



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO
EN LA ZONA SUR DE LAS COMUNIDADES TELEMPALA,
CHIQUICAZ, CHAMBOLOMA, BAYUBUG Y LA MERCED DE
GILTUS PERTENECIENTES A LA PARROQUIA CALPI DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: GLENDA LISETH GUILLCA GUAMÁN

DIRECTORA: DRA. LOURDES JANNETH JARA SAMANIEGO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Glenda Liseth Guillca Guamán

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

Yo, Glenda Liseth Guillca Guamán, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de noviembre de 2023




.....

Glenda Liseth Guillca Guamán

060550596-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO EN LA ZONA SUR DE LAS COMUNIDADES TELEMPALA, CHIQUICAZ, CHAMBOLOMA, BAYUBUG Y LA MERCED DE GULTUS PERTENECIENTES A LA PARROQUIA CALPI DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por la señorita: **GLENDA LISETH GUILLCA GUAMÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Augusta Guadalupe Alcoser, Mgs. PRESIDENTA DEL TRIBUNAL	 _____	2023-11-10
Dra. Lourdes Janneth Jara Samaniego, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-11-10
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, Mgs. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-11-10

DEDICATORIA

A papá Dios, por haberme dado la fuerza necesaria para luchar por mis sueños, aun cuando mis esperanzas se desvanecían. A mis padres, por confiar en mí y apoyarme en cada uno de mis proyectos. A mi hermana, por sus palabras de aliento que en muchas ocasiones fueron el escalón que me faltaba para continuar.

Liseth

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente. A la Dra. Janneth Jara y a la Ing. Mabel Parada, por ayudarme a culminar con éxito el presente Trabajo de Integración Curricular.

Liseth

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Objetivos.....	4
1.3.1.	General.....	4
1.3.2.	Específicos.....	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	Antecedentes de investigación.....	5
2.2.	Marco Conceptual.....	6
2.2.1.	El Agua.....	6
2.2.2.	Agua cruda o en estado natural.....	6
2.2.3.	Aguas residuales.....	6
2.2.4.	Agua potable.....	6
2.2.5.	Fuentes de abastecimiento de agua dulce.....	7
2.2.5.1.	<i>Pluviales.....</i>	7
2.2.5.2.	<i>Superficiales.....</i>	7
2.2.5.3.	<i>Subterráneas.....</i>	7
2.2.6.	Calidad del agua.....	9
2.2.7.	Análisis fisicoquímico del agua de consumo humano.....	9
2.2.7.1.	<i>Turbidez.....</i>	9
2.2.7.2.	<i>Color.....</i>	9
2.2.7.3.	<i>Olor y sabor.....</i>	10

2.2.7.4.	<i>Temperatura</i>	10
2.2.7.5.	<i>Sólidos</i>	10
2.2.7.6.	<i>Conductividad eléctrica</i>	11
2.2.7.7.	<i>pH</i>	11
2.2.7.8.	<i>Alcalinidad</i>	11
2.2.7.9.	<i>Acidez</i>	12
2.2.7.10.	<i>Dureza</i>	12
2.2.7.11.	<i>Cloruros</i>	13
2.2.7.12.	<i>Cloro residual</i>	14
2.2.7.13.	<i>Hierro</i>	14
2.2.7.14.	<i>Arsénico</i>	15
2.2.7.15.	<i>Cadmio</i>	15
2.2.7.16.	<i>Mercurio</i>	15
2.2.7.17.	<i>Plomo</i>	15
2.2.7.18.	<i>Selenio</i>	15
2.2.7.19.	<i>Fosfatos</i>	16
2.2.7.20.	<i>Nitritos y nitratos</i>	16
2.2.7.21.	<i>Fluoruros</i>	16
2.2.8.	Análisis microbiológico del agua de consumo humano	17
2.2.8.1.	<i>Coliformes fecales</i>	19
2.2.8.2.	<i>Crypstosporidium</i>	19
2.2.8.3.	<i>Giardia lamblia</i>	20
2.2.8.4.	<i>Coliformes totales</i>	20
2.2.9.	Libro VI de la Calidad Ambiental	20
2.2.9.1.	<i>Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico</i>	20
2.2.10.	Métodos de tratamiento del agua de consumo	22
2.2.10.1.	<i>Aireación</i>	22
2.2.10.2.	<i>Cloración</i>	22
2.2.10.3.	<i>Filtración</i>	23
2.2.10.4.	<i>Coagulación</i>	27
2.2.10.5.	<i>Floculación</i>	28
2.2.10.6.	<i>Desinfección</i>	28
 CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO	30

3.1.	Diagnóstico de la situación actual del sistema de abastecimiento de agua	30
3.1.1.	Población de estudio y localización de las comunidades	30
3.1.1.1.	<i>Localización de la Comunidad Chamboloma</i>	30
3.1.1.2.	<i>Localización de la Comunidad Chiquicaz</i>	31
3.1.1.3.	<i>Localización de la Comunidad Teल्पala</i>	31
3.1.1.4.	Localización de la Comunidad Bayubug.....	32
3.1.1.5.	<i>La Merced de Guiltus</i>	33
3.1.2.	Situación actual del sistema de abastecimiento de agua	33
3.2.	Determinación de los sitios de muestreo a lo largo del sistema de distribución de las comunidades	34
3.2.1.	Muestreos en los sistemas de distribución de las comunidades	34
3.3.	Técnicas utilizadas en la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo de las comunidades	37
3.3.1.	Técnica de muestreo	37
3.3.2.	Análisis de las muestras	39
3.4.	Propuesta de tratabilidad	39
3.4.1.	Filtración con Zeolita	39
3.4.2.	Dosificación de cloro	40
3.4.3.	Cálculos de Ingeniería	40
3.4.3.1.	<i>Caudales de las comunidades</i>	40
3.4.3.2.	<i>Filtro lento de zeolita</i>	41
3.4.3.3.	<i>Desinfección</i>	45
3.5.	Capacitación a los encargados del mantenimiento de los sistemas de distribución de las comunidades	46

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	48
4.1.	Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo de las comunidades	48
4.1.1.	Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Chamboloma	49
4.1.1.1.	<i>Parámetros fuera de norma</i>	51
4.1.2.	Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Bayubug	52
4.1.2.1.	<i>Parámetros fuera de norma</i>	54

4.1.3.	Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Chiquicaz	55
4.1.3.1.	<i>Parámetros fuera de norma</i>	57
4.1.4.	Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Telepala	58
4.1.4.1.	<i>Parámetros fuera de norma</i>	59
4.1.5.	Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de La Merced de Guiltus	61
4.1.5.1.	<i>Parámetros fuera de norma</i>	62
4.1.6.	Comparación de los parámetros fuera de los límites permisibles de las comunidades	64
4.1.6.1.	<i>Fosfatos</i>	64
4.1.6.2.	<i>Coliformes totales</i>	65
4.2.	Propuesta de tratabilidad para mejorar la calidad del agua de consumo	67
4.2.1.	Resultados de los parámetros de diseño	68
4.2.1.1.	<i>Caudal de Diseño</i>	68
4.2.1.2.	<i>Dimensiones del Filtro</i>	68
4.2.2.	Caracterización del agua de consumo antes y después de la tratabilidad	68
4.2.2.1.	<i>Porcentaje de remoción de fosfatos y coliformes totales</i>	71
4.3.	Análisis de costos	72
4.4.	Discusión de resultados	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación del agua por su dureza.....	12
Tabla 2-2: Principales cationes y aniones causantes de la dureza en el agua.....	13
Tabla 2-3: Requisitos fisicoquímicos del agua para consumo humano y doméstico	17
Tabla 2-4: Requisitos microbiológicos del agua potable.....	18
Tabla 2-5: Criterios de calidad de fuentes de agua que requieren tratamiento convencional.....	21
Tabla 2-6: Criterios de calidad de fuentes de agua que solo requieren desinfección	21
Tabla 2-7: Criterios de diseño para filtros lentos.....	25
Tabla 2-8: Otros criterios de diseño para filtros lentos	26
Tabla 2-9: Parámetros de diseño de laterales	26
Tabla 2-10: Parámetros de diseño para las velocidades en las tuberías del filtro.....	26
Tabla 2-11: Propiedades del medio filtrante.....	26
Tabla 3-1: Cronograma de muestreo para análisis fisicoquímico y microbiológico	37
Tabla 3-2: Caudales de las comunidades y su promedio	40
Tabla 4-1: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chamboloma	49
Tabla 4-2: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chamboloma	50
Tabla 4-3: Parámetros fuera de los límites permisibles	51
Tabla 4-4: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Bayubug	52
Tabla 4-5: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Bayubug	53
Tabla 4-6: Parámetros fuera de los límites permisibles	54
Tabla 4-7: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chiquicaz	55
Tabla 4-8: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chiquicaz.....	56
Tabla 4-9: Parámetros fuera de los límites permisibles	57
Tabla 4-10: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Teल्पala.....	58
Tabla 4-11: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Teल्पala	59
Tabla 4-12: Parámetros fuera de los límites permisibles	60
Tabla 4-13: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de La Merced de Gultus ...	61
Tabla 4-14: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de La Merced de Gultus	62
Tabla 4-15: Parámetros fuera de los límites permisibles	63
Tabla 4-16: Resultados del nivel de fosfatos en las comunidades	64
Tabla 4-17: Resultados del nivel de coliformes totales en las comunidades.....	65
Tabla 4-18: Resultados del caudal de diseño.....	68
Tabla 4-19: Resultados del filtro lento de zeolita.....	68
Tabla 4-20: Comparación del agua de consumo de Chamboloma.....	69
Tabla 4-21: Comparación del agua de consumo de Chiquicaz	69

Tabla 4-22: Comparación del agua de consumo de Teempala	70
Tabla 4-23: Comparación del agua de consumo de Bayubug.....	70
Tabla 4-24: Comparación del agua de consumo de La Merced de Guitus.....	70
Tabla 4-25: Porcentaje de remoción de fosfatos y coliformes totales.....	71
Tabla 4-26: Costo aproximado de implementación del sistema de tratamiento de agua.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Dirección de flujo de agua subterránea	8
Ilustración 3-1: Ubicación de las comunidades de la zona sur de la parroquia Calpi.....	30
Ilustración 3-2: Ubicación geográfica de la comunidad Chamboloma	31
Ilustración 3-3: Ubicación geográfica de la comunidad Chiquicaz.....	31
Ilustración 3-4: Ubicación geográfica de la comunidad Telempala	32
Ilustración 3-5: Ubicación geográfica de la comunidad Bayubug	32
Ilustración 3-6: Ubicación geográfica de la comunidad La Merced de Gultus	33
Ilustración 3-7: Muestreo en la comunidad Chiquicaz.....	34
Ilustración 3-8: Muestreo en la comunidad Chamboloma	35
Ilustración 3-9: Muestreo en la comunidad La Merced de Gultus	35
Ilustración 3-10: Muestreo en la comunidad Telempala	36
Ilustración 3-11: Muestreo en la comunidad Bayubug	36
Ilustración 3-12: Capacitación en el GAD de la parroquia Calpi.....	47
Ilustración 4-1: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos	51
Ilustración 4-2: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales.....	51
Ilustración 4-3: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos	54
Ilustración 4-4: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales.....	55
Ilustración 4-5: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos	57
Ilustración 4-6: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales.....	57
Ilustración 4-7: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos	60
Ilustración 4-8: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales.....	60
Ilustración 4-9: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos	63
Ilustración 4-10: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales.....	63
Ilustración 4-11: Dispersión lineal de fosfatos en las comunidades.....	64
Ilustración 4-12: Dispersión lineal de coliformes totales en las comunidades	66

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXOS A:** NORMA NTE INEN 1108:2006
- ANEXOS B:** METODOLOGÍA UTILIZADA EN LA REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
- ANEXOS C:** RESULTADOS DE LAS PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS
- ANEXOS D:** PLANO DE LA PROPUESTA A IMPLEMENTARSE
- ANEXOS E:** ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LABORATORIO
- ANEXOS F:** FOTOGRAFÍAS COMPLEMENTARIAS

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular se efectuó con el objetivo de determinar la calidad del agua de consumo de las comunidades Teempala, Chiquicaz, Chamboloma, Bayubug y La Merced de Gultus, pertenecientes a la zona sur de la parroquia Calpi provincia de Chimborazo. Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua cruda, que se muestrearon en diferentes puntos de la red de distribución de la zona y en diferentes épocas. Las pruebas de laboratorio se realizaron con base en los métodos Hach y las técnicas establecidas en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, los resultados fueron comparados con la norma NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable”. Se analizó 23 parámetros por cada muestra, determinándose que el nivel de fosfatos en el agua de consumo supera el límite máximo permisible establecido en la norma (<0,3 mg/L): Chamboloma con 0,92 mg/L, Chiquicaz con 0,76mg/L, Teempala con 0,91 mg/L, Bayubug con 2,24 mg/L y la Merced de Gultus con 3,21 mg/L, además, mediante el análisis microbiológico se determinó que todas las comunidades se encuentran contaminadas con coliformes totales. Con los resultados obtenidos se propone como alternativa de tratabilidad del agua de consumo un sistema de filtración y desinfección, para la remoción de fosfatos y coliformes totales. La tratabilidad se realizó a nivel de laboratorio, empleando zeolita como medio filtrante, la cual favoreció el intercambio iónico, y para la desinfección se utilizó hipoclorito de sodio al 10%, con el sistema propuesto se logró una remoción promedio de fosfatos del 89,86%, y se eliminó las coliformes totales en un 100%. Con base en estos resultados, se recomienda seguir investigando y monitoreando la eficiencia de este tratamiento a largo plazo, para asegurar su viabilidad y sostenibilidad en beneficio de la comunidad.

Palabras clave: <AGUA DE CONSUMO >, <SISTEMA DE TRATAMIENTO >, <AGUA SUBTERRÁNEA>, <FILTRACIÓN>, <ZEOLITA>, <DESINFECCIÓN >, <FOSFATOS >
2153-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The present work of curricular integration was carried out with the objective of determining the quality of drinking water in the communities of Telempala, Chiquicaz, Chamboloma, Bayubug and La Merced de Guiltus, belonging to the southern area of the parish of Calpi, province of Chimborazo. Physicochemical and microbiological characterization of the raw water was carried out, which was sampled at different points of the distribution network in the area and at different times of the year. Laboratory tests were carried out based on Hach methods and the techniques established in Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, and the results were compared with the NTE INEN 1108:2006 "Drinking Water" standard. Twenty-three parameters were analyzed for each sample, determining that the level of phosphates in the drinking water exceeds the maximum permissible limit established in the standard (<0.3 mg/L): Chamboloma with 0.92 mg/L, Chiquicaz with 0.76 mg/L, Telempala with 0.91 mg/L, Bayubug with 2.24 mg/L and La Merced de Guiltus with 3.21 mg/L. In addition, the microbiological analysis determined that all communities are contaminated with total coliforms. With the results obtained, a filtration and disinfection system is proposed as an alternative for treating drinking water to remove phosphates and total coliforms. A treatment was carried out at the laboratory level, using zeolite as a filter medium, which favored ion exchange, and 10% sodium hypochlorite was used for disinfection. The proposed system achieved an average phosphate removal of 89.86% and eliminated total coliforms by 100%. Based on these results, it is recommended to continue researching and monitoring the efficiency of this treatment in the long term, to ensure its viability and sustainability for the benefit of the community.

Keywords: <CONSUMPTION WATER>, <TREATMENT SYSTEM>, <GROUNDWATER>, <FILTRATION>, <ZEOLITE>, <DESINFECTION>, <PHOSPHATES>



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural de vital importancia para el desarrollo de la vida; a pesar de ser el compuesto más abundante en la superficie terrestre, su disponibilidad para uso humano es limitado, puesto que más del 97% de toda el agua existente en el planeta es agua no apta debido al contenido de salinidad, el 3% restante se encuentra dividido en agua en estado sólido con un 2,38% aproximadamente, que es inaccesible, y el 0,62% sobrante se encuentra en lagos, ríos y aguas subterráneas, debido a esto la cantidad de agua disponible es realmente escasa (Feléz, 2009, p. 13). El constante incremento poblacional ha provocado contaminación de las fuentes hídricas, el suelo y el aire, debido a las alteraciones que el hombre provoca para poder cubrir sus necesidades.

El páramo es el principal regulador del sistema hídrico del país y tiene gran importancia ecológica por su biodiversidad propia, a pesar de su gran importancia, las actividades humanas intensivas y no sustentables han provocado su deterioro (Mena et al., 2001, p.1). En Ecuador los páramos permiten regular la hidrología regional y constituyen la fuente de agua potable para consumo humano de la parte Norte de los Andes, de esta manera cumplen una función hidrológica, como "fabricas" de agua (Hofstede, 1997, p. 1).

Debido a las actividades que se realizan en los páramos, el agua que de allí proviene es susceptible de contaminación o alteración de los parámetros de calidad, y las comunidades que hacen uso de esta agua necesitan conocer su calidad. Las zonas rurales carecen de servicio de alcantarillado y agua potable y en su mayoría transportan el agua por mangueras, lo cual genera riesgos para su salud y sobre todo deja ver que, a pesar de los avances que se dan en el mundo, aún existe inequidad entre las zonas urbanas y rurales ya que existen tratados y leyes que contemplan derechos que en la realidad no se hacen efectivos.

A pesar de que el agua es un recurso natural, es necesario tratarla para que sea apta para el consumo humano ya que la contaminación puede ocurrir por la presencia de agentes naturales o como consecuencia de las actividades humanas; sin embargo, las comunidades que se encuentran ubicadas en sitios alejados, no cuentan con sistemas que les permitan tratar el agua y volverla apta para el consumo. La falta de agua de calidad causa un impacto negativo en estas zonas ya que las instituciones no pueden brindar una solución centralizada para abastecer con agua segura a estas zonas (Torres et al., 2017, p. 454).

El incremento de la población provoca que cada vez se busquen más maneras de subsistir y en el área rural esto se observa en el avance de la frontera agrícola, sacrificando los páramos para actividades como la agricultura y la ganadería, la consecuencia de esto es la alteración del ecosistema de los páramos. Por esta razón, se ve la necesidad de realizar un estudio que permita determinar la calidad del agua en las comunidades Telempala, Chiquicaz, Chamboloma, Bayubug y la Merced de Guiltus pertenecientes a la parroquia Calpi, de la provincia de Chimborazo. El área de estudio escogida para cada comunidad comprendió la fuente, es decir las vertientes, los tanques reservorios, la primera y la última casa, de esta manera los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica permitió conocer el estado actual del agua de consumo de esas comunidades, encontrando los parámetros fuera de los límites permisibles y detectar el lugar en el que se produjo dicha alteración. De esta manera, se determinó el área en que se debe corregir los parámetros que están fuera de la norma. Con la caracterización se pudo determinar la calidad del agua en la fuente y en las casas, información que fue socializada en cada una de las comunidades en las que se realizó este estudio, contando con las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado parroquial de Calpi para la toma de decisiones.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Este trabajo forma parte del proyecto “ESPOCH Universidad Latinoamericana por el Comercio Justo” en convenio con Fundación Maquita y en coordinación con el GAD parroquial de Calpi, cuya finalidad es contribuir al desarrollo de las comunidades de la provincia de Chimborazo. La fundación Maquita, desde su creación, ha direccionado su trabajo a los enfoques transversales que les permite luchar con ahínco en la búsqueda de alternativas para eliminar brechas y desigualdades económicas, sociales, culturales, políticas y territoriales, de manera que se logre la equidad social en todas sus dimensiones con el trabajo mancomunado y la participación activa de hombres y mujeres en las diferentes instancias para alcanzar el buen vivir de sus comunidades.

En la provincia de Chimborazo se han realizado investigaciones que han permitido concluir que, en varias parroquias, sobre todo en el sector rural, el agua no es apta para el consumo humano; sin embargo, esta agua se sigue consumiendo ya que en la mayoría de comunidades del sector rural no existen sistemas de tratamiento que permitan mejorar su calidad. Por esta razón, se ve la necesidad de realizar un estudio técnico que permita determinar el estado actual del agua de consumo de las comunidades Teempala, Chiquicaz, Chamboloma, Bayubug y La Merced de Guiltus, pertenecientes a la parroquia Calpi, para proponer alternativas de tratamiento con la finalidad de mejorar su calidad.

1.2. Justificación

El acceso deficiente al agua potable se ha convertido en un gran problema, siendo la segunda causa de muerte infantil del planeta. Datos estadísticos muestran que 1,8 millones de niños mueren al año como consecuencia de problemas derivados del consumo de agua insalubre (Cadena y Ramírez, 2014, pp.184).

La Constitución de la República del Ecuador garantiza el derecho al agua, pero esto queda sin efecto cuando el agua de consumo no cumple con los parámetros de calidad que exige la norma, varios estudios demuestran que existe contaminación en el agua de consumo, muchos de ellos están enfocados en el sector urbano, pero el país no solo está integrado por el sector urbano sino

también por el sector rural en donde muchas comunidades no cuentan con sistemas de tratabilidad que les permitan consumir agua segura.

