lo cual se logra la remoción de contaminantes presentes en el agua subterránea en las zonas de expansión norestes de la ciudad de Juliaca, y como complemento para evitar la permanente contaminación antrópica y cierre de brecha integral de saneamiento básico se propone también la implementación de UBS tipo compostera seca con zanja de percolación. Esta propuesta mantiene relación parcial con investigaciones realizadas por Humpiri. (2021) en Juliaca, quien propone desarrollar la tecnología de Bioadsorción de arsénico en aguas de pozo tubular de la ciudad de Juliaca con biomasa de waraqo (*echinopsis maximilia*), logrando una efectividad de 90%; a su vez Tapia (2017) en Caracoto, quien propone el uso de chacko (Hidralgirita), para la remoción de arsénico, logrando una efectividad de 84%; además Carcausto, C. (2017) en Comunidad de Thunco –Puno, quien propone la remoción de contaminantes Biologicos con Filtro Lento de Arena; todo ello a nivel local. Además, Ccencho (2018) en Lambayeque, realizó una investigación en el que tuvo como objetivo general la bioadsorción del Arsénico en agua mediante el uso de biomasa seca (cáscara de plátano) concluyendo que es eficiente este proceso, ya que la concentración



de Arsénico inicialmente fue de 0.1mg/L y finalmente fue de 0.0827mg/L, Tapia & Huanca (2019) en Arequipa, plantearon el uso de $NpsFe_3O_4$, logrando una remoción del 97% en los primeros 30 min de contacto, logrando reducir los niveles de arsénico por debajo de los 0.1 mg/L cumpliendo lo establecido en el D.S. 031 – 2010 – SA. Rossi, G. (2017) realizó un estudio para diseñar un Filtro Purificador casero, de agua para uso rural. Para esto empleó filtros de arena; siendo más efectivo para la reducción de la turbidez la que se redujo hasta un 99,97%. Castillo (2015) propone un filtro utilizando carbón activado granular para el tratamiento de agua cruda a nivel domiciliario logrando potabilizar. Stenzel y Gupta (1985) realizaron un estudio para tratar la contaminación de aguas subterráneas con filtros de carbón activado. Para lo cual emplearon tres tanques de filtros con carbón activado evaluando los contaminantes de las existentes en las aguas subterráneas. Todo ello a nivel nacional e internacional.”

Se evidencia que hay múltiples propuestas para potabilizar las aguas subterráneas, sin embargo, a opinión del autor, ninguna de las propuestas presenta una solución integral, puesto que algunos investigadores proponen solucionar solamente la turbidez, otros solamente remover los contaminantes biológicos, y otros remover el arsénico.

Ello es la particularidad de la propuesta hecha en la presente investigación, puesto que soluciona integralmente el problema de falta de acceso al servicio de saneamiento básico integral, en las zonas de expansión de la ciudad de Juliaca.



V. CONCLUSIONES

- Las aguas subterráneas en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca no son aptas para el consumo humano, sin embargo, es viable su potabilización con el uso de propuestas tecnológicas como el saneamiento básico unifamiliar.
- Las aguas subterráneas tienen valores de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos fuera del rango establecido en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA.
- Las aguas subterráneas en zonas de expansión noroeste de la ciudad de Juliaca presentan un (01) metal pesado (Arsénico) muy superior al LMP establecido en Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA.
- Se logra plantear un sistema de saneamiento básico unifamiliar, cuyos componentes propuestos son eficientes y viables para potabilizar las aguas subterráneas, mediante el uso de Nanopartículas de Fe_3O_4 como coagulante, complementado con filtro lento de arena y filtro de zeolita, y su respectiva desinfección final y reducir la permanente contaminación antrópica mediante la implementación de UBS de tipo Compostera seca.



VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la calidad de aguas subterráneas en zonas rurales de la región de Puno.
- Realizar la réplica de esta investigación en otras zonas de expansión de la ciudad de Juliaca y otras ciudades similares.
- Prototipar y evaluar la eficiencia de la potabilización con este sistema de tratamiento.
- Investigar la influencia de contaminantes de origen fecal en agua subterráneas.
- Investigar nuevas tecnologías para aportar con el cierre de brechas de saneamiento básico en Perú.