La importancia de este estudio técnico radica en la necesidad de garantizar el derecho constitucional al agua de consumo que sea segura en las comunidades de la zona sur pertenecientes a la parroquia Calpi de la provincia de Chimborazo. De esta manera se cumple con los objetivos que persigue el proyecto “ESPOCH Universidad Latinoamericana por el Comercio Justo” en convenio con Fundación Maquita, que es servir a la comunidad. Para cumplir con este objetivo se determinaron varios puntos de muestreo de acuerdo a las características específicas de cada comunidad, con el fin de obtener datos confiables, de manera que se pueda verificar si el agua de consumo de las comunidades cumple o no con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que exige la norma INEN 1108:2006 y proponer alternativas de solución de acuerdo a los resultados obtenidos.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Determinar la calidad de agua de consumo en la Zona Sur de las comunidades Telempala, Chiquicaz, Chamboloma, Bayubug y La Merced de Gultus pertenecientes a la parroquia Calpi de la provincia de Chimborazo.

1.3.2. Específicos

- Diagnosticar la situación actual del sistema de abastecimiento de agua de consumo de las comunidades.
- Determinar los sitios de muestreo a lo largo del sistema de distribución para el estudio de la calidad del agua en las comunidades.
- Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo en las cinco comunidades de la Zona Sur de la parroquia Calpi según la norma INEN 1108:2006.
- Establecer alternativas de tratabilidad más adecuados para el buen funcionamiento del sistema de distribución del agua de consumo de las comunidades.
- Caracterizar el agua posterior al tratamiento mediante análisis fisicoquímico y microbiológico, a nivel de laboratorio, según la normativa INEN 1108:2006.
- Realizar una capacitación a las personas encargadas del mantenimiento del sistema de distribución de agua de consumo de las comunidades.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

El agua es un recurso que se encuentra en la naturaleza, pero esto no quiere decir que se pueda beberla directamente sin que haya recibido un tratamiento previo, es por eso que se debe realizar estudios que permitan determinar su calidad a través de la medición de determinados parámetros; varios estudios se han enfocado en determinar la calidad del agua en las zonas urbanas del Ecuador, dejando a un lado a las comunidades de las parroquias rurales, sobre todo a las más alejadas, algunos estudios referentes a la calidad del agua en el parroquia Calpi se han realizado únicamente a la comunidad Nitiluisa que es una de las comunidades más grandes de la parroquia. En el proyecto realizado por Logroño (2015, p. 78) titulado “Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para consumo humano para la Comunidad Nitiluisa”, se obtuvo como resultado que el agua que llega a la comunidad Nitiluisa proviene de una vertiente subterránea y mediante caracterización fisicoquímica se determinó que los niveles de fosfatos y nitritos superan los límites permisibles establecidos en la norma NTE INEN 1108:2006. Se considera que los fosfatos son los causantes del crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas y pueden producir enfermedades como descalcificación, de tipo digestivo, etc.; por otro lado, los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos (Cabrera et al., 2003, p. 88), por lo tanto, se concluyó que es necesario realizar un tratamiento para controlar estos parámetros.

Con base en el proyecto de investigación desarrollado por Milán (2015, pp. 10-12), titulado “El agua potable y su incidencia en la condición sanitaria de los moradores de la comunidad Nitiluisa Rumipamba, parroquia Calpi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo”, se concluye que el suministro de agua en las comunidades carece de procesos de desinfección y mantenimiento de los sistemas de agua, motivo por el cual es necesario implementar nuevos sistemas en el sector de estudio.

En el trabajo realizado por Tituaña (2020, pp. 2-4) que titula “Análisis, evaluación y propuesta de mejoramiento de la línea de conducción de agua de consumo en la comunidad de Nitiluisa, provincia de Chimborazo”, se determinó que las comunidades más alejadas de la parroquia Calpi no tienen acceso al agua potable, sino que se consume agua entubada lo que puede desencadenar enfermedades intestinales e infecciosas afectando a la salud de la población.

Con los resultados obtenidos en las investigaciones mencionadas anteriormente, se concluye que es necesario determinar la calidad actual del agua de consumo de las comunidades Teempala, Chiquicaz, Chamboloma, Bayubug y La Merced de Gultus, pertenecientes a la parroquia Calpi, de la provincia de Chimborazo, para proponer alternativas de tratamiento que permitan mejorar su calidad, ya que estas comunidades no cuentan con estudios referentes a la calidad del agua y los antecedentes investigativos permiten tener un conocimiento previo de los problemas que estas aguas pueden presentar.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. El Agua

El agua es un líquido que cubre más del 70% de la superficie del planeta, contribuye a regular el clima del mundo, posee propiedades únicas esenciales para la vida. Constituye el componente más abundante de la superficie terrestre, una molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (Fernández, 2012, pp. 148-151).

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida, forma parte de los seres vivos e interviene en diferentes reacciones químicas, constituye uno de los cuatro recursos en los que se apoya el desarrollo.

2.2.2. Agua cruda o en estado natural

Se refiere al agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento, es decir que mantiene su estado natural, su calidad depende de su origen, posición geográfica y de los hábitos de los pobladores (Sierra, 2011, p. 40).

2.2.3. Aguas residuales

Es aquella que ha sido utilizada en un determinado proceso; se pueden agrupar en domésticas, comerciales e industriales (Sierra, 2011, p.41).

2.2.4. Agua potable

Es aquella que se considera idónea para el consumo humano y para todo uso doméstico ya que ha sufrido un tratamiento de purificación o un proceso mediante el cual su consumo se vuelve seguro

y no implica ningún riesgo para la salud (Pullés, 2014, p. 26). El agua puede contener microorganismos patógenos por lo que se vuelve necesario tratarla de forma adecuada para su uso, además debe cumplir con ciertos parámetros establecidos en diferentes normas puesto que, si los valores exceden los límites permisibles pueden provocar enfermedades y afectar la salud de las personas, es por eso que la potabilización consiste en la eliminación de bacterias patógenas y el control de parámetros para que las personas puedan consumir agua segura.

2.2.5. Fuentes de abastecimiento de agua dulce

El agua dulce es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida, debido a esto, el hombre a lo largo de su existencia ha empleado técnicas y métodos que le permitan dotarse del líquido vital.

2.2.5.1. Pluviales

Son el resultado del agua que se evapora de lagos, ríos, mares, etc., y que posteriormente se precipitan como lluvia. Las aguas pluviales son una importante fuente de agua dulce, puesto que en varios lugares se usa esta agua para el riego de cultivos, para el consumo de animales e incluso para el consumo humano siempre que haya recibido un tratamiento previo (Logroño, 2015, p. 6).

2.2.5.2. Superficiales

Son aquellas que provienen de lagunas, lagos, riachuelos, ríos, arroyos, etc., es decir, el agua que se encuentra en la superficie y al alcance de los seres humanos, lamentablemente al encontrarse tan expuesta es susceptible de contaminación. Existen en mayor cantidad que las subterráneas, pero necesitan un tratamiento más complejo antes de ser distribuidas para su consumo ya que su calidad depende del lugar en el que se encuentren, es decir de las condiciones geológicas y ambientales (Logroño, 2015, p. 6).

2.2.5.3. Subterráneas

Constituye el 98,4% del agua dulce no congelada y el 25% del total de agua dulce, el agua drena por gravedad hasta una zona no saturada, donde los poros están llenos de agua y de aire parcialmente, el agua sigue descendiendo hasta llegar a la zona de saturación, esta agua es la que se llama agua subterránea. La formación geológica a través de la cual fluye horizontalmente el agua desde las zonas de mayor presión hasta las de menor presión es el acuífero, de éste se bombea

el agua, se capta con pozos o fluye de manera natural en las fuentes y manantiales (Navas, 2017, pp. 27-28).

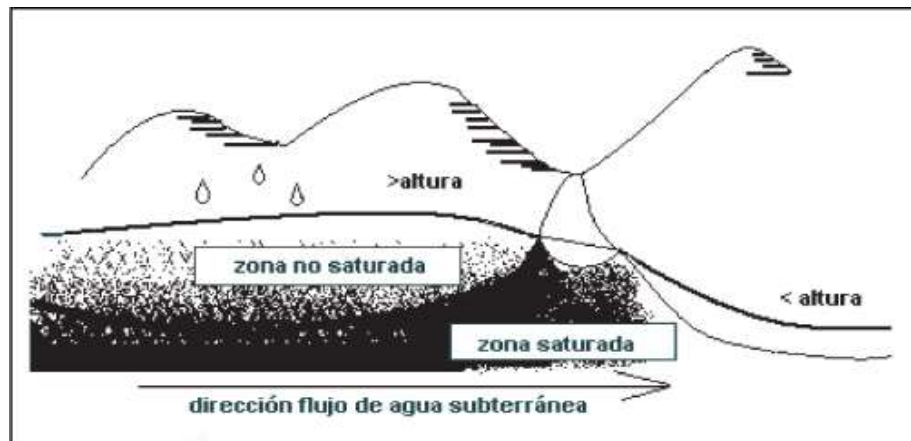


Ilustración 2-1: Dirección de flujo de agua subterránea

Fuente: (Navas, 2017, p.28)

2.2.5.3.1. Problemas en el uso de las aguas subterráneas

El uso indebido de las aguas subterráneas produce muchos problemas que pueden demorarse en volverse evidentes. Entre los principales se encuentran:

- **Por agotamiento del acuífero** para realizar un correcto uso de las aguas subterráneas se debe saber que, en aquellos lugares en los que las precipitaciones son limitadas, los acuíferos se cargan de agua de manera muy lenta por lo que si se consumen de manera excesiva se agotan (Navas, 2017, p. 28).
- **Por contaminación de las aguas subterráneas** los procesos contaminantes pueden ser de tipo puntual y no puntual:
 - Fuentes de Contaminación Puntual este tipo de contaminación generalmente es más intensa en el lugar de origen; la dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo determina los lugares en los que los pozos tendrán agua contaminada y en los que no agotan (Navas, 2017, p. 29). Algunas de ellas son:
 - ✓ Fugas de vertederos urbanos y lagunas de tratamiento de aguas residuales que se infiltran en los terrenos.
 - ✓ Lixiviados de vertederos de minas, depósitos de combustibles con fugas, depósitos de residuos radiactivos, etc.
 - ✓ Derrames de oleoductos.
 - ✓ Descarga de sistemas sépticos mal operados.
 - Contaminación No Puntual

Constituye el problema principal de los acuíferos. Se da principalmente por:

- ✓ Uso excesivo de pesticidas y fertilizantes en la agricultura.
- ✓ Excesiva explotación de acuíferos lo que favorece que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces (Navas, 2017, p. 31).

2.2.6. Calidad del agua

Son condiciones en que se encuentra el agua respecto a características fisicoquímicas y microbiológicas, ya sea en su estado natural o cuando ha recibido algún tratamiento mediante el accionar humano. Generalmente, la calidad del agua se determina comparando las características físicas, químicas y microbiológicas de una muestra de agua con estándares de calidad del agua establecidos en una norma (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016, p.2).

2.2.7. Análisis fisicoquímico del agua de consumo humano

Son aquellos que repercuten directamente en las condiciones estéticas del agua (Sierra, 2011, p. 55).

2.2.7.1. Turbidez

La turbidez o turbiedad es la “capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz” (Sierra, 2011, p. 55). La turbiedad es importante debido a que su presencia en el agua es causa de rechazo por el consumidor, además es un parámetro necesario para decidir cuáles son los procesos más adecuados para tratar el agua, ya que la turbidez en un agua puede producirse por distintos materiales en suspensión (Romero, 2009, p. 107). En la actualidad, el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico y se expresan los resultados en unidad de turbidez nefelométrica (UTN).

2.2.7.2. Color

Es un parámetro que está ligado a la turbiedad, existen teorías que determinan que el color puede producirse por los coloides, las sustancias disueltas, disolución de ciertos minerales que están presentes en el suelo y por la descomposición de materia vegetal (Sierra, 2011, p. 56). En el agua es posible reconocer dos tipos de color: el color verdadero, que es el color de la muestra cuando se ha removido su turbidez y el color aparente, que incluye tanto el color de las sustancias en solución y coloidales, así como el color debido al material suspendido, el color aparente se determina en

la muestra original sin que previamente se haya realizado centrifugación o filtración (Romero, 2009, p. 109).

El color se determina por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores calibrados. Previo a la determinación del color verdadero es necesario remover la turbidez mediante centrifugación de la muestra, luego se determina su color por comparación de una serie de estándares de color preparados a partir de una solución patrón de K_2PtCl_6 , la misma que contiene 500mg/L de platino y 250 mg/L de cobalto para que la tonalidad sea adecuada (Romero, 2009, p. 109).

2.2.7.3. Olor y sabor

Son dos parámetros íntimamente ligados, que tienen que ver con la presencia de materia indeseable lo que causa el rechazo del consumidor. El agua puede verse afectada en estas características debido a la presencia de cloruro de sodio, ácido sulfhídrico, hierro y manganeso, plancton, desechos industriales, descomposición de materia orgánica, entre otros. En lo que respecta a la determinación de olores y sabores del agua no existen instrumentos que puedan hacerlo, de manera general en los reportes de análisis de aguas se coloca como presentes o no presentes (Sierra, 2011, p. 57).

2.2.7.4. Temperatura

Este parámetro es considerado de gran importancia ya que además de afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, también afecta el diseño de la mayor parte de los procesos de tratamiento del agua (Sierra, 2011, p. 58).

Para que los resultados sean buenos, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestro. La determinación debe realizarse con un termómetro de mercurio, sumergiéndolo en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, la lectura debe efectuarse después de un lapso suficiente hasta que se estabilice el nivel de mercurio, debido a que el mercurio es venenoso, se debe evitar la rotura del termómetro en el agua de consumo (Romero, 2009, p. 111).

2.2.7.5. Sólidos

Los sólidos totales se definen como la materia que permanece como residuo después de haberse realizado la evaporación y secado a 103°C. La determinación de sólidos totales comprende al

material disuelto y no disuelto, esto se realiza evaporando la muestra en una cazuela, cuyo peso se determina con anterioridad, sobre un baño María y después se seca a una temperatura de 103 - 105°C.

Los sólidos disueltos se determinan directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos se determinan por filtración usando un filtro de fibra de vidrio o de asbesto, en un crisol Gooch, previamente pesado, el crisol con el contenido se seca a una temperatura de 103-105°C, el incremento de peso representa el valor de sólidos suspendidos (Romero, 2009, p.112).

2.2.7.6. Conductividad eléctrica

Este parámetro indica las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente Mg, P, Ca, Na, cloruros, bicarbonatos y sulfatos. Sus unidades de medida son $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si las concentraciones de conductividad eléctrica son altas quiere decir que las aguas son corrosivas (Sierra, 2011, p.60).

2.2.7.7. pH

Es el término que se utiliza para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. En los análisis químicos la escala del pH es de 0 a 14. Está definido por convención como:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

El pH mide el grado de alcalinidad o acidez, pero no determina el valor de estos. El pH se puede medir mediante instrumentos eléctricos (pHchímetro) (Sierra, 2011, p.60).

2.2.7.8. Alcalinidad

Este parámetro se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, la alcalinidad ayuda a determinar la existencia de sustancias básicas en el agua, iones como $[\text{CO}_3^{2-}]$, $[\text{HCO}_3^-]$ y $[\text{OH}^-]$, siendo los dos primeros, iones que aparecen en las aguas naturales debido a las reacciones que se producen entre el dióxido de carbono y los materiales naturales del suelo (Sierra, 2011, p. 61-62).

La alcalinidad influye en la calidad del agua debido a varios motivos:

- Si se encuentra en altas concentraciones el agua tendrá un sabor desagradable.

- La presencia de iones de magnesio o calcio forman precipitados que taponan o dificultan el flujo en las tuberías (Sierra, 2011, p. 61-62).
- Es probable que el motivo de mayor importancia sea que la alcalinidad controla el proceso de coagulación química, control de la corrosión y evaluación de la capacidad tampón en lo que respecta al tratamiento del agua potable (Romero, 2009, pp. 119-120).

2.2.7.9. Acidez

La acidez del agua se define como su capacidad para: neutralizar bases, reaccionar con iones hidróxido, y ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. Las aguas con un exceso de acidez atacan a los dientes (Romero, 2009, p. 123). En ingeniería sanitaria la determinación de la acidez es importante debido a las características corrosivas de las aguas ácidas, el costo que implica su remoción y el control de las sustancias causantes de la corrosión.

En la mayor parte de las aguas el factor de corrosión es el CO₂, especialmente cuando está acompañado de oxígeno (Romero, 2009, pp. 123-124). Sin importar el tipo, las aguas que tienen acidez son corrosivas; por consiguiente, las aguas que contengan valores de acidez por encima de los límites permisibles deben ser tratadas (Sierra, 2011, p.60).

2.2.7.10. Dureza

Se refiere a la propiedad que poseen determinadas aguas de cortar el jabón, esto es, se necesita una gran cantidad de jabón para producir espuma. La dureza es ocasionada por cationes bivalentes en el agua, tales como Mg²⁺ y Ca²⁺. Otra característica de las aguas duras es que cuando se someten a altas temperaturas favorecen la formación de incrustaciones en las tuberías y equipos mecánicos, por lo que si se las va a utilizar en la industria requieren de un tratamiento, por medio de procesos de suavización o ablandamiento (Sierra, 2011, p. 64). Según Romero (2009, p. 130) en términos de dureza, las aguas pueden clasificarse en:

Tabla 2-1: Clasificación del agua por su dureza

Concentración de CaCO ₃ mg/L	Tipo
0-75 mg/L	Blanda
75-150 mg/L	Moderadamente dura
150-300 mg/L	Dura
>300 mg/L	Muy dura

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 2-2: Principales cationes y aniones causantes de la dureza en el agua

Cationes	Aniones
Ca ⁺²	HCO ₃ ⁻
Mg ⁺²	SO ₄ ⁻²
Sr ⁺²	Cl ⁻
Fe ⁺²	NO ₃ ⁻
Mn ⁺²	SiO ₃ ⁻²

Fuente: (Chacón, 2016, p.68)

Realizado por: Guillca, L., 2023

En menor medida, se considera al Al⁺³ y al Fe⁺³ como iones responsables de causar dureza. Generalmente, la dureza es igual a la concentración de cationes polivalentes del agua. Desde un criterio sanitario, las aguas duras son tan agradables para el consumo humano como las aguas blandas; a pesar de eso, un agua dura necesita mucho jabón para la formar espuma y crea contratiempos en el lavado; asimismo deposita incrustaciones y lodo encima de las superficies con las que entra en contacto, al igual que en los calentadores, recipientes, calderas en las que se calienta (Chacón, 2016, p. 68).

2.2.7.11. Cloruros

Los cloruros son aniones que de manera general se encuentran presentes en las aguas naturales. La dimensión de su concentración varía mucho, y casi siempre es mayor cuando aumenta el contenido mineral de las aguas. El valor de cloruros para el agua potable no debe exceder los 250 mg/L. Concentraciones superiores a esta provocan que el agua tenga un sabor salado. Desde otra perspectiva, la determinación de la concentración de los cloruros en el agua es muy útil como un señalador de la presencia de contaminación por aguas residuales domésticas. Para eliminar el exceso de cloruros y de sales en general, se debe someter al agua a un proceso de desmineralización o conversión de agua salina. El factor económico se convierte en una limitante para obtener agua dulce partir de agua dulce salada, debido a que los métodos para realizar esta conversión son relativamente caros; sin embargo, por la escasez de fuentes de abastecimiento en muchas zonas del mundo, la desmineralización amplía cada vez más su campo de aplicación; entre los tratamientos de desmineralización más comunes se encuentran la condensación, evaporación, ósmosis inversa e intercambio iónico (Chacón, 2016, p. 76).

2.2.7.12. *Cloro residual*

La cloración del agua para suministro y residual permite destruir o desactivar los microorganismos que causan enfermedades. Otra ventaja importante de la cloración, especialmente en el tratamiento del agua de bebida, es que mejora de manera general su calidad, como producto de la reacción del cloro con el hierro, manganeso, amoníaco, sulfuro y algunas sustancias orgánicas. El cloro suministrado al agua en su forma molecular o de hipoclorito experimenta una hidrólisis inicial para formar cloro libre consistente en cloro molecular acuoso, ion hipoclorito y ácido hipocloroso. Una proporción adecuada de estas formas de cloro libre depende del pH y la temperatura. Respecto al pH de la mayoría de las aguas, predominarán el ácido hipocloroso y el ion hipoclorito (Chacón, 2016, p. 82).

El cloro libre reacciona de manera sencilla con el amoníaco y algunos compuestos de nitrógeno, produciendo cloro combinado. Como resultado de esta reacción se forman cloraminas, monocloraminas, dicloraminas y tricloruro de nitrógeno. La presencia como las concentraciones de estas formas combinadas de cloro dependen fundamentalmente del pH, la temperatura, la demanda absoluta de cloro, la proporción inicial de cloro nitrógeno y el tiempo de reacción (Chacón, 2016, p. 82).

2.2.7.13. *Hierro*

El hierro muy raramente alcanza concentraciones de 1 mg/L en aguas superficiales oxigenadas. En otro orden, la presencia de hierro en el agua puede provocar manchas en la porcelana y en la ropa de lavado. En condiciones reductoras, el hierro está presente en estado ferroso. En carencia de iones que forman complejos, el hierro férrico no es considerablemente soluble a menos que el pH sea muy bajo. Cuando el hierro ferroso se expone al aire o al añadir oxidantes se oxida al estado férrico y puede hidrolizarse para formar óxido férrico hidratado insoluble (Chacón, 2016, p. 96).

La presencia del hierro en las aguas subterráneas suele deberse a la disolución de minerales y rocas, principalmente a los óxidos, carbonatos, sulfuros y silicatos que contiene este metal. El hierro se halla en los minerales de silicatos de las rocas ígneas; anfíboles, piroxenos, y algunas micas también suelen contener este metal. Además, se encuentran en la forma de diferentes óxidos, tales como la limonita ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), hematita (Fe_2O_3) y magnetita (Fe_3O_4). Los minerales carbonatados y sulfurados de igual forma son fuentes importantes de hierro, como la pirita (FeS_2) y la siderita (FeCO_3). La precipitación de hierro puede causar inconvenientes en los

procesos de tratamiento de aguas, como por ejemplo en los de intercambio iónico para los procesos de ablandamiento. Para este caso, es necesario realizar la eliminación del hierro previo a iniciar la operación de intercambio (Chacón, 2016, p. 96).

2.2.7.14. Arsénico

La polución por Arsénico está vinculada al uso de pesticidas o herbicidas. Dificulta la reproducción celular. Se acumula en los tejidos de varios organismos, en consecuencia, los efectos dañinos pueden durar un tiempo cuando la concentración es baja, pero a pesar de ello es mortal (Sierra, 2011, p. 87).

2.2.7.15. Cadmio

Es particularmente peligroso debido a que se puede combinar con otras sustancias tóxicas. En las personas causa graves enfermedades cardiovasculares, también, es un irritante gastrointestinal (Sierra, 2011, p. 87).

2.2.7.16. Mercurio

Cuando se puede evidenciar su presencia en el agua de consumo de alguna forma logra invadir el cuerpo humano a través de los tejidos de la piel o ingestión de los alimentos preparados con esta agua. Debilita los músculos de manera progresiva, genera parálisis eventual, pérdida de la visión, deteriora otras funciones cerebrales, estado de coma o muerte (Sierra, 2011, p. 87).

2.2.7.17. Plomo

Es un compuesto tóxico que se acumula en el cuerpo humano. Produce distintos síntomas en los tejidos vulnerables. Cuando el agua se encuentra contaminada con sales de plomo se forma en los peces una especie de película mucosa coagulante causándoles sofocación (Sierra, 2011, p. 87).

2.2.7.18. Selenio

El selenio (Se) es un micro mineral proveniente de las reacciones excesivas de oxidación y su fuente primaria es el suelo, por medio de la cadena trófica. Este micro mineral tiene un comportamiento doble en la salud del ser humano, debido a su pequeña ventana terapéutica, el

intervalo entre sus efectos de deficiencia y toxicidad se vuelve un problema para la comunidad científica (López-Bellido y López, 2013, pp. 1397-1398).

2.2.7.19. Fosfatos

El ion fosfato (PO_4^-) se compone a partir del fósforo inorgánico que está presente como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. El ion fosfato generalmente opera como nutriente para el crecimiento de algas, lo cual quiere decir que al existir mayor concentración de fosfatos (PO_4^-), las algas crecen de manera desmedida lo que implica que la cantidad de oxígeno presente en el agua se vea afectada y, por ende, se descontrola el crecimiento de materia orgánica viva, lo que conlleva un mayor nivel de descomposición que da como resultado un proceso de eutrofización (Bolaños et al., 2017, p. 18).

2.2.7.20. Nitritos y nitratos

Son compuestos solubles que se conforman molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En condiciones ambientales, el nitrito (NO_2^-) normalmente se convierte a nitrato de manera muy fácil (NO_3^-), lo que significa que el nitrito muy raramente está presente en aguas subterráneas. A pesar de que estos compuestos pertenecen al ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas aumentan sus niveles principalmente en el suelo, y esto se debe a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar importantes concentraciones en lechos o ríos profundos (Bolaños et al., 2017, p. 17).

En relación con la ingesta de nitratos y sus posibles consecuencias en el ser humano, un excedente de estos iones en el agua potable causa metahemoglobinemia, una enfermedad que se manifiesta en bebés de hasta 6 meses de edad principalmente y provoca disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de los glóbulos rojos; como resultado inmediata de ello, produce una disminución del oxígeno en los órganos y tejidos de todo el cuerpo, causando daños en ellos e incluso la muerte (Bolaños et al., 2017, p. 17).

2.2.7.21. Fluoruros

El flúor provoca efectos beneficiosos y perjudiciales en la salud humana, con un pequeño intervalo entre las ingestiones asociados con sus efectos beneficiosos para la salud y los efectos adversos (Organización Panamericana de la Salud, 2013, p.1).

Los efectos sobre el hueso se consideran muy relevantes para la evaluación de los efectos adversos de la exposición a largo plazo de los seres humanos a fluoruro. Fluorosis esquelética es una discapacidad invalidante que daña a millones de personas en muchas regiones de China, África e India. La ingesta de fluoruro en el agua o en productos alimenticios es el factor fundamental causal en la incidencia de fluorosis esquelética endémica (Organización Panamericana de la Salud, 2013, p.1).

Tabla 2-3: Requisitos fisicoquímicos del agua para consumo humano y doméstico

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Color	Unid. Pt/Co	<15
Turbiedad	NTU	5
pH	---	6,5 – 8,5
Conductividad	μS/cm	<1250
Cloruros	mg/L	250
Dureza	mg/L	200
Fluoruros	mg/L	1,5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,01
Nitratos	mg/L	<10
Hierro	mg/L	0,3
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,003
Mercurio	mg/L	0,006
Plomo	mg/L	0,01
Selenio	mg/L	0,01
Fosfatos	mg/L	0,3
Sólidos Totales	mg/L	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	500

Fuente: Norma NTE INEN 1108:2006. Agua potable. Requisitos, 2006, p. 2

Realizado por: Guillca, L., 2023

2.2.8. Análisis microbiológico del agua de consumo humano

Las aguas crudas pueden poseer una amplia diversidad de microorganismos, que pueden ser patógenos y no patógenos. Entre los principales microorganismos que pueden producir enfermedades están los virus, bacterias, hongos, algas y algunos protozoos. Algunas de las

enfermedades que se transmiten por el agua son: cólera, gastroenteritis, fiebre tifoidea, disentería, parasitismo, hepatitis A, conjuntivitis, entre otras. Debido a que son muchos los microorganismos que están en el agua y causan enfermedades y su dificultad para la selección de un parámetro para medir la calidad bacteriológica del agua se tuvo que elegir como un indicador a un grupo de microorganismos (Sierra, 2011, p.79).

El indicador de la calidad bacteriológica del agua es el grupo de bacterias coliformes, el cual de manera general no es patógeno, a menos que se encuentre en un número elevado, y habitan normalmente en el intestino de personas y algunos animales (Sierra, 2011, p.79). Para la selección de este indicador se tuvo algunas razones:

- La presencia de coliformes en el agua es un indicativo de contaminación fecal y por tanto una gran posibilidad de que además estén presentes organismos patógenos.
- Las bacterias del grupo coliforme están en mayor cantidad y viven más tiempo en el agua que los organismos patógenos, razón que hace que el análisis de laboratorio sea más rápido para que los microorganismos no escapen a la prueba, es decir no se tengan resultados negativos (Sierra, 2011, pp. 79-80).

A continuación, se presentan los parámetros microbiológicos permitidos para el agua de consumo humano, agua potable, en Ecuador.

Tabla 2-4: Requisitos microbiológicos del agua potable

	Máximo
Coliformes fecales:	<1,1*
Tubos múltiples NMP/100 mL ó Filtración por membrana UFC/ 100 mg/L	<1**
<i>Cryptosporidium</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ L	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 mL ó 10 tubos de 10 mL ninguno es positivo	
** <1 significa que no se observan colonias	

Fuente: NTE INEN 1108:2014. Requisitos, 2014, p. 3

Realizado por: Guillca, L., 2023

2.2.8.1. *Coliformes fecales*

Es un indicador indirecto del peligro potencial de polución con virus o bacterias de naturaleza patógena, puesto que las coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y de los animales (Sierra, 2011, p. 82). Los Coliformes fecales son microorganismos que tienen una estructura similar a la de una bacteria común llamada *Escherichia coli* la cual se transfiere por medio de excrementos. La *Escherichia coli* es la bacteria más representativa puesto que se encuentra en elevadas concentraciones en heces de origen animal, su cuantificación y cualificación se puede realizar por varios métodos como número más probable, filtración de membrana y equipos de análisis rápido (Molina, 2016, p.17).

Los coliformes fecales y en particular *Escherichia coli*, han sido seleccionados como indicadores de contaminación fecal por su alta concentración en diferentes tipos de muestras y su relación con el grupo tifoide-paratifoide, se transmite principalmente por la vía fecal-oral. El agua potable, los alimentos y los lugares de recreación son las principales vías de transmisión, como consecuencia su presencia causa varias enfermedades principalmente en los niños (Molina, 2016, p.17).

En un entorno ideal, el agua de consumo no debe contener ningún microorganismo patógeno, ni bacterias indicativas de contaminación fecal. Para tener la certeza de que un abastecimiento de agua esté libre de patógenos es necesario examinar muestras de agua periódicamente. La detección de *Escherichia coli* constituye una prueba decisiva de contaminación fecal, en la práctica, la detección de coliformes fecales es una alternativa admisible (Molina, 2016, p.18).

2.2.8.2. *Cryptosporidium*

Los coccidios del género *Cryptosporidium* son parásitos intracelulares que pueden introducirse en un abastecimiento de agua por contaminación fecal humana y, en ciertos casos, animal. Producen quistes de pared gruesa de 4 a 6 um de diámetro que se expulsan por las heces (De La Parte, et al., 2005, pp. 2-5). El género *Cryptosporidium* está compuesto por unas varias especies, de las cuales las frecuentes son: *Cryptosporidium parvum* y *Cryptosporidium hominis*. *C. parvum* es la causante de la mayoría de las infecciones en las personas, aunque otras especies también pueden causar enfermedades. *Cryptosporidium* es uno de los mejores ejemplos de microorganismos causante de una enfermedad emergente. Hasta 1976 no se descubrió que infectaba a las personas y la transmisión por el agua se confirmó por vez primera en 1984 (Molina, 2016, p.17).

2.2.8.3. *Giardia lamblia*

Son protozoos flagelados que parasitan el tracto digestivo del ser humano y de ciertos animales. El género *Giardia* se constituye por diversas especies, pero la infección que afecta a las personas (giardiasis) es causada por la especie *G. intestinalis*, también conocida como *G. duodenalis* o *G. lamblia*. El ciclo de vida de *Giardia* comprende dos etapas: la entidad morfológica denominada trofozoíto flagelado, que es la forma vegetativa la cual coloniza la parte proximal del intestino delgado de su hospedador provocando diversos síntomas de giardiasis, y la forma infectante, o quiste, la cual puede sobrevivir en el ambiente por períodos largos y contaminar mantos acuíferos y alimentos. El ciclo de vida inicia cuando el hospedador ingiere los quistes por medio de alimentos o agua contaminados, se transportan por el tracto digestivo del hospedador, y una vez que son expuestos a los ácidos gástricos se da el proceso de desenquistamiento en donde se liberan los trofozoítos y se adhieren al epitelio intestinal en donde permanecen hasta que se inicia el proceso de enquistamiento, cuando los trofozoítos migran al intestino delgado. Por la presencia de bilis se forman los quistes los cuales se eliminan a través de las heces. Finalmente, se produce la contaminación de otros alimentos o reservorios de agua (Quezada y Ortega, 2017, pp. 34-35).

2.2.8.4. *Coliformes totales*

La presencia de coliformes totales indica que el cuerpo de agua está contaminado o ha sido contaminado con materia fecal de animales o humanos (Sierra, 2011, p. 82).

2.2.9. Libro VI de la Calidad Ambiental

2.2.9.1. *Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico*

A continuación, se exponen los criterios que el Libro VI de la Calidad Ambiental considera para aguas de consumo humano y doméstico que solo requieren tratamiento convencional:

Tabla 2-5: Criterios de calidad de fuentes de agua que requieren tratamiento convencional

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de Calidad
Arsénico	As	mg/L	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 mL	2000
Coliformes Totales	NMP	NMP/100 mL	20000
Cadmio	Cd	mg/L	0,003
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75,0
Fluoruro	F ⁻	mg/L	1,5
Hierro total	Fe	mg/L	1,0
Mercurio	Hg	mg/L	0,006
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/L	50,0
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/L	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/L	0,01
Selenio	Se	mg/L	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	250,0
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Fuente: (Libro VI de la Calidad Ambiental, 2015, pp. 86-87).

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la siguiente tabla se encuentran los criterios de calidad para las aguas de consumo humano y uso doméstico que solo requieran de desinfección:

Tabla 2-6: Criterios de calidad de fuentes de agua que solo requieren desinfección

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de Calidad
Arsénico	As	mg/L	0,01
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100mL	20
Coliformes Totales	NMP	NMP/100mL	200
Cadmio	Cd	mg/L	0,003
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	15,0
Hierro total	Fe	mg/L	0,3
Mercurio	Hg	mg/L	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/L	50
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,2
Olor y Sabor			No objetable
Potencial Hidrógeno	PH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/L	0,01
Selenio	Se	mg/L	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	250
Turbiedad	TPH	UNT	5

Fuente: Libro VI de la Calidad Ambiental, 2015, pp. 87-88

Realizado por: Guillca, L., 2023

2.2.10. Métodos de tratamiento del agua de consumo

Los procesos de tratamiento parten de la premisa que el agua es uno de los principales medios por los cuales se pueden transmitir patógenos, sustancias nocivas, etc., los cuales desencadenan enfermedades, razón por la cual es necesario realizar un tratamiento a las aguas naturales con el fin de eliminar microorganismos, sustancias químicas, caracteres radiológicos y físicos nocivos para la salud de los seres humanos (Molina, 2016, p. 10).

2.2.10.1. Aireación

Este método elimina sustancias que provocan mal sabor, mal olor y compuestos orgánicos que se producen por los gases disueltos en el agua. El aire se difunde en el agua para la transferencia, pero a veces se necesita de una planta especializada que facilite una alta transferencia de masa. Los aireadores hacen que el agua se deslice por una capa delgada sobre plásticos y el aire va en sentido contrario de esta manera se obtiene una mejor transferencia de masa. Otra opción es difundir aire comprimido con un sistema de tubos agujereados bajo el agua. Estos aireadores sirven para oxidar el manganeso y el hierro (World Health Organization, 2011, pp. 570-571).

2.2.10.2. Cloración

Una forma de efectuar este método es empleando cloro gaseoso licuado, hipoclorito de calcio (granular) o hipoclorito de sodio (líquido) y aparatos que producen cloro en el lugar. El cloro gaseoso licuado se distribuye comprimido en tanques a presión, un clorador saca el gas del tanque y lo añade al agua de forma controlada, así se mide y regula el flujo del gas. El hipoclorito de calcio se debe disolver en el agua y luego combinar con el flujo principal. Se usa una bomba eléctrica o un sistema de gravedad para aplicar la solución de hipoclorito de sodio. El cloro que puede ser gas, hipoclorito de sodio o calcio se mezcla con agua y produce ácido hipocloroso (HOCl) y el ion hipoclorito (OCl^-) (World Health Organization, 2011, pp. 566-567).

La cloración marginal, la cloración a punto de quiebre y la supercloración-decloración son técnicas algunas técnicas que se usan para clorar el agua. La primera se aplica en aguas de buena calidad y consiste en añadir una cantidad de cloro que deje el nivel deseado de cloro libre residual. Como las aguas son de buena calidad, no necesitan mucho cloro. La segunda se basa en que la cantidad de cloro que se pone al agua es la justa para eliminar rápidamente todo el amonio del nitrógeno que hay en el agua y dejar un nivel adecuado de cloro libre residual que evite que se contamine de nuevo desde donde se clora hasta donde se consume. La tercera es una técnica que

consiste en añadir una cantidad elevada de cloro para lograr una reacción química y desinfección rápidas, y luego reducir el exceso de cloro libre residual, lo cual es muy importante por la toxicidad del cloro y también para evitar problemas de sabor. Este método se usa principalmente cuando la carga bacteriana cambia o el tiempo de retención en un depósito no es suficiente (World Health Organization, 2011, p. 556).

La cloración se usa principalmente para eliminar microbios del agua. Sin embargo, el cloro también tiene un efecto oxidante y puede ayudar a degradar algunas sustancias químicas, como, por ejemplo, algunos pesticidas que se oxidan con facilidad (World Health Organization, 2011, pp. 556-557).

2.2.10.3. Filtración

Los filtros pueden eliminar partículas existentes en el agua sin tratar, estos pueden ser de arena, a presión, horizontales o por gravedad. El filtro lento de arena funciona con un proceso biológico, mientras que los otros son procesos físicos. Los filtros a presión, horizontales y por gravedad pueden filtrar el agua sin tratar directamente.

Generalmente, los filtros rápidos de presión y por gravedad se usan después de que el agua ha pasado por coagulación y sedimentación (World Health Organization, 2011, p. 568). La filtración tiene varios efectos que hacen que se adhieran sustancias o compuestos al medio filtrante así se ajustan parámetros como la turbidez, pH y otros (Logroño, 2015, p. 18).

2.2.10.3.1. Filtros rápidos

Este método de filtración usa un depósito como medio filtrante de granos gruesos y poca profundidad, diferente a los filtros lentos. En la base hay un sistema de drenaje que contiene material filtrante recoge el agua filtrada. Estos filtros se pueden hacer al aire libre y aprovechar la gravedad para que el agua fluya. La filtración es más rápida que en los filtros lentos por el tamaño y el grosor del material filtrante (Logroño, 2015, p. 18).

2.2.10.3.2. Filtros lentos

Se trata de un depósito a cielo abierto, con características de impermeabilidad, por donde se hace circular el agua a través de una capa de material filtrante la cual es más gruesa que en los filtros rápidos, hasta llegar a un punto de salida. Estos filtros son muy eficientes sobre todo cuando no

hay una etapa previa de coagulación pues logran eliminar la mayor parte de sólidos que están en suspensión y reducen la carga biológica con rendimientos que alcanzan entre el 98 y 99% (Logroño, 2015, p. 18).

Los filtros lentos se emplean en aguas que no son muy turbias y con velocidades pequeñas, este proceso es uno de los más antiguos por su efectividad por su bajo costo para la construcción de plantas de tratamiento de agua potable (Logroño, 2015, p. 18).

2.2.10.3.3. Medios filtrantes

Los medios filtrantes son aquellos que permiten quitar partículas del agua y la purifican. El diseño del lecho filtrante va a depender de la calidad del agua que será sometida al tratamiento. El material filtrante se escoge de acuerdo al objetivo que se quiera lograr, como el tamaño, forma y peso de las partículas, que son los factores que influyen en la rapidez de la filtración (Sánchez, 2022, p. 32). El lecho filtrante adecuado es el que logra capturar más sólidos en suspensión y, sobre todo, el que mejora la calidad del agua (Logroño, 2015, p. 19).

Los medios filtrantes más empleados se detallan a continuación:

- **Arena** la arena de sílice es un material muy usado para filtrar el agua, ya que atrapa las partículas suspendidas cuando el agua pasa por el lecho de arena. De esta manera se logra potabilizar el agua al eliminar los flóculos más pequeños. La arena sílice es una molécula que no se disuelve en agua, tiene un alto punto de fusión y dureza lo que la hace muy útil para este fin (Sánchez, 2022, p. 32).
- **Grava** son rocas que se componen de trozos que miden entre 2 y 64 milímetros, se forman cuando rocas de la superficie terrestre se rompen, este tipo de lecho es muy bueno para retener partículas grandes (Sánchez, 2022, p. 33).
- **Carbón activado** se trata de un recurso natural que tiene la propiedad de retener, atraer y destruir sustancias contaminantes que se encuentran en el agua, su porosidad es muy alta, los microporos miden menos de 2 nanómetros de radio, lo que proporciona una gran superficie de adsorción. Su aplicación en el tratamiento de aguas sirve para eliminar compuestos químicos como el sulfuro de hidrógeno y el cloro, y contaminantes orgánicos como insecticidas, plaguicidas, entre otros (Sánchez, 2022, p. 33).
- **Antracita.** Es un tipo de carbón muy duro que tiene un fragmento con una forma especial. Esta forma ayuda a que se atrapen partículas sólidas que están flotando en el agua. Se usa

mucho para limpiar el agua porque las partículas quedan retenidas dentro de la capa filtrante (Sánchez, 2022, p. 33).

- **Zeolita.** Se trata de compuestos hidratados de metales con aluminio y silicio que forman estructuras cristalinas en tres dimensiones. Pueden intercambiar cationes y neutralizar algunos elementos, también son absorbentes naturales que capturan partículas de hasta cinco micras por su alto nivel de hidratación. La zeolita puede soltar y tomar iones del exterior, por ejemplo, del agua, a este proceso se llama intercambio iónico (Sampachc, 2020 p. 1), se emplea para purificar el agua porque la hace más transparente al filtrarla (Sánchez, 2022, p. 33).

2.2.10.3.4. Criterios de diseño del filtro

Los filtros lentos son una buena opción para las comunidades, porque son económicos, duraderos (años) y funcionan sin mecanismos, solo con la gravedad. Además, la zeolita que usan para filtrar tiene muchos beneficios, como quitar la turbidez, reducir microorganismos y se necesita menos cantidad que la arena (Logroño, 2015, p. 20).