VII. REFERENCIAS

- Quispe Apaza, L. (2019). *Diseño de prototipo de sistema de información para monitoreo de parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca*. (Tesis maestría) Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Panca Mamani, E. (2021). *Diagnóstico del impacto por la existencia de letrinas en la calidad del agua subterránea para el consumo humano en los barrios 15 de Agosto y San Salvador del distrito de Juliaca, San Román-Puno*. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Humpiri Condori, A. D. (2021). *Bioadsorción de arsénico en aguas de pozo tubular de la ciudad de Juliaca con biomasa de waraqqo (Echinopsis maximiliana)*. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Tapia Callata, L. R. (2017). *Evaluación de arsénico con chacko (Hidralgiritita) en aguas subterráneas contaminadas del distrito de Taraco – Puno*. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Pary Hilari, A., & Mamani Parisuaña, M. W. (2018). *Remoción de arsénico (As) en aguas naturales por procesos de oxidación, floculación, sedimentación y filtración*. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Coaquira Jihuallanca, C. L. (2020). *Remoción de arsénico de aguas naturales por proceso de oxidación con hierro y radiación solar del sector rural Caracoto Puno*. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Tintaya Quispe, C. L. (2019). *Adsorción de arsénico de las aguas municipales y pozos*



domésticos en la ciudad de Huancané por coagulación -floculación. (Tesis pregrado)

Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

Turpo Turpo, R. E., Ccama Vilca, J. W., & Quispe Diaz, I. K. (2022). *Filtración de arsénico de aguas subterráneas con zeolitas naturales de la región Puno-Perú.*

Ibáñez Calderón, L. R. (2018). *Evaluación de la calidad de agua para el consumo humano en las localidades de Payllas y Miraflores del distrito de Umachiri – Melgar – Puno.* (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

Pino, E., Chávarri, E., & Ramos, L. (2018). *Crisis de gobernanza y gobernabilidad y sus implicancias en el uso inadecuado del agua subterránea, caso acuífero costero de La Yarada, Tacna, Perú.* Idesia (Arica), 36(3), 77-85.

Soriano Dilas, M. (2018). *Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea utilizada para el consumo humano en el Centro Poblado Pata Pata-2018.*

Galecio Rios, T. E. D. (2018). *Exploración hidrogeológica para la ejecución de una obra de captación de agua subterránea en el predio Progreso Bajo, distrito de Castilla, provincia y departamento de Piura–Perú.*

Ccencho Mercado, S. (2018). *Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio-2018.*

Casique Acosta, L., & Herrera Sánchez, C. A. (2018). *Diseño del sistema de agua potable para mejorar las condiciones de vida en la localidad de Mamonaquihua, Cuñumbuqui, San Martín.*



- Tapia Falcon, N. L., & Huanca Ccamercco, M. (2019). *Remoción de arsenico en agua proveniente del rio tambo sector Quelgua con nanoparticulas de oxido de hierro soportadas en zeolita.*
- Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). *Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico.* Información tecnológica, 32(1), 47-56.
- Piguave-Reyes, J. M., Castellano-González, M. J., Macías-Avia, A. M., Vite-Solórzano, F. A., Ponce-Pibaque, M. D., & Ávila-Ávila, J. A. (2019). *Calidad microbiológica del agua subterránea como riesgo epidemiológico en la producción de enfermedad diarrea infantil.* Revisión Sistemática. Kasma, 47(2), 153-173.
- Malagón, J. P., Piña, A., Argüello, S., & Donado, L. D. (2021). *Análisis hidrogeoquímico-multivariado del agua subterránea del sistema acuífero del Valle Medio del Magdalena, Colombia: Estudio a escala regional.* Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 73(3).
- Camacho, C., & Fernández, V. M. A. (2020). *Evaluación del aprovechamiento empírico del agua subterránea somera del cantón Morona-Ecuador.* Dominio de las Ciencias, 6(2), 460-473.
- Nicora, B., Barranquero, R. S., Etcheverría, S. G., Dipardo, B., Tabera, A., Quiroga, M., ... & Galarreta, V. A. R. D. (2021). *Evaluación integral de la gestión del agua subterránea en escuelas rurales en Tandil, Argentina.* Revista de Ciencias Ambientales, 55(1), 294-316.
- Carcausto, C. (2017). *Purificación de aguas subterráneas por medio de filtros lentos de arena para consumo humano en la comunidad de Thunco – Puno* (tesis de postgrado).



Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

Calsín, K. (2016). *Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi iii de la ciudad de Juliaca, Puno – 2016* (tesis de pregrado). Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

Ibañez, J. (2015). *Diseño de sistemas de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio la Mojana* (tesis de pregrado). Bogotá-Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Pacheco, J., Cabrera, A. & Pérez, R. (2, mayo-agosto, 2004). *Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el estado de Yucatán, México*. Ingeniería, (vol. 8, núm. 2), pp. 165-179

Cardona Benavides, A. (1990). *Caracterización físico-químico y origen de los sólidos disueltos en el agua subterránea del Valle de San Luis Potosí; su relación con el sistema de flujo* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Arizabalo, R. D. (1991). *La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos* (Vol. 6). Unam.

Vence, L., Ribera, M., Osorio, Y. & Castillo, A. (julio, 2012). *Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de la Paz y San Diego, Cesar, Colombia*. Investigación Agraria y Ambiental, (vol. 3, núm. 2), Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/953>

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2007). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea*. Washington, D.C.: Banco Mundial.



Werner, J. (1996). *Introducción a la Hidrogeología*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
Mexico: Copyright.

López, J., Fornéz, J., Ramos, G., & Villarroya, F. (2009). *Las Aguas Subterráneas un Recurso Natural del Subsuelo*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: Grupo Industrial de Artes Gráficas Ibersaf Industrial, S. L.

Collazo, G., & Montaña, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea*. Proyecto Producción Responsable - M.G.A.P. Montevideo-Uruguay: Denad Internacional S.A.

Horra, J. (2018). *Modelos Matemáticos Para Ciencias Experimentales*. Diaz de Santos. Madrid-España: P55 Servicios Culturales C.B.

Torres, M. (2015). *Modelos Matemáticos en las Ciencias*. Universidad Maimónides. Buenos Aires-Argentina: Fundación de Historia Natural Félix de Azara

Alarcón, M. et al. (2013) *Arsénico en agua*. Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, S.C.

Chávez, M., y Miglio, M. (2011). *Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano*. Enseñanza de la Química, 77(4), 307 – 314.

Barreiro, E. y Ghislieri, D. (2002). *Eliminación de Microorganismos –Desinfección*. Departamento de Tecnología y Servicios Industriales, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Apella MC, Araújo PZ.(2005) *Microbiología de agua. Conceptos básicos*. En: Blesa MA, Blanco-Gálvez J, editores. *Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua*. Buenos Aires: UNSAM.



- García Meneses, D. A., & Monsalve Díaz, D. A. (2020). *Estudio de factibilidad para optimización hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Beltrán-Cundinamarca* (Doctoral dissertation).
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en marcha*, 29(3), 3-14.
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1197.
- Francisca, F. M., & Carro Pérez, M. E. (2014). *Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 177-190.
- Litter, M. I., Sancha, A. M., & Ingallinella, A. M. (2010). *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Ramirez, V. L. (2019). *Sistema de Remoción de Arsénico en Agua Potable Mediante Electrocoagulación*.
- Rivera Huerta, L., Martín Domínguez, A., Piña Soberanis, M., & Pérez Castrejón, S. (2009). *La electrocoagulación (EC): una alternativa para el tratamiento de agua contaminada con arsénico*.
- Cárdenas Guzmán, A. C., & Medina Rincón, J. A. (2017). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable a escala para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás*.



- Pullés, M. R. (2014). *Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba*.
Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 45(1), 25-36.
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una
planta de tratamiento de agua potable. Ingeniería Química.
- Barboza, K. G. R., Juárez, M. D. R. A., & Caballero, D. R. (2016). *Eliminación de
microorganismos mediante la aplicación de ozono*. Jóvenes en la ciencia, 2(1), 1932-
1935.
- O.M.S., O. M. (1995). *Guías para la calidad del agua potable*. Organization of American
States, General Secretariat.
- MEF; Peru. (2011). Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación
Social de Proyectos Saneamiento Básico en el Ámbito Rural, a Nivel de Perfil.
- Herrera, M. T. A., & Martín, I. (2014). Arsénico en agua: Presencia, cuantificación analítica
y mitigación.
- Ramírez, C. A. S. (2021). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.
- Richter, C. A., & Cánepa de Vargas, L. (1984). *Floculación*. In Evaluación de plantas de
tratamiento de agua (pp. 77-118).
- Perú, I. N. E. I. (2019). *Anuario de Estadísticas Ambientales 2019*. Lima: Centro de Edición
del INEI.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Editorial Mc Graw Hill,
Bogotá.