Tabla 2-7: Criterios de diseño para filtros lentos

Criterios	Valor
Tasa de filtración	10 – 15 m/h
Medio Filtrante	Zeolita
Profundidad del medio	0,6 – 1 m
Tamaño efectivo del medio	0,15 – 0,45 mm
Coefficiente de uniformidad	1,5 - 4
Drenaje	Tubería perforada
Tiempo de lavado	5 – 15 min

Fuente: (Romero, 2006; citado en Logroño, 2015)

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 2-8: Otros criterios de diseño para filtros lentos

Criterios de diseño	Recomendación
Período de operación (h/d)	24
Período de diseño (años)	8 - 12
Tasa de filtración (m/h)	0,1 – 0,3
Altura del lecho filtrante (m)	0,8
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0,25
Altura de agua sobrenadante (m)	0,8
Borde libre (m)	0,1

Fuente: (Galvis, et al., 1998; citados en Sánchez, et al., 2007)

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 2-9: Parámetros de diseño de laterales

Parámetro	Valor
Espaciamiento de los laterales	1,5 – 2,0 m
Diámetro de los orificios de los laterales	2 – 4 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	10 – 30 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad de los orificios	0,3 m/s

Fuente: (Romero, 2006; citado en Logroño, 2015)

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 2-10: Parámetros de diseño para las velocidades en las tuberías del filtro

Parámetro	Valor
Afluente	0,15 – 3 m/s
Efluente	0,4 – 9 m/s

Fuente: (Romero, 2006; citado en Logroño, 2015)

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 2-11: Propiedades del medio filtrante

Parámetro	Valor
Tamaño efectivo	0,15 – 0,45 mm
Coficiente de uniformidad CU	1,50 – 4,0

Fuente: (Romero, 2006; citado en Logroño, 2015)

Realizado por: Guillca, L., 2023

2.2.10.4. Coagulación

Es el proceso que logra la neutralización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas, como los coagulantes, para obtener sustancias finas que transforman las impurezas que luego serán eliminadas por decantación y filtración (Molina, 2016, p.11).

La coagulación consiste en una mezcla rápida, donde el agua se agita fuertemente para formar una solución homogénea con los coagulantes en poco tiempo. Algunas ventajas de la coagulación son: eliminación de turbiedad, color y sustancias que causan olor y sabor, eliminación de microbios nocivos y destrucción de la biodiversidad del fitoplancton. El coagulante se debe elegir de acuerdo al propósito que se persigue, para esto se realiza una prueba de jarras en laboratorio (Molina, 2016, p.12).

2.2.10.4.1. Coagulantes

Entre los coagulantes que más se utilizan están el sulfato de aluminio o sulfato de alúmina $[Al_2(SO_4)_3]$, cloruro férrico ($FeCl_3$), sulfato ferroso ($FeSO_4$) o sulfato férrico $[Fe_2(SO_4)_3]$ (Romero, 2000; citado en Guzmán et al., 2013, p.254):

- **Sulfato de Aluminio:** se usa comúnmente para tratar el agua, y se puede encontrar en diferentes formas: como líquido, gránulos o polvo. Tiene varios beneficios en comparación con otros coagulantes como su precio económico, su sencillez de uso, poca generación de lodos, entre otros (Logroño, 2015, p.35).
- **Policloruro de Aluminio:** este coagulante tiene varias presentaciones como granulado, líquido o polvo, comúnmente se emplea en la remoción de materia coloidal de agua potable o residual, como tratamiento para clarificar aguas de procesos industriales, como sustituto de coagulantes no polimerizados ya que es más efectivo (Logroño, 2015, p.35). Además, permite la eliminación de turbidez, color, sólidos suspendidos, contaminantes orgánicos e inorgánicos. Su función consiste en desestabilizar partículas coloidales para formar coágulos de mayor tamaño, que precipitan por gravedad. Su fórmula comercial es $Al_2(OH)_3Cl$ y se elige respecto a otros coagulantes porque tiene mayor velocidad de sedimentación, menor tiempo de mezcla para la floculación, no modifica radicalmente el pH, se requiere menor cantidad de dosificación en comparación a otros coagulantes y aplicación es sencilla (Logroño, 2015, pp.35-36).

2.2.10.5. Floculación

La floculación permite el amontonamiento de las partículas resultado de la coagulación, con la moderada agitación del agua se forman flóculos de mayor tamaño y peso específico.

Este proceso permite la formación de partículas de mayor peso específico que el agua, mediante la unión de microfloculos, los aglutina disminuyendo su nivel de hidratación con lo que se obtiene una menor concentración volumétrica, que se verá reflejado en una mayor eficiencia en los procesos de filtración y sedimentación (Molina, 2016, p.12).

2.2.10.6. Desinfección

La desinfección se realiza como último proceso en los tratamientos de potabilización, puesto que es un tratamiento muy eficaz para la eliminación o inactivación de microbios presentes en el agua, lo cuales afectan a su calidad perjudicando la salud de los individuos (Logroño, 2015, p. 41).

El agua es uno de los medios a través del cual se transportan los microorganismos causantes de enfermedades, que principalmente proceden de heces fecales de animales o del ser humano a causa de su depósito en cauces de ríos, acequias, lagos, etc. Los coliformes fecales son microorganismos que se pueden indentificar mediante análisis de laboratorio, su presencia en una muestra de agua no siempre indica microorganismos patógenos, sin embargo, implica que este parámetro debe ser controlado (Logroño, 2015, p. 41). Los principales tratamientos de desinfección para el agua son:

Tratamiento Físico: este tipo de tratamiento es menos utilizado, consiste en eliminar microorganismos patógenos del agua mediante la erradicación de sólidos suspendidos , mediante procedimientos como filtración, aireación, decantación, floculación, coagulación, sedimentación, etc (Logroño, 2015, p. 41).

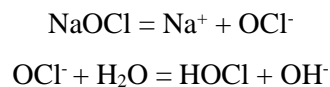
Tratamiento Químico: los agentes químicos más utilizados en la remoción de microorganismos patógenos son el cloro, el ozono y el dióxido de cloro; dentro de éstos se encuentra el hipoclorito de sodio, que es el más usado, y el cloro en su forma gaseosa (Logroño, 2015, p. 41).

El cloro es utilizado debido a factores importantes como: su capacidad para oxidar sustancias inorgánicas como nitritos, hierro, manganeso, etc., que son causantes del mal sabor, corrosión y daño de tuberías que transportan el agua; su acción bactericida, microbicida, alguicida y en menor grado virucida, facilita la formación de flóculos en las etapas de floculación y coagulación; además no se requiere de un equipo sofisticado para su dosificación, es seguro y de bajo costo.

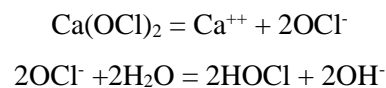
Entre las técnicas para el uso del cloro en las plantas de potabilización se encuentra la aplicación directa mediante difusores y la saturación de una parte de caudal de agua con cloro y su posterior mezcla con el caudal principal (Logroño, 2015, p. 41). El cloro es un agente que elimina microbios del agua de consumo, aguas residuales, piscinas, etc.; además, se lo ha utilizado como oxidante, para la oxidación de manganeso y hierro, para control de sabores y olores, en la oxidación de cianuros y sulfuros, y en la remoción de amoníaco (Romero, 2009, p. 274).

En purificación y tratamiento de aguas, el cloro se usa como gas que se genera a partir de vaporización almacenado bajo presión; como sólido, hipoclorito de alto grado, HTH, o hipoclorito de calcio, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, y como líquido, generalmente se usa hipoclorito de sodio, NaOCl (Romero, 2009, p. 274).

Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio, se tiene:



Producto de la reacción ocurre un incremento de alcalinidad, que depende de la magnitud en que el OCl^- reaccione con el agua (Romero, 2009, p. 275). Si el cloro se adiciona como hipoclorito de calcio, HTH, se tiene:



Como resultado, se produce un aumento tanto de la alcalinidad como de la dureza total del agua (Romero, 2009, p. 275).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagnóstico de la situación actual del sistema de abastecimiento de agua

3.1.1. Población de estudio y localización de las comunidades

Las comunidades Chamboloma, Chiquicaz, Telempala, Bayubug y La Merced de Guiltus, se encuentran ubicadas en la zona sur de la Parroquia Calpi, de la provincia Chimborazo, son comunidades pequeñas, sin tendencia al crecimiento poblacional, ya que sus habitantes más jóvenes salen a las ciudades grandes como Quito y Guayaquil en busca de mejores oportunidades.

A continuación, se presenta la ubicación de las comunidades de la zona sur de la parroquia Calpi:

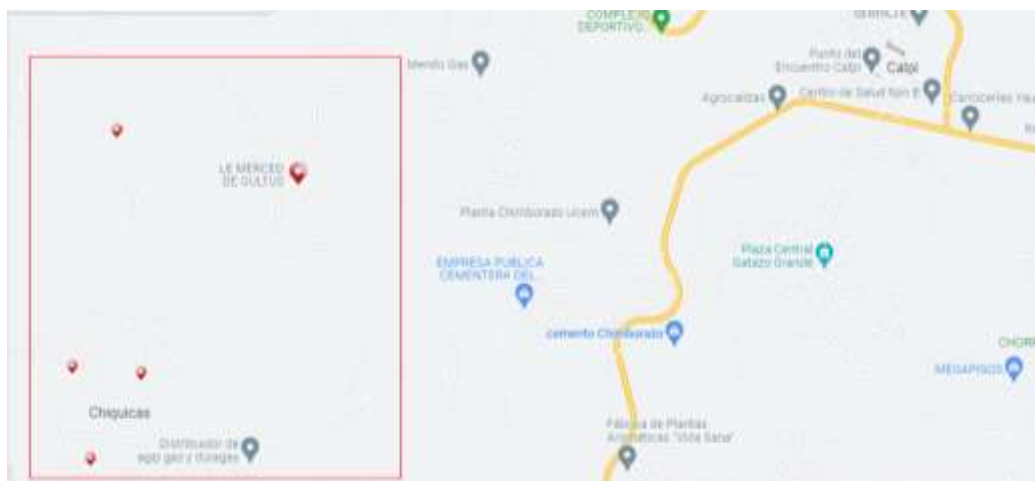


Ilustración 3-1: Ubicación de las comunidades de la zona sur de la parroquia Calpi

Fuente: Google Maps, 2023

3.1.1.1. Localización de la Comunidad Chamboloma

La comunidad comparte el sistema comunitario Naguijón con la comunidad Chiquicaz, tiene un número aproximado de 80 habitantes y posee autorización de uso y aprovechamiento de la vertiente de agua, su clima es frío, se encuentra a una longitud de $78^{\circ}78'12.9''$ y a una latitud de $1^{\circ}66'77.4''$ (Gad Parroquial Santiago de Calpi, 2020).

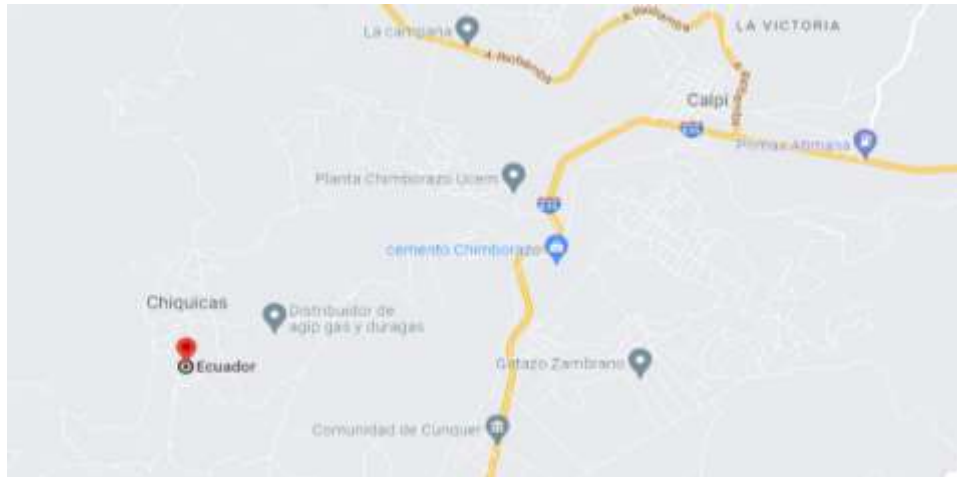


Ilustración 3-2: Ubicación geográfica de la comunidad Chamboloma

Fuente: Google Maps, 2023

3.1.1.2. Localización de la Comunidad Chiquicaz

La comunidad consta de 106 habitantes aproximadamente, se abastece de un sistema comunitario denominado Naguijon y posee autorización de uso y aprovechamiento de la vertiente de agua, se encuentra a una longitud de $78^{\circ}78'10.6''$, una latitud de $1^{\circ}66'25.6''$ y su clima es frío (Gad Parroquial Santiago de Calpi, 2020).



Ilustración 3-3: Ubicación geográfica de la comunidad Chiquicaz

Fuente: Google Maps, 2023

3.1.1.3. Localización de la Comunidad Teल्पala

La comunidad pertenece a la zona sur de la parroquia Calpi, consta de 50 habitantes aproximadamente, sus habitantes se abastecen de vertientes de agua proveniente de las faldas del

Chimborazo, se encuentra a una longitud de $78^{\circ}78'14.6''$, una latitud de $1^{\circ}64'89.2''$ y su clima es frío (Gad Parroquial Santiago de Calpi, 2020).



Ilustración 3-4: Ubicación geográfica de la comunidad Teल्पala

Fuente: Google Maps, 2023

3.1.1.4. Localización de la Comunidad Bayubug

La comunidad pertenece a la zona sur de la parroquia Calpi, consta de 80 habitantes quienes se benefician de la vertiente Ballagan, con un caudal de 0,5 L/s y posee autorización de uso y aprovechamiento de la vertiente de agua, se encuentra a una longitud de $78^{\circ}77'30.3''$, una latitud de $1^{\circ}66'44.6''$ y su clima es frío (Gad Parroquial Santiago de Calpi, 2020).



Ilustración 3-5: Ubicación geográfica de la comunidad Bayubug

Fuente: Google Maps, 2023

3.1.1.5. La Merced de Gultus

La comunidad cuenta con 90 habitantes aproximadamente, se encuentra a una longitud de $78^{\circ}77'46.2''$, una latitud $1^{\circ}64'91.4''$ y su clima es frío (Gad Parroquial Santiago de Calpi, 2020).



Ilustración 3-6: Ubicación geográfica de la comunidad La Merced de Gultus

Fuente: Google Maps, 2023

3.1.2. Situación actual del sistema de abastecimiento de agua

El agua de consumo de las comunidades Chamboloma, Chiquicaz, Teल्पala, Bayubug y La Merced de Gultus, proviene de vertientes subterráneas; el agua no recibe ningún tipo de tratamiento antes de su consumo, las comunidades únicamente cuentan con tanques que les permiten almacenar el agua y la transportan por medio de mangueras hasta sus casas.

El agua de las comunidades proviene de varias fuentes, las mismas que no se encuentran protegidas, y están expuestas a animales que habitan en la zona; de las cinco comunidades ubicadas en la zona sur de Calpi, Chiquicaz es la comunidad más grande pues cuenta con aproximadamente 106 habitantes, además comparte fuente con Chamboloma, las demás comunidades obtienen el agua de consumo de otras fuentes.

3.2. Determinación de los sitios de muestreo a lo largo del sistema de distribución de las comunidades

3.2.1. Muestreos en los sistemas de distribución de las comunidades

Debido a la oposición de las comunidades a la toma de muestras, no se logró realizar los muestreos en los puntos establecidos previamente, por lo que los puntos de muestreo se dividieron de la siguiente manera:

- En Chiquicaz por ser la comunidad más grande de la zona sur, se estableció cinco puntos de muestreo, en la fuente, tanque reservorio, primera casa, casa de la mitad y última casa; sin embargo, solo se logró recolectar muestras de la casa de la mitad y de la última casa.



Ilustración 3-7: Muestreo en la comunidad Chiquicaz

Realizado por: Guillca, L., 2023

En las demás comunidades por ser comunidades pequeñas se estableció cuatro puntos de muestreo partiendo de la fuente, tanque reservorio, primera casa y última casa, de las cuales:

- Chamboloma comparte fuente con Chiquicaz, y debido a que no se llegó a ningún acuerdo entre las dos comunidades no se pudo acceder a la fuente, por lo que las muestras se tomaron únicamente en el tanque de distribución, en la primera y en la última casa.



Ilustración 3-8: Muestreo en la comunidad Chamboloma

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la Merced de Gultus y Telempala también se tuvo inconvenientes en la toma de muestras, por lo que no se pudo acceder a las fuentes, ni tanques reservorios.

- En La Merced de Gultus se tomó muestras en la cancha central y en la última casa.



Ilustración 3-9: Muestreo en la comunidad La Merced de Gultus

Realizado por: Guillca, L., 2023

- En Teल्पala se tomó muestras en la primera y última casa.



Ilustración 3-10: Muestreo en la comunidad Teल्पala

Realizado por: Guillca, L., 2023

- En la comunidad Bayubug se realizó la toma de muestras en la fuente, tanque de distribución, primera y última casa.



Ilustración 3-11: Muestreo en la comunidad Bayubug

Realizado por: Guillca, L., 2023

Se realizaron dos muestreos en cada comunidad, durante el período noviembre - diciembre de 2022 y enero de 2023. El primer muestreo se realizó el 22 y 23 de noviembre de 2022 y el segundo muestreo se realizó el 20 de diciembre de 2022 y el 26 de enero de 2023; es importante aclarar que durante el primer muestreo se consideró la época de lluvia y el segundo muestreo se realizó en verano, para evaluar cómo se alteran los parámetros en presencia o ausencia de lluvia.

Tabla 3-1: Cronograma de muestreo para análisis fisicoquímico y microbiológico

LUGAR		FECHA			
		22-11-2022	23-11-2022	20-12-2022	26-01-2023
BAYUBUG	Fuente	X		X	
	Tanque de Distribución	X		X	
	Primera casa	X		X	
	Última casa	X		X	
LA MERCED DE GUILTUS	Cancha central	X		X	
	Última casa	X		X	
TELEMPALA	Primera casa		X		X
	Última casa		X		X
CHAMBOLOM A	Tanque reservorio		X		X
	Primera casa		X		X
	Última casa		X		X
CHIQUICAZ	Casa de la mitad		X		X
	Última casa		X		X
TOTAL		6 muestras	7 muestras	6 muestras	7 muestras

Realizado por: Guillca, L., 2023

3.3. Técnicas utilizadas en la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo de las comunidades

3.3.1. Técnica de muestreo

La toma de muestras de aguas provenientes de fuentes subterráneas suele ser dificultosa en algunas ocasiones esto se debe al origen o la manera en la que se ha logrado su captación. La muestra tomada debe ser representativa de toda el agua presente en el manantial, pozo o acuífero, es recomendable realizar varios muestreos para obtener resultados más confiables. La toma de

muestras debe realizarse correctamente y con todas las precauciones para evitar que se alteren en el intervalo entre el muestreo y el análisis.

Para la realización de los muestreos se usó recipientes estériles de polietileno de 1000 mL y para los análisis microbiológicos envases de orina de 100 mL, de acuerdo a lo que determina la norma NTE INEN 2176:1998 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Se etiquetó cada recipiente con identificación de la comunidad, punto de muestreo, hora y fecha en que se tomó la muestra, para evitar una confusión entre las muestras y los resultados en la realización de las pruebas de laboratorio. Las muestras fueron transportadas en un enfriador en el cual se colocó cubos de hielo para evitar la alteración de las muestras hasta la realización de las pruebas de laboratorio, según lo estipula la NTE INEN 2169:1998 acerca del muestreo, manejo y conservación de muestras.

Las muestras para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se tomaron en los tanques reservorios, y en las llaves de agua de las casas. En el primer muestreo no se realizó ninguna desinfección a los grifos de agua antes de la toma de muestras, únicamente se dejó correr el agua por un tiempo de 2 minutos y se procedió a la toma de muestras, en el segundo muestreo se limpió la boca del grifo con algodón, se desinfectó por flameado y se dejó correr el agua por un tiempo de 2 minutos antes de recolectar las muestras.

Los frascos para la recolección de las muestras no sufrieron manipulación antes de la toma de muestras, durante la toma se procedió a sujetar la base de los mismos, sin tocar la boca ni paredes internas de los frascos para garantizar la asepsia de los recipientes, una vez tomadas las muestras se tapó los frascos de manera inmediata. Las muestras para los análisis microbiológicos fueron tomadas en recipientes de orina de 100 mL, los envases no se llenaron de todo y se dejó un espacio de aproximadamente 10% de volumen total, este espacio es necesario para las pruebas que se realizan posteriormente. Los frascos de las muestras para los análisis fisicoquímicos se llenaron en su totalidad, evitando que exista aire sobre la muestra que pudiera producir una alteración de los resultados.

Se efectuó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de agua obtenidas de los diferentes puntos de muestreo de cada una de las comunidades, se realizó un muestreo en invierno y un muestreo en verano con el fin de comparar si existe o no variación en los parámetros del agua de consumo, de esta manera se logró determinar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles que establece la norma NTE INEN 1108:2006. Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos permitieron establecer un tratamiento para corregir la

calidad del agua de las comunidades y de esta manera los parámetros que se encuentran alterados puedan cumplir con la norma.

3.3.2. *Análisis de las muestras*

La metodología utilizada para la realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se describe en el ANEXO B. El estudio de la calidad del agua se realizó mediante los Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, se empleó reactivos y equipos de la marca HACH. Por lo tanto, los resultados que se obtengan empleando estas técnicas son admitidos en la presentación de informes sobre la calidad del agua potable.

3.4. Propuesta de tratabilidad

Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo de las comunidades, los resultados que se exponen en el Capítulo IV del presente trabajo, estos indicaron una alteración en los parámetros de fosfatos y coliformes totales. Se procedió a realizar un análisis de las alternativas de tratabilidad para mejorar la calidad, las pruebas se realizaron a nivel de laboratorio, en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

La finalidad fue encontrar un tratamiento que permita corregir el problema de las comunidades y de esta manera éstas puedan consumir agua segura. Después de la investigación en varias fuentes bibliográficas se optó por un sistema que conste de filtración y desinfección.

3.4.1. *Filtración con Zeolita*

El empleo de la zeolita como medio filtrante, resulta interesante por todas las características de este material, su capacidad de intercambio iónico puede resultar útil para la remoción de fosfatos. Para emplear la zeolita como material filtrante es necesario realizar una activación previa, para obtener mejores resultados. En consecuencia, se procedió a la activación térmica de la zeolita, por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 250°C, después de su activación se empleó este material en un filtro, se hizo pasar las muestras de agua a través del medio y el agua filtrada se sometió a análisis para verificar si el material fue idóneo para la remoción de fosfatos en las comunidades de la zona sur de la parroquia Calpi.

3.4.2. *Dosificación de cloro*

Después de la filtración se procedió a realizar la desinfección del agua, la prueba se realizó con hipoclorito de sodio al 10%. Para este proceso se preparó una solución madre de NaClO al 0,1%, tomando 1 mL de hipoclorito y aforando con agua destilada hasta los 100 mL. Se preparó cinco botellas de 1000 mL, a las cuales se agregó 100 mL de muestra de cada una de las comunidades y se colocó 2 mL de la solución madre en cada una de ellas, se dejó actuar por 30 minutos y se procedió a medir el cloro residual en el equipo HACH.

3.4.3. *Cálculos de Ingeniería*

3.4.3.1. *Caudales de las comunidades*

Las comunidades de la zona sur de la parroquia Calpi tienen vertientes de agua subterránea la cual utilizan para su consumo, pero ésta no recibe ningún tratamiento. Se trata de comunidades pequeñas de las cuales Chiquicaz es la más grande con un total de 106 habitantes aproximadamente, en conjunto la población de las comunidades alcanza un aproximado de 450 habitantes que utilizan el recurso hídrico.

El crecimiento poblacional es improbable puesto que sus habitantes en su mayoría son adultos, y los jóvenes han migrado a las ciudades en busca de oportunidades laborales. Las comunidades cuentan con vertientes únicas de las cuales se abastece de agua de consumo, es por esta razón que, al no tener más fuentes de agua y al no existir una tendencia de crecimiento poblacional no es necesario considerar un incremento de caudal. Los habitantes cuentan con una sola vertiente por comunidad con excepción de Chamboloma y Chiquicaz que comparten la misma fuente, el caudal para las comunidades se midió en L/s.

Tabla 3-2: Caudales de las comunidades y su promedio

COMUNIDAD	CAUDAL (L/S)
Chamboloma	1,64
Chiquicaz	1,53
Telempala	1,30
Bayubug	1,35
La Merced de Guiltus	1,23
PROMEDIO	1,41

Realizado por: Guillca, L., 2023

Se realizaría un solo modelo de filtro para las comunidades debido a la similitud en los caudales y a que todas presentan el mismo problema: un nivel elevado de fosfatos y coliformes totales. Para esto se calculó un promedio de los caudales que dio como resultado 1,41 L/s.

3.4.3.2. Filtro lento de zeolita

El filtro lento de zeolita tendría como objetivo la remoción de fosfatos para mejorar la calidad del agua. El filtro trabajaría con un caudal de 1,41 L/s (valor calculado anteriormente) y su construcción sería a base de hormigón.

- **Área del filtro**

El área del filtro se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$A_f = \frac{Q}{\text{tasa de filtración}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$A_f = \frac{121,82}{264}$$

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

Donde:

A_f = Área del filtro (m^2)

Q = Caudal de diseño ($\text{m}^3/\text{día}$)

La tasa de filtración de la zeolita a utilizarse se encuentra en un rango de 10 - 15 m/h, si se toma un valor de 11 m/h, se tendría un valor de 264 m/día.

- **Número de filtros**

El número de módulos de filtración viene dado por:

$$N_f = 0,044\sqrt{Q} \quad \text{Ec. 2}$$

$$N_f = 0,044\sqrt{121,82}$$

$$N_f = 0,486 \approx 1 \text{ módulo de filtración}$$

Donde:

N_f = Número de filtros (adimensional)

Q = Caudal de diseño ($\text{m}^3/\text{día}$)

No obstante, sería conveniente trabajar con 2 filtros, de modo que, si se realiza el mantenimiento del primer filtro el otro siga funcionando, tal como lo hacen la mayoría de las plantas potabilizadoras.

- **Coefficiente de mínimo costo**

El coeficiente de mínimo costo está determinado por:

$$k_c = \frac{2N_f}{N_f + 1} \quad \text{Ec. 3}$$

$$k_c = \frac{2 * 2}{2 + 1}$$

$$k_c = 1,33$$

Donde:

k_c = Coeficiente de mínimo costo (adimensional)

N_f = Número de filtros (adimensional)

- **Longitud del filtro**

Para el cálculo de la longitud del filtro se emplea la siguiente ecuación:

$$L_f = \sqrt{A_f * k_c} \tag{Ec. 4}$$

$$L_f = \sqrt{0,46 * 1,33}$$

$$L_f = 0,78 \text{ m}$$

Donde:

L_f = Longitud del filtro (m)

A_f = Área del filtro (m²)

K_c = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- **Ancho del filtro**

La siguiente ecuación permite determinar el ancho del filtro:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{k_c}} \tag{Ec. 5}$$

$$a_f = \sqrt{\frac{0,46}{1,33}}$$

$$a_f = 0,59 \text{ m}$$

Donde:

a_f = Ancho del filtro (m)

A_f = Área del filtro (m²)

K_c = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- **Características del lecho filtrante**

- **Altura del filtro**

La altura del filtro lento se determina con los criterios establecidos en la Tabla 2-7, mediante la siguiente ecuación:

$$H_F = H_s + H_{LF} + H_{AS} + H_{BL} \tag{Ec. 6}$$

$$H_F = 0,25 + 0,8 + 0,8 + 0,1$$

$$H_F = 1,95 \text{ m}$$

Donde:

H_F = Altura del filtro lento (m)

H_S = Altura del lecho de soporte incluido el drenaje (m)

H_{LF} = Altura del lecho filtrante (m)

H_{AS} = Altura de agua sobrenadante (m)

H_{BL} = Borde libre (m)

- **Sistema de Drenaje**

- **Área de los orificios laterales**

El cálculo del área de los orificios laterales del sistema de drenaje se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4} \quad \text{Ec. 7}$$

$$A_o = \frac{\pi * 0,003^2}{4}$$

$$A_o = 7,07 * 10^{-6} m^2$$

$$A_o = 0,07 \text{ cm}^2$$

Donde:

A_o = Área de los orificios laterales (cm^2)

D_o = Diámetro de los orificios laterales (m), valor establecido en la Tabla 2-8, valor igual a 3 mm que transformado a m queda un valor 0,003 m.

- **Caudal que ingresa a los orificios laterales**

El caudal que ingresa a cada uno de los orificios se puede calcular por la siguiente expresión:

$$Q_o = A_o v_o \quad \text{Ec. 8}$$

$$Q_o = 7,07 * 10^{-6} * 0,3$$

$$Q_o = 2,121 * 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Donde:

Q_o = Caudal que ingresa a cada orificio lateral (m^3/s)

A_o = Área de cada orificio lateral (m^2)

v_o = Velocidad en los orificios laterales (m/s), valor establecido en la Tabla 2-8

- **Número de laterales**

El número de laterales se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L} \quad \text{Ec. 9}$$

$$N_L = 2 * \frac{0,78}{1,5}$$

$$N_L = 1,04 \rightarrow 1 \text{ lateral}$$

Donde:

N_L = Número de laterales (adimensional)

n_L = Número de filtros (adimensional)

L_f = Longitud del filtro (m), valor calculado anteriormente

e_L = Separación entre los laterales (m), valor establecido en la Tabla 2-8

- **Diámetro de la tubería de entrada al filtro**

El diámetro de la tubería de entrada al filtro, está dada por la siguiente ecuación:

$$D_{Te} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$D_{Te} = \sqrt{\frac{4(1,41 * 10^{-3})}{\pi(1,6)}}$$

$$D_{Te} = 0,033 \text{ m}$$

Donde:

D_{Te} = Diámetro de la tubería de entrada al filtro (m)

Q = Caudal de diseño (m^3/s)

v_e = Velocidad del agua que pasa a través de la tubería de entrada (m/s), corresponde a los parámetros de diseño que se encuentran en la Tabla 2-9.

- **Diámetro de la tubería de salida del filtro**

Para el cálculo del diámetro de la tubería de salida del filtro es importante realizar el cálculo tomando en cuenta criterios de velocidad de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}} \quad \text{Ec. 11}$$

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4(1,41 * 10^{-3})}{\pi(0,6)}}$$

$$D_{Ts} = 0,055 \text{ m}$$

Donde:

D_{Ts} = Diámetro de la tubería de salida al filtro (m)

Q = Caudal de diseño (m^3/s)

v_s = Velocidad del agua a través de la tubería de salida (m/s), valor correspondiente a los parámetros de diseño establecido en la Tabla 2-9.

- **Velocidad óptima de lavado del filtro**

El cálculo de la velocidad óptima de lavado del filtro se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$v_1 = D_{60} = CU * TE \quad \text{Ec. 12}$$

$$v_1 = (2) * (0,4)$$

$$v_1 = 0,8 \text{ m/min}$$

Donde:

v_1 = Velocidad óptima de lavado del filtro

D_{60} = Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad (mm)

CU= Coeficiente de uniformidad de la zeolita (adimensional), valor establecido en la Tabla 2-10

TE= Tamaño efectivo de la zeolita (mm), valor establecido en la Tabla 2-10

- **Cantidad de agua para el lavado del filtro**

El volumen de agua necesario para el lavado del filtro se calcula con la ecuación:

$$V_L = v_1 * A_f * t_L \quad \text{Ec. 13}$$

$$V_L = 0,8 * 0,46 * 15$$

$$V_L = 5,52 \text{ m}^3$$

Donde:

V_L = Volumen de agua necesaria para el lavado del filtro (m^3)

v_1 = Velocidad óptima del lavado del filtro (m/min), valor calculado anteriormente

A_f = Área del filtro (m^2), valor calculado anteriormente

t_L = Tiempo óptimo de lavado (min), valor establecido en la Tabla 2-6, que corresponde a los parámetros de diseño del filtro de zeolita.

3.4.3.3. Desinfección

Los análisis microbiológicos realizados al agua de consumo de las cinco comunidades que fueron objeto de estudio arrojaron resultados positivos de coliformes totales, razón por la cual es necesario realizar una desinfección como última etapa del proceso para quitar microbios nocivos del agua de consumo.

Se propuso un sistema de cloración, en donde se dosificaría cloro al tanque de contacto, posteriormente el agua desinfectada pasaría a los tanques de distribución de cada comunidad. La determinación de la cantidad de hipoclorito de sodio se realizó en laboratorio siendo en donde se pudo evidenciar que al añadir 2 ml de solución al 0,1 % de NaClO se obtuvieron valores de cloro libre residual adecuados para realizar la desinfección.

3.4.3.3.1. Valor de dosificación para las comunidades

Debido a que todas las comunidades presentaron problemas de coliformes totales, se procedió a obtener el volumen de agua de los tanques de almacenamiento de las comunidades, encontrando un aproximado 14000 litros cada una y un caudal promedio de 1,41 L/s. De acuerdo a las pruebas

de laboratorio se obtuvo que por cada litro de agua sin tratar se requiere 3 ml de solución madre de hipoclorito de sodio, entonces:

$$V_{NaClO} = \text{Litros de agua cruda} * \frac{\text{ml de solución de hipoclorito de sodio}}{1 \text{ L de agua cruda}} \quad \text{Ec. 14}$$

$$V_{NaClO} = 14000 * \frac{2 \text{ ml de solución de hipoclorito de sodio al 0,1\%}}{1 \text{ L de agua cruda}}$$

$$V_{NaClO} = 28000 \text{ ml de solución NaClO} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$V_{NaClO} = 28 \text{ L de NaClO}$$

Si se desea implementar un sistema de goteo, sería:

$$Q_{NaClO} = 28 \frac{\text{L}}{\text{día}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{NaClO} = 19 \text{ mL/min}$$

En consecuencia, para clorar el agua que llega a los tanques de almacenamiento se requerirá 28 L de solución de NaClO al 0,1% y si se desea implementar un sistema de goteo se tendría que dosificar 19 mL/min.

3.5. Capacitación a los encargados del mantenimiento de los sistemas de distribución de las comunidades

Los resultados de los análisis realizados al agua cruda de las comunidades (caracterización físicoquímica y microbiológica del agua de consumo) se dieron a conocer a los encargados del mantenimiento de los sistemas de distribución, en una reunión en coordinación con el GAD Parroquial de Calpi y la Fundación Maquita mediante una exposición oral y la ayuda de medios audiovisuales. Se puso énfasis en los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles, sus posibles causas, consecuencias y el tratamiento para corregir la problemática presentada. Se explicó a detalle el tratamiento que se propone para mejorar la calidad del agua de consumo, el mantenimiento que se debe realizar al sistema de tratamiento para garantizar su buen funcionamiento a través del tiempo, las conclusiones y recomendaciones.



Ilustración 3-12: Capacitación en el GAD de la parroquia Calpi

Realizado por: Guillca, L., 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo de las comunidades

Para evidenciar la situación del agua de consumo de las comunidades Chamboloma, Bayubug, Chiquicaz, Telempala y La Merced de Guiltus, se procedió a analizar los parámetros de color, turbiedad, pH, conductividad, dureza, alcalinidad, cloruros, fluoruros, nitritos, nitratos, hierro, fosfatos, sólidos totales disueltos y sólidos suspendidos; así como, pruebas microbiológicas para la detección de coliformes fecales y totales, la determinación de estos criterios de calidad en las muestras de agua de las comunidades se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad del Agua, de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. La determinación de metales: Mercurio, Cadmio, Plomo, Arsénico y Selenio se llevó a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el Laboratorio de Análisis Instrumental, de la Facultad de Ciencias.

Los resultados obtenidos fueron comparados con la norma NTE INEN 1108. Agua potable. Requisitos, y con el Libro VI de la Calidad Ambiental. Sin embargo, los límites permisibles que se tomaron en consideración fueron los establecidos en la norma NTE INEN 1108, ya que sus parámetros son más estrictos en lo que respecta al agua de consumo, un claro ejemplo es el parámetro de coliformes totales que en el Libro VI de la Calidad Ambiental el criterio de calidad es de 200 NMP/100 mL y de acuerdo a este criterio todas las comunidades estarían cumpliendo con el criterio de calidad establecido, con excepción de La Merced de Guiltus que supera este valor, pero la norma INEN 1108:2014 establece un valor menor a 1,1 NMP/100 mL, por lo que para la caracterización antes y después del tratamiento se observó esta norma.

4.1.1. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Chamboloma

Tabla 4-1: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chamboloma

Parámetro	Unidad	Resultados			Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,315	0,322	0,292	0,31	5
pH		7,71	7,73	7,76	7,73	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	355,6	358,8	360,5	358,30	<1250
Cloruros	mg/L	14,18	14,18	17,02	15,13	250
Dureza	mg/L	185	187	196	189,33	200
Fluoruros	mg/L	0,61	0,49	0,39	0,50	1,5
Alcalinidad	mg/L	206,8	206,8	206,8	206,8	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	2	2,2	2,2	2,13	50
Hierro	mg/L	0,49	0,1	0,03	0,21	0,3
Fosfatos	mg/L	1,45	0,8	0,61	0,95	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	230,8	218,15	229,4	226,12	1000
Sólidos Suspendidos	mg/L	3	3	4	3,33	500
Coliformes Totales	NMP/100 mL	43	---	43	43	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la tabla 4-1 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se realizaron a las muestras de la comunidad Chamboloma, en ésta se escogió tres puntos de muestreo: tanque de distribución, primera casa y última casa, los muestreos se realizaron en invierno. Se tuvo como resultado que, de los 18 parámetros analizados, dos se encontraron fuera de lo límites permisibles: fosfatos y coliformes totales. Además, se tuvo una variación en los resultados de fosfatos obteniendo un valor más elevado en el tanque de distribución, lo cual pudo deberse a que el agua al estar almacenada presentó una mayor concentración de fosfatos.

Tabla 4-2: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chamboloma

Parámetro	Unidad	Resultados			Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,251	0,222	0,298	0,26	5
pH		7,41	7,57	7,89	7,62	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	350,35	364,296	377,6	364,08	<1250
Cloruros	mg/L	15,6	17,02	17,02	16,55	250
Dureza	mg/L	176	185	188	183	200
Fluoruros	mg/L	0,63	0,57	0,57	0,59	1,5
Alcalinidad	mg/L	285	269	270	274,67	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,003	0,004	0,004	0,004	0,2
Nitratos	mg/L	2	1,64	1,7	1,78	50
Hierro	mg/L	0,3	0,2	0,01	0,17	0,3
Fosfatos	mg/L	1,46	0,8	0,54	0,88	<0,30
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	230,25	219,57	220,5	223,44	1000
Sólidos Suspendidos	mg/L	4	4	4	4	500
Arsénico	mg/L	< 0, 0005	---	---	< 0, 0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,0003	---	---	< 0,0003	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,0002	---	---	< 0,0002	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	---	---	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	---	---	< 0,0008	0,01
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	---	3,6	1,80	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la tabla 4-2, se encuentran los resultados de los 23 parámetros analizados a las muestras de agua de la comunidad Chamboloma, correspondientes al muestreo realizado en verano, se obtuvo como resultado que al igual que en el primer muestreo dos parámetros se encontraron fuera del límite máximo permisible: fosfatos y coliformes totales.

Al comparar los resultados de los muestreos se obtuvo una leve variación en el parámetro de fosfatos, con una mayor concentración en la época de invierno, mientras que en coliformes totales si existió una diferencia muy notoria, en el primer muestreo se tuvo un crecimiento de 43 NMP/100 mL, en los dos puntos de muestreo (tanque de distribución y última casa), pero en el segundo muestreo únicamente se tuvo crecimiento en el último punto de muestreo (última casa), con un valor de 3,6 NMP/100 mL, estos resultados permitieron deducir que la contaminación por

coliformes totales se produjo en el recorrido del agua desde la salida del tanque de distribución hasta llegar a la última casa.

4.1.1.1. Parámetros fuera de norma

La caracterización del agua de consumo de la comunidad Chamboloma dio como resultado que dos parámetros superaron el límite permisible establecido en la norma NTE INEN 1108. Se realizó un promedio entre los dos muestreos, cuyos resultados se muestran en la tabla 4-3:

Tabla 4-3: Parámetros fuera de los límites permisibles

Parámetros	Unidades	Muestreo		Resultado	Límite máximo permisible
		1	2		
Fosfatos	mg/L	0,95	0,88	0,92	< 0,3
Coliformes totales	NMP/100 mL	43	1,80	22,4	< 1,1

Realizado por: Guillca, L., 2023

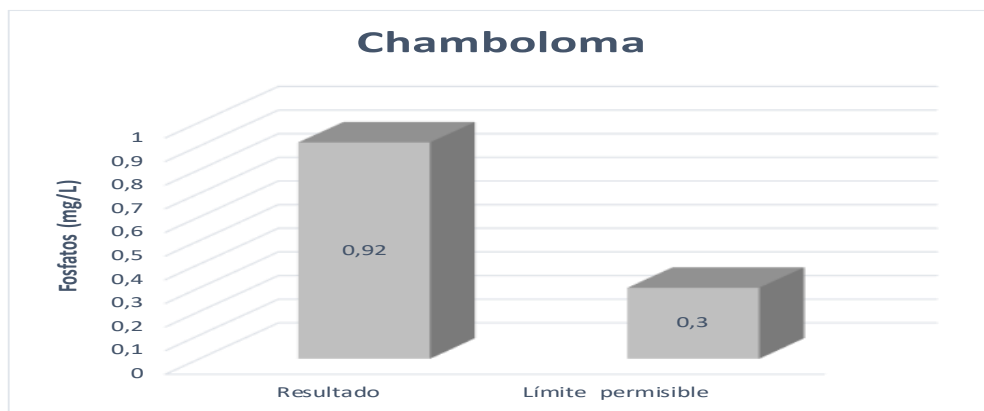


Ilustración 4-1: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos

Realizado por: Guillca, L., 2023

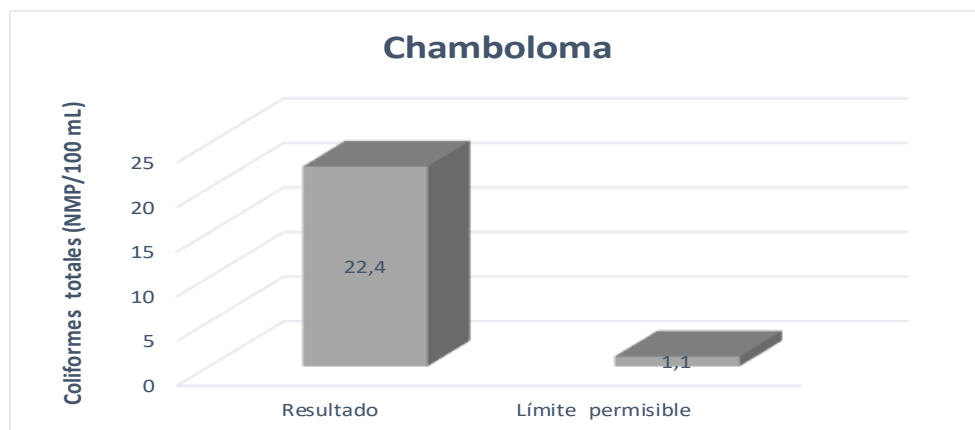


Ilustración 4-2: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales

Realizado por: Guillca, L., 2023

Las ilustraciones 4-1 y 4-2 presentan los resultados del promedio de los dos muestreos realizados en la Comunidad Chamboloma, en donde se representa gráficamente los parámetros que superan los límites permisibles.