Duran Juárez, J. M., & Torres Rodríguez, A. (2006). *Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media*. *Espiral (Guadalajara)*, 12(36), 129-162.

Demo Tuñón, C., de Cuarto, R., Montoya Gómez, G., de Cuarto, R., García Barrios, L., de Cuarto, R., & Morón Ríos, A. (1999). *El Banco Mundial y el desarrollo sustentable. Algunas reflexiones sobre su perspectiva*.

Rodríguez, J., Jorge, C., Zúñiga, P., Solís, J., Estrada, W., Cristóbal, R., ... & Zanabria, P. (2010). *Tecnología solar aplicada a la purificación de agua*. *TECNIA*, 20(1).

Rupérez-Moreno, C., Senent-Aparicio, J., Martínez-Vicente, D., García-Aróstegui, J. L., Calvo-Rubio, F. C., and Pérez-Sánchez, J. (2017). *Sustainability of irrigated agriculture with overexploited aquifers: The case of segura basin (se, spain)*. *Agricultural Water Management*, 182:67–76.

Castaño León, J. A. (2020) *Simulación del Flujo de Agua Subterránea en Acuíferos Usando Diferencias Finitas*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78386/1053829770.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De Miguel Fernández, C. (2020). *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales*. Editorial Universitaria (Cuba).

Ellies Sch., A., Grez, R., & Ramírez G., C. (1997). *La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo*. *Agro Sur*, 25(1), 51-56. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1997.v25n1-06>.

BANCO MUNDIAL (2015) *América Latina: la región con más agua, la más castigada por la sed*. Recuperado de:



<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/06/29/ninos-america-latina-son-mas-afectados-por-pobreza>

Garibay, M. (2006). *Permeabilidad de suelos*. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

Aldana García, C. A., López Quevedo, A. F., & García Murcia, M. F. (2019). *Medición de la conductividad hidráulica bajo trayectorias horizontales en suelos granulares*.

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6532/Art%C3%A1culo%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20conductividad%20hidr%C3%A1ulica%20bajo%20trayectorias%20horizontales%20en%20suelos%20granulares.pdf?sequence=1>

Fannin, J. (2008). Karl Terzaghi: *Teoría a la práctica en el diseño de filtros geotécnicos*. University British Columbia, Canadá.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2018). *Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*.

Auvinet, G. (2014). *Clásica y métodos actuales en el diseño de filtros para presas de materiales graduados*. Sociedad mexicana de ingeniería geotécnica, México, México.

Gómez Farfan, A. G., & Vera Nuñez, C. R. (2021). *Diseños de filtros para mejorar la permeabilidad de un modelo físico del pozo de absorción en un UBS de suelos limo arcillosos de distrito Quinua, Ayacucho*.

<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/4782>

Vargas, L. & Martínez, H. (2017) *Ciencias de la Tierra – Aguas subterráneas*. Universidad Nacional Autónoma De Honduras.

https://hmgeounah.files.wordpress.com/2017/02/001_03_08_aguas_subterr3a1neas



.pdf

Oblitas, L. (2010). *Servicio de Agua potable y saneamiento en el Perú: Beneficios Potenciales y Determinantes del Éxito*. CEPAL, Naciones Unidas: Santiago de Chile

CAPECO.; (2003). *Costos y Presupuestos en Edificaciones*.

Ibañez , W. (2012). *Manual de costos y presupuestos de obras Hidráulicas y de Saneamiento*.

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.



ANEXOS

- ANEXO A** UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EMITIDOS POR EL LABORATORIO.
- ANEXO B** TABLA COMPARATIVA DE VALORES DE PARÁMETROS CON LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
- ANEXO C** RESULTADO DE TEST DE PERCOLACIÓN
- ANEXO D** CALCULO DE DIMENSIONES DE ZANJA PERCOLADOR
- ANEXO E** PLANOS DE COMPOSTERA SECA Y ZANJA PERCOLADOR
- ANEXO F** MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE COMPOSTERA SECA
- ANEXO G** CÁLCULOS DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN
- ANEXO H** PLANO DE SISTEMA DE POTABILIZACIÓN
- ANEXO I** COSTOS Y PRESUPUESTOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE TRATAMIENTO
- ANEXO J** PANEL FOTOGRÁFICO