En la comparación de los resultados se observó una diferencia en el promedio de los dos muestreos, en el primero los valores de fosfatos y coliformes totales fueron mayores a los del segundo muestreo, esto se pudo deber a que en época de invierno la lluvia arrastró una mayor cantidad de contaminantes.

4.1.2. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Bayubug

Tabla 4-4: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Bayubug

Parámetro	Unidad	Resultados				Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Fuente	Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<1,00	<15
Turbiedad	NTU	0,259	0,388	0,284	0,429	0,34	5
pH		7,12	7,26	7,46	7,47	7,33	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	238	240,3	241,4	239,9	239,90	<1250
Cloruros	mg/L	19,85	21,27	21,27	18,43	20,21	250
Dureza	mg/L	184	200	176	196	189,00	200
Fluoruros	mg/L	0,61	0,42	0,49	0,39	0,48	1,5
Alcalinidad	mg/L	249	252	256	253	252,50	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,004	0,004	0,01	0,004	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	1,5	1,4	0,8	1	1,18	50
Hierro	mg/L	0,1	0,52	0,03	0,24	0,22	0,3
Fosfatos	mg/L	2,28	2,45	2,16	2,18	2,27	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	145,3	146,2	145,3	145,2	145,50	1000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1	1	1	1	1,00	500
Coliformes Totales	NMP/100 mL	93	----	---	240	166,50	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

La tabla 4-4 muestra los resultados de los 18 parámetros analizados en las muestras de agua de Bayubug, el muestreo se realizó en época de invierno. En esta comunidad se estableció cuatro

puntos de muestreo, teniendo como resultado que los fosfatos y coliformes totales se encontraron fuera de los límites máximos permisibles.

El nivel de fosfatos fue mayor en el tanque de distribución, con relación a los demás puntos de muestreo. En los resultados de coliformes totales se tuvo una variación muy elevada en el primer punto de muestreo y en el último, obteniendo valores de 93 mg/L y 240 mg/L respectivamente.

Tabla 4-5: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Bayubug

Parámetro	Unidad	Resultados				Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Fuente	Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,218	0,27	0,25	0,31	0,26	5
pH		7,52	7,78	7,56	8,03	7,72	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	237,28	239	240	241,7	239,50	<1250
Cloruros	mg/L	18,43	22,69	19,85	19,85	20,21	250
Dureza	mg/L	184	197	190	194	191,25	200
Fluoruros	mg/L	0,39	0,44	0,42	0,37	0,41	1,5
Alcalinidad	mg/L	250	260	262	253	256,25	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,2
Nitratos	mg/L	1,5	1,28	1,08	1,35	1,30	50
Hierro	mg/L	0,1	0,3	0,03	0,05	0,12	0,3
Fosfatos	mg/L	2,32	2,32	2,14	2,1	2,22	<0,30
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	143,8	145,07	143	143,6	143,87	1000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1	1	1	1	1,00	500
Arsénico	mg/L	---	< 0,0005	---	---	< 0,0005	0,01
Plomo	mg/L	---	< 0,0003	---	---	< 0,0003	0,01
Cadmio	mg/L	---	< 0,0002	---	---	< 0,0002	0,03
Mercurio	mg/L	---	< 0,0005	---	---	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	---	< 0,0008	---	---	< 0,0008	0,01
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	---	---	0	0	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

La tabla 4-5 muestra los resultados del segundo muestreo realizado al agua de consumo de Bayubug, en época de verano, se analizó un total de 23 parámetros, teniendo como resultado que solo los fosfatos se encontraron fuera del límite permisible.

Al comparar los resultados primer muestreo con los del segundo muestreo, se evidenció una leve diferencia entre estos, teniendo una mayor concentración de fosfatos en invierno. De los resultados que se obtuvieron se pudo concluir que en la época de invierno se produjo mayor contaminación, lo cual pudo deberse a que la lluvia arrastró una mayor cantidad de contaminantes los cuales se almacenaron en mayor cantidad en el tanque de distribución de la comunidad.

4.1.2.1. Parámetros fuera de norma

En la comunidad Bayubug, se encontró que dos parámetros superan el límite permisible establecido en la norma NTE INEN 1108. Se realizaron dos muestreos y su promedio se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 4-6: Parámetros fuera de los límites permisibles

Parámetros	Unidades	Muestreo		Resultado	Límite máximo permisible
		1	2		
Fosfatos	mg/L	2,27	2,22	2,24	< 0,3
Coliformes totales	NMP/100 mL	166,50	0	83,25	< 1,1

Realizado por: Guillca, L., 2023

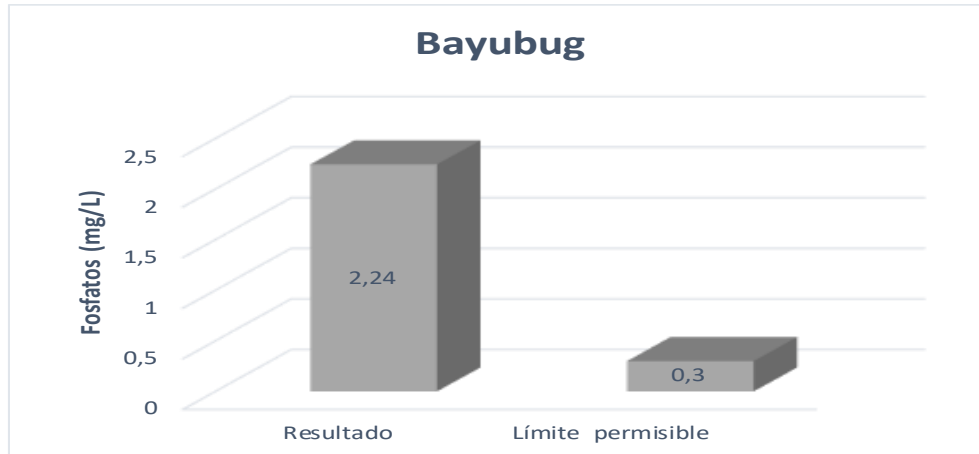


Ilustración 4-3: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos

Realizado por: Guillca, L., 2023

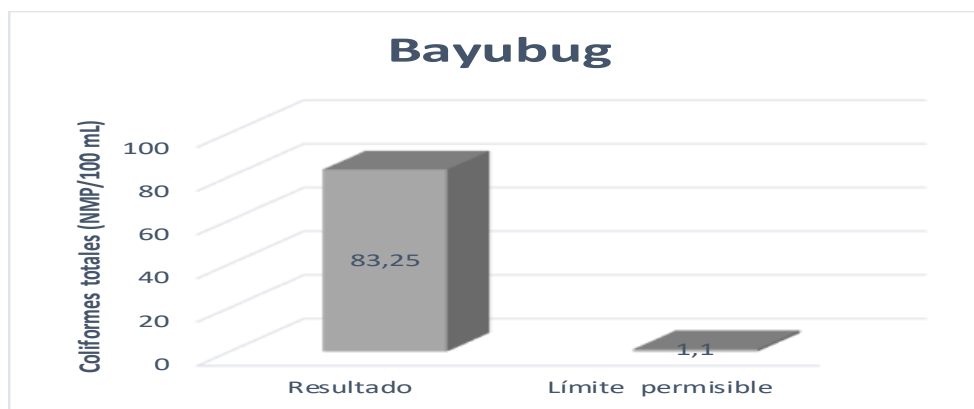


Ilustración 4-4: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales

Realizado por: Guillca, L., 2023

En las ilustraciones 4-3 y 4-4, se pudo observar el valor promedio de los dos muestreos que permitieron determinar que el agua de la comunidad Bayubug presenta problemas de fosfatos y coliformes totales.

4.1.3. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Chiquicaz

Tabla 4-7: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Casa de la Mitad	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,2	0,422	0,31	5
pH		7,7	7,68	7,69	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	344,7	341,5	343,1	<1250
Cloruros	mg/L	17,02	14,18	15,60	250
Dureza	mg/L	168	188	178	200
Fluoruros	mg/L	0,6	0,58	0,59	1,5
Alcalinidad	mg/L	260	300	280	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	1,6	1,7	1,65	50
Hierro	mg/L	0,03	0,05	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	1,42	0,47	0,95	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	212,8	218,6	215,7	1000
Sólidos Suspendidos	mg/L	2	3	2,5	500
Coliformes Totales	NMP/100 mL	43	23	33	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 4-8: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Casa de la Mitad	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,326	0,411	0,37	5
pH		7,75	7,65	7,7	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	344,54	342,12	343,33	<1250
Cloruros	mg/L	18,43	17,02	17,73	250
Dureza	mg/L	194	198	196	200
Fluoruros	mg/L	0,62	0,55	0,59	1,5
Alcalinidad	mg/L	263,2	296,1	279,65	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,005	0,006	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	1,6	1,75	1,68	50
Hierro	mg/L	0,04	0,04	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	0,68	0,45	0,57	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	213,2	215,6	214,4	1000
Sólidos Suspendedos	mg/L	2	2	2	500
Arsénico	mg/L	< 0, 0005	---	< 0, 0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,0003	---	< 0,0003	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,0002	---	< 0,0002	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	---	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	---	< 0,0008	0,01
Coliformes Totales	NMP/100 mL	9,2	9,2	9,2	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

Las tablas 4-7 y 4-8 presentan los resultados obtenidos en los muestreos realizados al agua de consumo de Chiquicaz, de los 18 parámetros analizados en el primer muestreo y 23 en el segundo, se logró determinar que existe una contaminación del agua por fosfatos y coliformes totales, los valores de estos parámetros superaron los límites permisibles al igual que en Chamboloma comunidad con la que comparte fuente, de estos resultados se dedujo que la contaminación proviene de la fuente.

Los muestreos se realizaron en invierno y verano, y como resultado se tuvo que tanto los fosfatos como los coliformes totales presentaron valores más elevados en la época de invierno probablemente debido al arrastre de contaminantes por la lluvia.

4.1.3.1. Parámetros fuera de norma

Después de la caracterización del agua de consumo de Chiquicaz se procedió a realizar un promedio de los parámetros que superaron los límites permisibles establecidos en la norma NTE INEN 1108, los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-9: Parámetros fuera de los límites permisibles

Parámetros	Unidades	Muestreo		Resultado	Límite máximo permisible
		1	2		
Fosfatos	mg/L	0,95	0,57	0,76	< 0,3
Coliformes totales	NMP/100 mL	33	9,2	21,10	< 1,1

Realizado por: Guillca, L., 2023

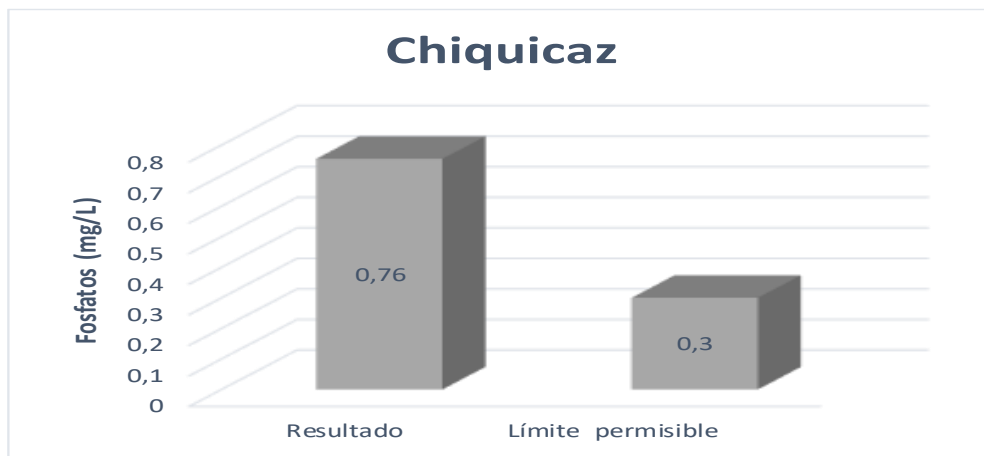


Ilustración 4-5: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos

Realizado por: Guillca, L., 2023

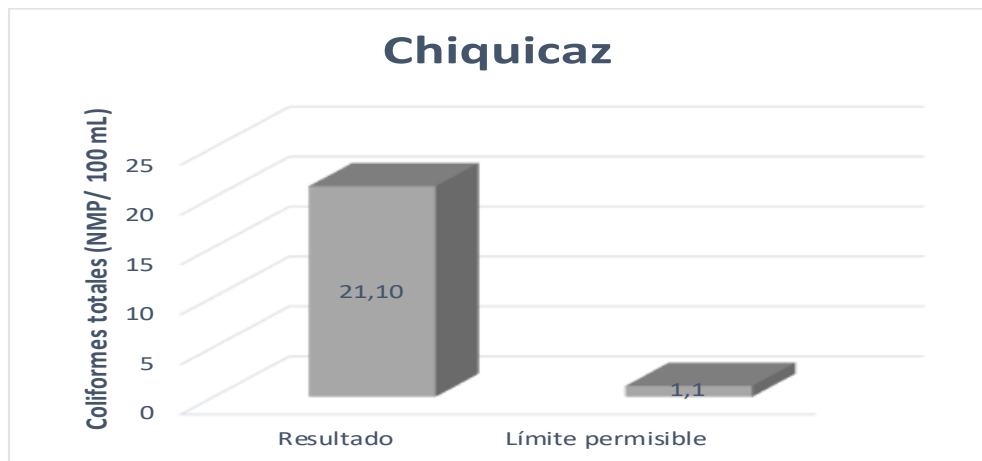


Ilustración 4-6: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la comunidad Chiquicaz, debido a los inconvenientes y a pesar de ser la comunidad más grande de la zona sur de la parroquia Calpi, el muestreo se realizó únicamente en dos puntos, en la casa de la mitad y en la última casa, en las ilustraciones 4-5 y 4-6 se pudo observar los valores del promedio final de fosfatos y coliformes totales, que son los únicos parámetros que superan los límites permisibles establecidos en la norma.

4.1.4. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de Telempala

Tabla 4-10: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Telempala

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,15	0,423	0,29	5
pH		7,98	8,07	8,03	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	250,8	235,2	243,00	<1250
Cloruros	mg/L	19,85	21,27	20,56	250
Dureza	mg/L	192	199	195,50	200
Fluoruros	mg/L	0,17	0,2	0,19	1,5
Alcalinidad	mg/L	255	250	252,50	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,016	0,004	0,01	0,2
Nitratos	mg/L	0,5	0,6	0,55	50
Hierro	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,3
Fosfatos	mg/L	1,25	0,85	1,05	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	153,9	143	148,45	1000
Sólidos Suspendedos	mg/L	1	3	2,00	500
Coliformes Totales	NMP/100 mL	240	23	131,50	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la tabla 4-10, se mostró los resultados de los 18 parámetros analizados en el primer muestreo de Telempala, el resultado fue igual que en las comunidades anteriores, el agua presenta un problema de fosfatos y coliformes totales. Los dos parámetros presentaron resultados más elevados en la primera casa, esto probablemente se debió a que es la casa más cercana al tanque de distribución, debido a que no se pudo acceder al mismo no se logró comprobar si en este punto la concentración de fosfatos y coliformes fue mayor como en el caso de las otras comunidades.

Tabla 4-11: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Telempla

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,221	0,415	0,32	5
pH		7,57	7,76	7,67	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	252,9	240,1	246,50	<1250
Cloruros	mg/L	18,43	21,27	19,85	250
Dureza	mg/L	196	200	198,00	200
Fluoruros	mg/L	0,23	0,34	0,29	1,5
Alcalinidad	mg/L	250	251	250,50	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,003	0,002	0,003	0,2
Nitratos	mg/L	1	1,5	1,25	50
Hierro	mg/L	0,04	0,03	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	0,95	0,57	0,76	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	143,8	140,28	142,04	1000
Sólidos Suspendedos	mg/L	2	3	2,50	500
Arsénico	mg/L	< 0,0005	---	< 0,0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,0003	---	< 0,0003	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,0002	---	< 0,0002	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	---	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	---	< 0,0008	0,01
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	3	1,50	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la tabla 4-11, se presentan los resultados del segundo muestreo realizado en Telempla, en el cual se analizó 23 parámetros, el resultado fue una contaminación por fosfatos y coliformes totales, al igual que en el primer muestreo, con la diferencia que en el segundo muestreo, realizado en verano, el nivel de contaminación fue menor, incluso en el caso de los coliformes solo se tuvo crecimiento en la muestra tomada en la última casa; como en los casos anteriores la lluvia puede ser la causante de un mayor arrastre de los contaminantes.

4.1.4.1. Parámetros fuera de norma

La caracterización del agua de consumo de la comunidad Telempla dio como resultado que dos parámetros superaron el límite permisible establecido en la norma NTE INEN 1108, el resultado del promedio de los muestreos se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4-12: Parámetros fuera de los límites permisibles

Parámetros	Unidades	Muestreo		Resultado	Límite máximo permisible
		1	2		
Fosfatos	mg/L	1,05	0,76	0,91	< 0,3
Coliformes totales	NMP/100 mL	131,5	1,50	66,50	< 1 ,1

Realizado por: Guillca, L., 2023

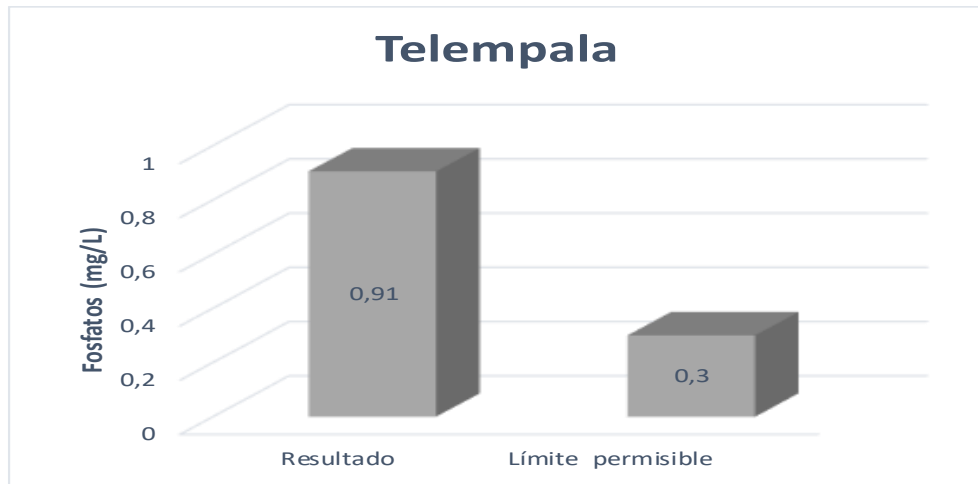


Ilustración 4-7: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos

Realizado por: Guillca, L., 2023

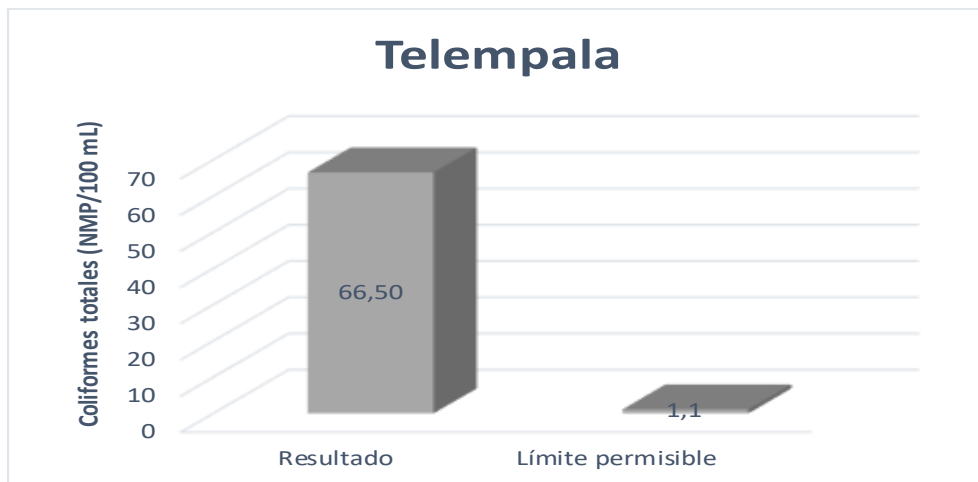


Ilustración 4-8: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales

Realizado por: Guillca, L., 2023

En las ilustraciones 4-7 y 4-8, se pudo observar los resultados del promedio de los dos muestreos realizados en la comunidad Telempala, el promedio dio como resultado un nivel elevado de contaminación por fosfatos y coliformes totales.

4.1.5. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de consumo de La Merced de Gultus

Tabla 4-13: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de La Merced de Gultus

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Cancha Central	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,253	0,061	0,16	5
pH		7,87	7,86	7,87	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	554,5	562	558,25	<1250
Cloruros	mg/L	25,52	31,20	28,36	250
Dureza	mg/L	152	160	156	200
Fluoruros	mg/L	1	0,86	0,93	1,5
Alcalinidad	mg/L	298	298,37	298,19	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,2
Nitratos	mg/L	3,1	4	3,55	50
Hierro	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,3
Fosfatos	mg/L	3,17	3,37	3,27	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	334,3	341,5	337,9	1000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1	1	1	500
Coliformes Totales	NMP/100 mL	23	1100	561,5	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la tabla 4-13 se muestran los resultados del primer muestreo que se realizó en la comunidad La Merced de Gultus, se analizó un total de 18 parámetros, este muestreo se realizó en invierno obteniendo como resultado que el nivel de fosfatos se encontró fuera de los límites permisibles en los dos puntos de muestreo, así también, se encontró que los coliformes totales también superaron los límites permisibles en los dos puntos de muestreo; sin embargo, en la última casa se tuvo un valor excesivo de coliformes totales con respecto al primer punto de muestreo, con un valor de 1100 NMP/ 100 mL.

Tabla 4-14: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de La Merced de Guiltus

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Cancha Central	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,174	0,247	0,21	5
pH		7,77	7,65	7,71	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	608,8	592,17	600,49	<1250
Cloruros	mg/L	23,11	24,39	23,75	250
Dureza	mg/L	150,4	157,6	154,00	200
Fluoruros	mg/L	0,85	0,87	0,86	1,5
Alcalinidad	mg/L	300	297	298,50	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,003	0,03	0,017	0,2
Nitratos	mg/L	5,9	5,5	5,70	50
Hierro	mg/L	0,01	0,06	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	3,28	3,01	3,15	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	364,1	366,16	365,13	1000
Sólidos Suspendedos	mg/L	1	1	1	500
Arsénico	mg/L	< 0, 0005	---	< 0, 0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,0003	---	< 0,0003	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,0002	---	< 0,0002	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	---	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	---	< 0,0008	0,01
Coliformes Totales	NMP/100 mL	9,2	9,2	9,2	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la tabla 4-14 se muestran los resultados del segundo muestreo realizado al agua de consumo de La Merced de Guiltus en época de verano, se analizó 23 parámetros, como resultado se obtuvo que los fosfatos y coliformes totales superaron los límites permisibles, al igual que en las demás comunidades pertenecientes a la zona sur de la Parroquia Calpi. Sin embargo, en esta comunidad los resultados de los análisis de los dos parámetros fueron más elevados que en las otras comunidades.

4.1.5.1. Parámetros fuera de norma

Mediante la caracterización del agua de consumo de La Merced de Guiltus, se encontró que dos parámetros superaron el límite permisible establecido en la norma NTE INEN 1108, los resultados del promedio de los dos muestreos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-15: Parámetros fuera de los límites permisibles

Parámetros	Unidades	Muestreo		Resultado	Límite máximo permisible
		1	2		
Fosfatos	mg/L	3,27	3,15	3,21	< 0,3
Coliformes totales	NMP/100 mL	561,5	9,20	285,35	< 1,1

Realizado por: Guillca, L., 2023

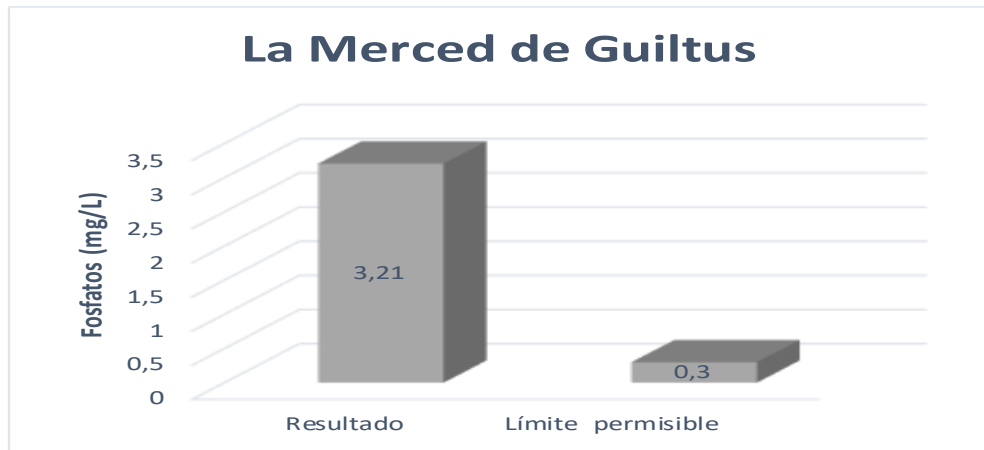


Ilustración 4-9: Parámetro superior al límite permisible: fosfatos

Realizado por: Guillca, L., 2023

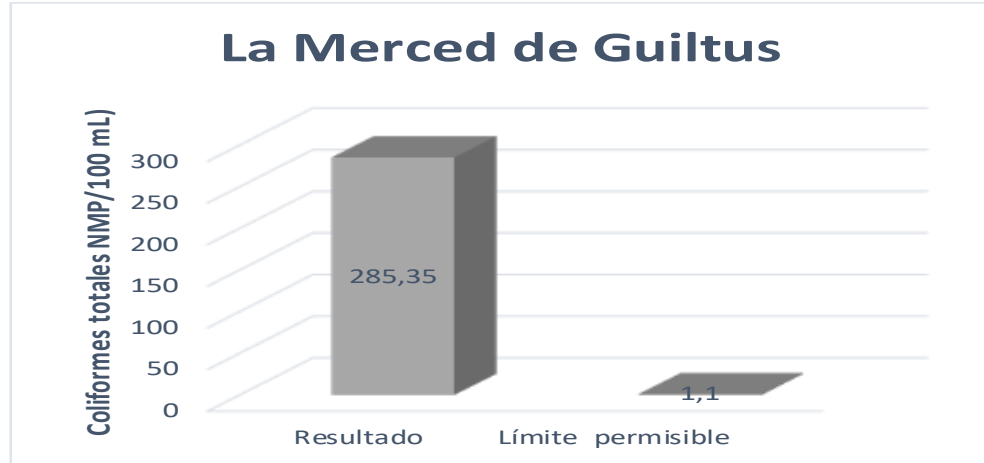


Ilustración 4-10: Parámetro superior al límite permisible: coliformes totales

Realizado por: Guillca, L., 2023

En las ilustraciones 4-9 y 4-10, se pudo observar el resultado promedio de los dos muestreos realizados a las muestras de agua de La Merced de Guiltus, a pesar de que el agua de consumo de esta comunidad tiene los mismos problemas que las demás comunidades es necesario recalcar que en ésta, los valores de fosfatos y coliformes totales fueron más elevados en comparación al resto de comunidades.

Es probable que haya mayor contaminación por la ubicación de la comunidad, ya que ésta se encuentra ubicada más abajo de las otras comunidades, por lo que pudiera ser posible que la lluvia arrastre los contaminantes.

4.1.6. Comparación de los parámetros fuera de los límites permisibles de las comunidades

4.1.6.1. Fosfatos

Tabla 4-16: Resultados del nivel de fosfatos en las comunidades

Comunidad	Límite máximo permisible de Fosfatos mg/L	Resultado de Fosfatos mg/L
Chamboloma	< 0,3	0,92
Bayubug	< 0,3	2,24
Chiquicaz	< 0,3	0,76
Teल्पala	< 0,3	0,91
La Merced de Guiltus	< 0,3	3,21

Realizado por: Guillca, L., 2023

En la tabla 4-16 se muestra los resultados del nivel de fosfatos en el agua de consumo de las comunidades de la zona sur de la Parroqui Calpi, en esta tabla se puede evidenciar que la comunidad que presentó un mayor nivel de fosfatos fue La Merced de Guiltus con un valor de 3,21 mg/L.

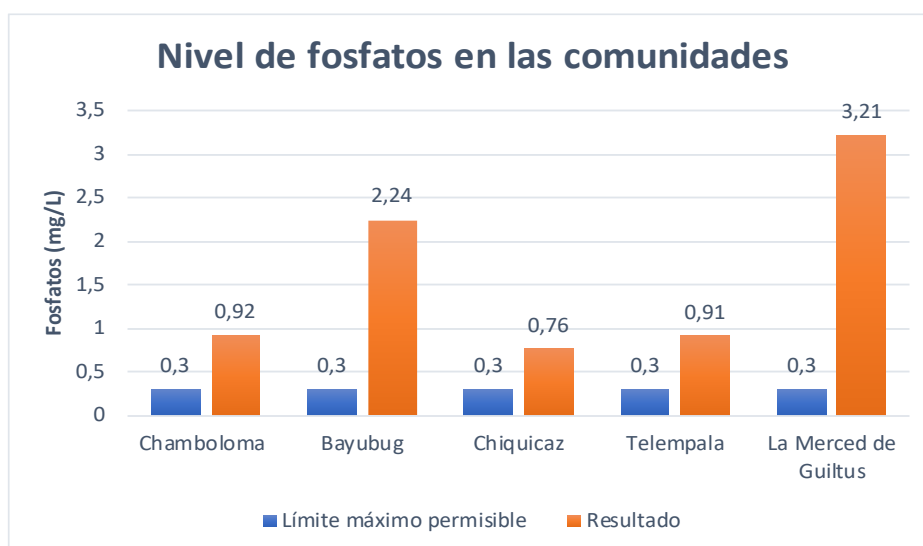


Ilustración 4-11: Dispersión lineal de fosfatos en las comunidades

Realizado por: Guillca, L., 2023

De la ilustración 4-11, se pudo deducir que todas las comunidades presentaron un nivel de fosfatos fuera de los límites permisibles, la comunidad que presentó un mayor nivel de fosfatos en el agua de consumo fue La Merced de Guiltus, con un valor de 3,21 mg/L y la que presentó menor contaminación fue Chiquicaz con 0,76 mg/L.

Los tanques de distribución fueron los lugares en los que se encontró una mayor concentración de fosfatos en el caso de Chamboloma y Bayubug, que fueron las comunidades que permitieron tomar muestras en dichos puntos, de los resultados se pudo deducir que el tanque de distribución de Chiquicaz presentó los mismos problemas que Chamboloma ya que las dos comunidades comparten fuente, en el caso de Telempala y la Merced de Guiltus no se pudo acceder a los tanques de distribución, pero se puede inferir que al igual que en las demás comunidades éstos presentan los mismos problemas.

Los muestreos fueron realizados tomando en cuenta las épocas de invierno y verano en las cuatro comunidades, en todas las comunidades se obtuvo como resultado que los fosfatos se encontraron fuera de los límites máximos permisibles, establecidos en la norma NTE INEN 1108; fue necesario recalcar que se obtuvo una variación en los promedios finales, ya que las muestras tomadas en invierno presentaron valores más elevados de fosfatos que las muestras tomadas en verano. Con los resultados se puede deducir que la causa de estas variaciones en las comunidades pudo deberse a dos factores: la ubicación de las comunidades y la presencia de lluvia, es así que Chiquicaz y Telempala presentaron un menor nivel de contaminación, probablemente porque se encuentran ubicadas en un punto más alto que las demás comunidades; mientras que, La Merced de Guiltus está ubicada en la parte baja de las otras cuatro comunidades, por lo que es posible que en la época de lluvia se haya producido una mayor contaminación por arrastre, que dio como resultado que La Merced de Guiltus tuviera mayor contaminación.

4.1.6.2. Coliformes totales

Tabla 4-17: Resultados del nivel de coliformes totales en las comunidades

Comunidad	Límite máximo permisible de Coliformes totales NMP /100 mL	Resultado de Coliformes totales NMP /100 mL
Chamboloma	< 1,1	22,4
Bayubug	< 1,1	83,25
Chiquicaz	< 1,1	33
Telempala	< 1,1	66,50
La Merced de Guiltus	< 1,1	285,35

Realizado por: Guillca, L., 2023

La tabla 4-17 indica los valores promedio del conteo de coliformes totales en las muestras de cada comunidad, correspondientes a los muestreos realizados en invierno y verano. Se obtuvo como resultado valores muy diferentes en los dos muestreos, en el primero se obtuvo valores más elevados que en el segundo, lo que pudo estar asociado a dos factores: el primero a la presencia de lluvia, ya que es probable que esta haya arrastrado una mayor cantidad de microorganismos, y el segundo a la desinfección realizada en las llaves de agua, ya que al realizar el segundo muestreo se obtuvo valores más bajos; no obstante, la norma establece como límite permisible 1,1 NMP/100 mL, por lo que ninguna comunidad cumplió con este parámetro.

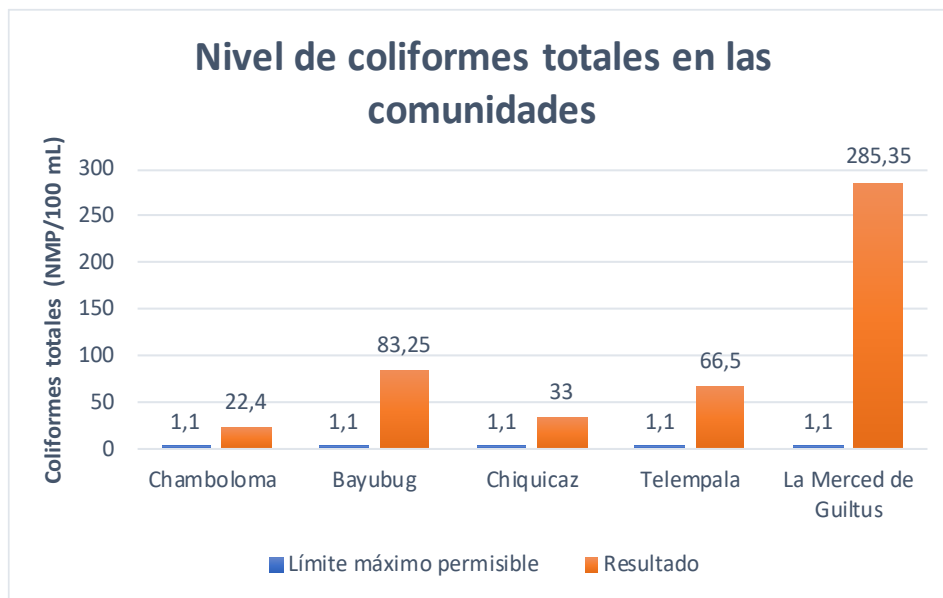


Ilustración 4-12: Dispersión lineal de coliformes totales en las comunidades

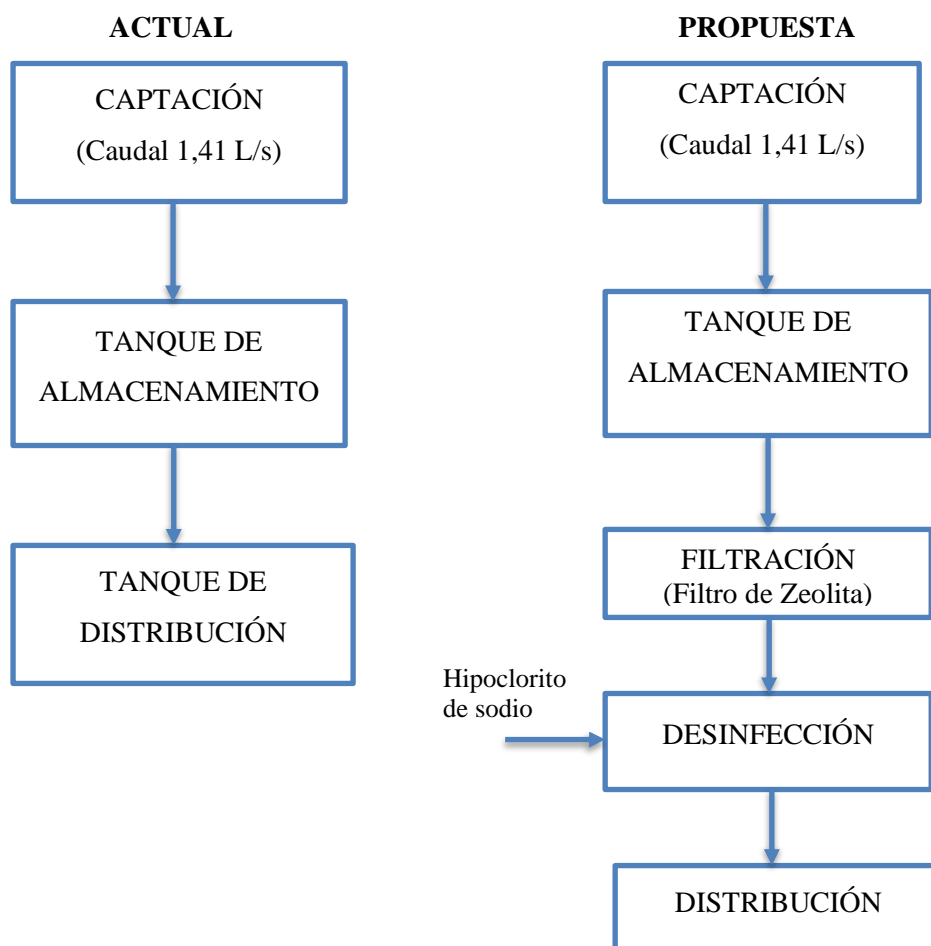
Realizado por: Guillca, L., 2023

De la ilustración 4-12, se puede describir que ninguna de las comunidades cumple con el límite permisible de coliformes totales en el agua de consumo, por lo que se pudo evidenciar que la comunidad con mayor presencia de coliformes totales fue La Merced de Guiltus. En los resultados se evidenció que las muestras tomadas en invierno presentaron mayor contaminación por coliformes que las tomadas en verano. Estos resultados concuerdan con lo observado en un estudio realizado por Swistock (2020, p.2) que determinó la presencia de una mayor cantidad de bacterias al analizar un pozo después de un período prolongado de lluvia, mientras que la cantidad de bacterias fue menor si la prueba se realiza en condiciones de sequía y frío. En este estudio se analizaron 38 pozos que dieron positivo en bacterias coliformes durante un año con lluvias casi normales. Un año después se realizó un nuevo análisis a los 38 pozos en una temporada de sequía y frío. Como resultado se tuvo que menos de la mitad todavía contenían bacterias coliformes, y la mayoría de ellas tenían un menor número de bacterias que las que se encontraron anteriormente.

Dado que a las bacterias coliformes les gusta vivir próximas a la superficie de la tierra y prefieren temperaturas cálidas, es entendible que las bacterias sean más propensas a ocupar los pozos de agua subterránea durante las temporadas climáticas más cálidas y húmedas cuando el agua superficial está recargando los acuíferos subterráneos.

Con respecto a la contaminación elevada en La merced de Guiltus con respecto a Chamboloma que es la comunidad que presentó menor contaminación por coliformes, la razón pudo ser la ubicación de la comunidad, puesto que, el agua presenta grandes cantidades de bacterias coliformes debido a la existencia de descargas de asentamientos irregulares, fugas del sistema de drenaje, así como fuentes dispersas por fecalismo a cielo abierto (Barrera et al.,2013), ya que es la comunidad que se encuentra ubicada debajo de las otras comunidades, por lo que es probable que el agua arrastre los contaminantes de las demás comunidades presentando una mayor concentración de coliformes.

4.2. Propuesta de tratabilidad para mejorar la calidad del agua de consumo



(VER ANEXO D)

4.2.1. Resultados de los parámetros de diseño

4.2.1.1. Caudal de Diseño

Tabla 4-18: Resultados del caudal de diseño

DATOS	SÍMBOLO	UNIDADES			
		L/s	m ³ /s	m ³ /h	m ³ /día
Caudal de diseño	Q	1,41	0,00141	5,076	121,824

Realizado por: Guillca, L., 2023

4.2.1.2. Dimensiones del Filtro

Tabla 4-19: Resultados del filtro lento de zeolita

CÁLCULOS	TÉRMINO	VALOR	UNIDADES
Área del filtro (Ec. 1)	A_f	0,46	m ²
Número de filtros (Ec. 2)	n_f	2	-
Coefficiente de mínimo de costo (Ec. 3)	K_c	1,33	-
Longitud del filtro (Ec. 4)	L_f	0,78	m
Ancho del filtro (Ec. 5)	a_f	0,59	m
Características del lecho filtrante			
Altura del filtro (Ec. 6)	H_F	1,95	m
Sistema de drenaje			
Área de los orificios laterales (Ec. 7)	A_o	0,07	cm ²
Caudal que ingresa a cada orificio (Ec. 8)	Q_o	0,0021	L/s
Número de laterales (Ec. 9)	N_L	1	-
Diámetro de la tubería de entrada al filtro (Ec. 10)	D_{Te}	0,033	m
Diámetro de la tubería de salida del filtro (Ec. 11)	D_{Ts}	0,055	m
Velocidad óptima de lavado del filtro (Ec. 12)	v_l	0,8	m/min
Cantidad de agua para el lavado (Ec. 13)	V_l	5,52	m ³

Realizado por: Guillca, L., 2023

4.2.2. Caracterización del agua de consumo antes y después de la tratabilidad

Con el objetivo de realizar una comparación entre los resultados de los análisis fisicoquímicos anteriores, y los resultados antes y después de someter el agua al tratamiento, se procedió a realizar un último análisis. Se realizó un análisis fisicoquímico en el cual únicamente se compararon los parámetros que pudieron sufrir alteraciones después del tratamiento y los parámetros que superaron los límites establecidos en la norma NTE INEN 1108:2006. Para el

caso de los análisis microbiológicos se trabajó con los resultados obtenidos en los muestreos anteriores.

Con los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica, se continuó con la tratabilidad a nivel de laboratorio, se sometieron las muestras de agua a un proceso de filtración y desinfección, con el fin de remover los fosfatos y eliminar los coliformes totales, presentes en las muestras de agua. Se empleó una botella de plástico para simular el filtro, se colocó una capa gruesa de zeolita activada térmicamente, finalmente se colocó una fina capa de arena (previamente lavada) para evitar que el agua pasara muy rápido. Una vez armado el filtro se procedió a hacer pasar agua través del lecho filtrante, se empezó con la muestra de La Merced de Guiltus ya que fue la que presentó mayor contaminación y después se procedió a realizar la desinfección con hipoclorito de sodio al 10 %.

El resultado post tratamiento fue que no se obtuvo una variación significativa en los parámetros de: color, pH, turbidez, conductividad, dureza, fluoruros, nitritos nitratos, sulfatos, hierro y sólidos totales disueltos, sino que estos valores al igual que antes del tratamiento se mantuvieron dentro de los límites permisibles que establece la norma. Por lo tanto, en las siguientes tablas se presentan los resultados del último análisis que se realizó al agua de consumo de las comunidades y se muestran los parámetros que no cumplieron con los límites permisibles y su variación después del tratamiento, así como el valor de cloro libre residual.

Tabla 4-20: Comparación del agua de consumo de Chamboloma

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	1,10	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	0,94	0,1	<0,3
Coliformes Totales	UFC/100 mL	22,4	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 4-21: Comparación del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	1, 36	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	0,76	0,06	<0,3
Coliformes Totales	UFC/100 mL	33	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 4-22: Comparación del agua de consumo de Teempala

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	1,15	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	0,87	0,09	<0,3
Coliformes Totales	UFC/100 mL	66,50	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

Tabla 4-23: Comparación del agua de consumo de Bayubug

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	0,81	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	2,15	0,23	<0,3
Coliformes Totales	UFC/100 mL	83,25	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L. (2023)

Tabla 4-24: Comparación del agua de consumo de La Merced de Guiltus

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	0,82	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	3,06	0,32	<0,3
Coliformes Totales	UFC/100 mL	285,35	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guillca, L., 2023

Las Tablas 4-21, 4-22, 4-23, 4-24 y 4-25 muestran una comparación del agua de consumo de las comunidades antes y después de recibir el tratamiento a nivel de laboratorio, en los resultados se pudo observar una disminución de fosfatos y la eliminación de coliformes totales, por lo que existe la probabilidad de que el tratamiento que se propuso permita mejorar la calidad del agua de consumo de las comunidades. Además, con los resultados de cloro libre residual es posible que el agua con menos sustancias presentes haya sido Chiquicaz, ya que ha requerido un menor consumo de cloro y por ende un mayor resultado de cloro libre residual, el cloro libre residual después del tratamiento se encuentra dentro del límite permisible establecido en la norma NTE INEN 1108:2006.

4.2.2.1. Porcentaje de remoción de fosfatos y coliformes totales

Tabla 4-25: Porcentaje de remoción de fosfatos y coliformes totales

Comunidad	Resultados de la remoción de fosfatos (mg/L)	Porcentaje de Remoción de Fosfatos (%)	Porcentaje de Remoción de Coliformes totales (%)
Chamboloma	0,1	88,89	100
Bayubug	0,23	89,1	100
Chiquicaz	0,06	92,11	100
Telempala	0,09	89,66	100
La Merced de Guiltus	0,32	89,54	100
Promedio		89,86	100

Realizado por: Guillca, L., 2023

La tabla 4-26 muestra los porcentajes de remoción de fosfatos y coliformes totales que se obtuvieron después de la tratabilidad, la misma que se realizó a las muestras de agua de consumo de las comunidades Chamboloma, Bayubug, Chiquicaz, Telempala y La Merced de Guiltus. El filtro de zeolita dio como resultado excelentes porcentajes de remoción de fosfatos en cada una de las comunidades, es así que, se logró determinar que el porcentaje de remoción de las comunidades fue de 89,86%. Así también, el método de desinfección que se utilizó permitió eliminar los coliformes totales en un 100% en cada una de las comunidades.

De acuerdo a estos resultados, se puede deducir que el sistema de tratabilidad que se propone podría ser útil para corregir los valores de los parámetros de fosfatos y coliformes totales que superaron los límites permisibles que establece la norma INEN 1108 en las comunidades.

4.3. Análisis de costos

Costo aproximado del sistema de tratamiento del agua de consumo para las comunidades Chamboloma, Chiquicaz, Telepala, Bayubug y La Merced de Gultus:

Tabla 4-26: Costo aproximado de implementación del sistema de tratamiento de agua

MATERIAL/DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Sistema de filtros			
Desbroce	m ²	15,00	15,00
Excavación manual	m ²	30,00	30,00
Hormigón Simple f'c= 210 Kg/cm ²	m ³	200,00	400,00
Relleno de Grava Fina	m ³	40,00	4,00
Relleno de Grava Gruesa	m ³	35,00	3,50
Relleno Arena	m ³	30,00	6,00
Relleno Zeolita	m ³	70,00	56,00
Tuberías y accesorios PVC		80,00	80,00
Subtotal			594,50
Otros			
Mano de obra (Albañil)	--	450,00	450,00
Mano de obra (Ayudante)	--	200,00	200,00
Chofer	--	450,00	150,00
Volquetas para retiro de material	--	25,00	50,00
Subtotal			850,00
Accesorios			
Válvulas de compuerta (6)	u	30,00	180,00
Subtotal			180,00
Clorador			
Hormigón Simple f'c= 210 Kg/cm ²	m ³	200,00	200,00
Encofrado y desencofrado	m ²	12,00	30,00
Tapas de tool corrugadas 4 mm	mm	85,00	85,00
Tubería de agua de ½ "ASTM	m	4,20	5,80
Subtotal			320,80
Solución			
Hipoclorito de sodio			25,20
Subtotal			25,20
COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO			1970,50

Realizado por: Guillca, L., 2023

4.4. Discusión de resultados

El suministro de agua en las comunidades de Chamboloma, Byubug, Chiquicaz, Telempala y La Merced de Guiltus, ubicadas en la zona sur de la parroquia Calpi, provienen de vertientes subterráneas, lo cual ha resultado en una ausencia de problemas de contaminación por metales. Esto concuerda con los estudios realizados por Logroño (2015, p. 16), en la comunidad Nitiluisa de la parroquia Calpi, y Salazar (2015, p. 18), en la parroquia Calpi, en los que tampoco se encontró contaminación por metales en el agua de consumo proveniente de fuentes subterráneas. Así mismo, Logroño (2015, p. 16) y Salazar (2015, p. 18), en sus investigaciones determinaron que el agua de consumo presentó contaminación por fosfatos y nitritos en Nitiluisa, y por fosfatos y fluoruros en la parroquia Calpi; en estos estudios después de la caracterización fisicoquímica no se encontró una alteración de los parámetros de: color, pH, conductividad, turbidez, cloruros, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, sulfatos, hierro y sólidos totales, superaran los límites establecidos en la norma NTE INEN 1108, al igual que es la presente investigación. En el presente trabajo se ha identificado un factor común en todas estas comunidades: la presencia elevada de fosfatos en el agua. Los niveles de fosfatos en cada una de ellas superaron los límites máximos permisibles establecidos por la norma NTE INEN 1108:2006.

Las concentraciones y la evolución de los constituyentes químicos de las aguas subterráneas dependen de los elementos existentes en el suelo a través del cual circula o de la roca en que se almacena el agua, las propiedades intrínsecas en los poros del acuífero y el tiempo de reacción; sin embargo, otros autores consideran relevante los fenómenos de contaminación antrópica (Kumar et al., 2009; citado en Cerón, 2021, p.51).

Según Rojas et al. (2020, p. 248), diversos estudios han confirmado que las actividades agrícolas son los principales agentes causantes del deterioro de los cuerpos de agua debido a la contaminación por fertilizantes y pesticidas. Estas prácticas agrícolas generan alteraciones en las cuencas hidrológicas y contribuyen al efecto degenerativo sobre los recursos naturales, ya que los elementos contaminantes son arrastrados por la escorrentía pluvial hacia las fuentes de agua. Los elementos que se filtran en las cuencas principalmente son nitrógeno y fósforo, junto con otras sustancias orgánicas e inorgánicas, se depositan en los cuerpos de agua, alterando significativamente su calidad. Además, otra fuente importante de fosfatos en el agua son las excretas de humanos y animales (Pütz, 2010, p. 2).

La presencia de fosfatos en el agua de consumo de las comunidades de la zona sur de Calpi, también se puede atribuir a la contaminación causada por excreciones tanto humanas como

animales. Un factor que contribuye a esta situación es la falta de protección en las fuentes de agua, lo que permite el acceso de animales y personas a los ojos de agua, resultando en una exposición a esta forma de contaminación. En conjunto, estas observaciones resaltan la urgencia de tomar medidas para controlar y minimizar la contaminación derivada de las actividades agrícolas y ganaderas, así como de otras fuentes, a fin de proteger la calidad y salud de los cuerpos de agua y asegurar la sostenibilidad de estos recursos naturales vitales.

En la investigación llevada a cabo por Salazar (2015, p. 18), se evaluó la eficacia de la zeolita en el tratamiento del agua potable de la parroquia Calpi. En ese estudio, se empleó un sistema de filtración, utilizando zeolita como medio filtrante, se realizó una activación química de la misma utilizando cloruro de sodio al 10%, lo que resultó en una remoción de fosfatos del 82,07%. Sin embargo, en el presente trabajo, se optó por una activación térmica de la zeolita, lo cual arrojó una remoción promedio de fosfatos del 89,86% en las muestras de agua de las comunidades. De acuerdo a estos resultados, probablemente la activación térmica sea más eficaz que la activación química, ya que de la activación de la zeolita depende el incremento de sus propiedades de intercambio iónico y adsorción (GlobeCore, 2014). No obstante, es importante seguir investigando y monitoreando la eficiencia de este tratamiento a largo plazo, para asegurar su viabilidad y sostenibilidad en beneficio de la comunidad.

CONCLUSIONES

- Mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se evaluó la calidad del agua de consumo en las comunidades Teल्पala, Chiquicaz, Chamboloma, Bayubug y La Merced de Guiltus, ubicadas en la zona sur de la parroquia Calpi, provincia de Chimborazo.
- Se realizó un diagnóstico exhaustivo del sistema de abastecimiento de agua en estas comunidades mediante visitas de campo. Se pudo observar que actualmente carecen de un sistema de tratamiento que garantiza el suministro de agua segura. Su infraestructura se limita a tanques de captación y almacenamiento, que luego transportan el agua a los hogares mediante mangueras.
- Se muestran puntos de evidencias estratégicas a lo largo del sistema de distribución en cada comunidad. Estos puntos permitieron obtener muestras representativas para llevar a cabo un análisis fisicoquímico y microbiológico. Dichos análisis brindaron información detallada sobre las características del agua en su fuente original y cómo estas características pueden o no variar, a lo largo de la red de distribución hasta llegar a los hogares.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo de las comunidades de la zona sur de Calpi, los resultados fueron comparados con la norma NTE INEN 1108, como resultado se obtuvo que el agua de consumo de las comunidades está contaminada con fosfatos ya que todas superan el límite de 0,3 mg/L: Chamboloma con 0,92, Bayubug con 2,24, Chiquicaz con 0,76, Teल्पala con 0,91 y La Merced de Guiltus con 3,21 (mg/L). El agua de consumo también presentó contaminación de tipo microbiológico por coliformes totales: Chamboloma con 22,4, Bayubug con 83,25, Chiquicaz con 33, Teल्पala con 66,50, y La Merced de Guiltus con 285,35 (NMP /100 mL), ya que la norma establece que el valor máximo para coliformes totales es $< 1,1$ NMP/100 mL, por lo que el agua de consumo de las comunidades necesita un tratamiento de filtración y desinfección para corregir estos parámetros. Los resultados corresponden a la caracterización de las muestras tomadas en invierno y verano.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y microbiología del agua de consumo de las comunidades, se establecieron alternativas de tratabilidad, a nivel de laboratorio, para corregir los parámetros que se encontraron fuera de los límites máximos permisibles, establecidos en la norma NTE INEN 1108:2006, se optó por un filtro utilizando zeolita como medio filtrante la cual recibió una activación térmica a 250°C por dos horas, para corregir el parámetro de fosfatos, y una posterior desinfección, con hipoclorito de sodio, para corregir el parámetro de coliformes totales. Con la

propuesta del sistema de tratamiento se podría mejorar la calidad del agua y obtener un buen funcionamiento del sistema de distribución.

- Se caracterizó el agua posterior al tratamiento, mediante análisis fisicoquímico y microbiológico, a nivel de laboratorio, con lo que se obtuvo una remoción de fosfatos en Chamboloma de 88,89%, en Byubug de 89,1 %, en Chiquicaz de 92,11%, en Telempala de 89, 66% y en La Merced Gultus de 89,54%, y un 100% en la eliminación de coliformes totales en todas las comunidades, con lo que demostró la eficacia y eficiencia de sistema de tratabilidad propuesto y se determinó que la activación térmica da mejores resultados que la activación química; sin embargo, es necesario que la activación térmica se realice cada seis meses puesto que es efectiva durante este tiempo.
- En la socialización de los resultados, se realizó una capacitación a las personas encargadas del mantenimiento del sistema de distribución del agua de consumo de las comunidades, para un correcto mantenimiento de los tanques y el filtro, así como, de la dosificación de cloro adecuada para que el agua mantenga su calidad y los habitantes puedan consumir agua segura.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda cercar adecuadamente las fuentes y los tanques reservorios de agua, impidiendo el libre acceso de animales y personas, y evitar el pastoreo cerca de las fuentes de agua. Estas medidas contribuirían a prevenir posibles contaminaciones y asegurar la calidad del recurso hídrico.
- Es importante realizar verificaciones periódicas del proceso de filtración para evitar la acumulación excesiva de materia orgánica en el lecho filtrante. Mantener un lecho filtrante limpio y en buen estado garantizará un tratamiento más efectivo del agua.
- Se sugiere programar el mantenimiento del sistema de tratamiento cada seis meses. Durante estas revisiones, se debe proceder a cambiar el medio filtrante por otro previamente activado térmicamente, asegurando así el óptimo funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo.
- Es fundamental realizar un seguimiento periódico del sistema de distribución y de ser necesario realizar reparaciones o sustituciones de tuberías o piezas para evitar posibles escapes o filtraciones que puedan afectar el funcionamiento del sistema y comprometer la calidad del agua.
- Se recomienda llevar a cabo un monitoreo periódico del estado del agua, verificando que los parámetros se encuentren dentro de los límites permisibles para detectar cualquier anomalía en el sistema.
- Antes de construir el sistema de tratamiento, es imprescindible designar un operador con la formación adecuada para llevar a cabo el mantenimiento y limpieza de todo el sistema de distribución, desde los tanques de captación hasta los tanques de almacenamiento. Asimismo, es esencial contar con los insumos y materiales necesarios para estas tareas, garantizando así el funcionamiento ininterrumpido del sistema y su correcto estado.
- Implementar estas recomendaciones contribuiría significativamente a la eficiencia y eficacia del sistema de tratamiento de agua, protegiendo así la salud y el bienestar de los habitantes.

BIBLIOGRAFÍA

BARRERA ESCORCIA, Guadalupe; FERNÁNDEZ RENDÓN, Carlos L.; WONG CHANG, Irma, & RAMÍREZ ROMERO, Patricia. “La sensibilidad del grupo coliforme como indicador de la presencia de enterobacterias patógenas en cuatro cuerpos acuáticos de México”. *Hidrobiológica* [en línea], 2013, (México) 23 (1), pp. 88-89. [Consulta: 18 agosto 2023]. ISSN 0188-8889. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v23n1/v23n1a9.pdf>

MILÁN TENESACA, Benito Bladimir. El agua potable y su incidencia en la condición sanitaria de los moradores de la comunidad Nitiluisa Rumipamba, parroquia Calpi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato. 2015. pp.10-12.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. *Calidad del Agua* [en línea]. Chile: Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones, 2016, p.2. [Consulta: 22 de Enero de 2023]. Disponible en: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>

BOLAÑOS ALFARO, J. D., CORDERO CASTRO, G., & SEGURA ARAYA, G. “Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)”. *Tecnología en Marcha* [en línea], 2017, (Costa Rica) 30(4), pp.17-18. [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>

CABRERA MOLINA, E., HERNÁNDEZ GARCIADIEGO, L., GÓMEZ RUÍZ, H., & CAÑIZARES MACÍAS MA. DEL P. (2003). “Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar”. *Sociedad Química de México* [en línea], 2003, (México), 47(1), p. 88. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 0583-7693. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v47n1/v47n1a14.pdf>

CADENA MONTENEGRO, José Luis, & RAMÍREZ SOLER, María Fernanda. “La seguridad humana y los problemas colaterales del agua”. *Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad* [en línea], 2014, (Bogotá), 9(2), p.184. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 1909-3063. Disponible en: www.scielo.org.co/pdf/ries/v9n2/v9n2a09.pdf

CERÓN, Lina M., SARRIA, Jhon D., TORRES, Johan S., & SOTO PAZ, Jonathan. Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Información. Tecnológica* [en línea], 2021, (Colombia) 32(1), pp. 1-2. [Consulta: 25 agosto 2023]. ISSN 0718-0764. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>

CHACÓN CHAQUEA, M. *Análisis físico y químico de la calidad del agua* [en línea]. Bogotá, Colombia: Ediciones USTA, 2016, pp. 68-96. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/68990?>

DE LA PARTE, María, BRUZUAL, Elizabeth, BRITO, Ana, & HURTADO, María del Pilar. “Cryptosporidium spp. y Criptosporidiosis”. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* [en línea], 2005, (Caracas), 25(1), pp. 2-5. [Consulta: 08 enero 2023]. ISSN 1315-2556. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562005000100003&lng=es&nrm=iso

FELÉZ SANTAFÉ, Marta. *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos* [en línea]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2009. [Consulta: 12 de Enero de 2023]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6263>

FERNÁNDEZ CIRELI, Alicia. “El agua: un recurso esencial”. *Química Viva* [en línea], 2012, (Buenos Aires), 11(3), pp.148-151. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 1666-7948. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>

GAD PAROQUIAL SANTIAGO DE CALPI. *El Agua* [blog]. 2020. [Consulta: 25 de Julio de 2023]. Disponible en: <https://santiagodecalpi.gob.ec/la-parroquia/biofisico-ambiental/el-agua.html>

GUZMÁN, Luis, VILLABONA, Ángel, TEJADA, Candelaria, & GARCÍA, Rafael. “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión”. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea], 2013, (Colombia), 16(1), p.254. [Consulta: 25 de Julio de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>

HOFSTEDE, Robert. *La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo* [en línea], 1997, (Ecuador), p.1. [Consulta: 16 de Enero de 2023.]

http://infoandina.org/infoandina/sites/default/files/publication/files/La_Importancia_Hidrica_de_l_P_ramo_y_Aspectos_de_su_Manejo.pdf

LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL. 2015. Acuerdo Ministerial No. 028

LOGROÑO VILLAMARÍN, Pamela Estefanía. Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para consumo humano para la Comunidad Nituluisa [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2015. pp.6-78. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4683/1/96T00302%20UDCTFC.pdf>

LÓPEZ-BELLIDO GARRIDO, Francisco, & LÓPEZ BELLIDO, Luis. “Selenio y salud: valores de referencia y situación actual de la población española”. *Nutrición. Hospitalaria* [en línea], 2013, (España) 28(5), pp. 1397-1398. [Consulta: 19 diciembre 2022]. ISSN 1699-5198. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6634>

MENA, P., MEDINA, G., & HOFSTEDÉ, R. 2001. Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas [en línea], 2001, (Quito), p.1. [Consulta: 12 de Enero de 2023]. ISBN 9978-04-727-1. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/528628862/095-Hofstede-2001-Paramo-Ecuador-Impacto>

MOLINA PAREDES, Jessica. Evaluación de la calidad físico química y microbiológica del agua de consumo humano en el cantón Chunchi [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2016. pp.12-19. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6355/1/56T00685.PDF>

NAVAS CUENCA, Estefanía. (Coord.). *Calidad de aguas: Usos y Aprovechamiento* [en línea]. Málaga, España: Editorial ICB, 2017, p. 27-31. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/113231?>

NTE INEN 1108:2006. *Agua Potable. Requisitos.*

NTE INEN 1108:2014. *Agua Potable. Requisitos.*

NTE INEN 2169:1998. *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.*

NTE INEN 2176:1998. *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.*

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. “Flúor en el agua de consumo” [en línea]. 2013. [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es#gsc.tab=0

PÜTZ, Petra. “Eliminación y determinación de fosfato”. *Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso nutrientes* [blog], 2010. [Consultado: 23 julio 2023]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>

QUEZADA LÁZARO, Rodrigo & ORTEGA PIERRES María. “Giardosis”. *Ciencia* [en línea], 2017, 68(1), pp. 34-35. [Consulta: 08 enero 2023]. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_1/PDF/Giardiosis.pdf

ROBERT PULLÉS, M. “Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba”. *CENIC Ciencias Biológicas* [en línea], 2014, (Cuba), 45(1), p.26. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 0253-5688. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181230079005>

ROJAS RODRÍGUEZ, I. S., CORONADO GARCÍA, M. A., ROSSETTI LÓPEZ, S. R., & BELTRÁN MORALES, F. A. “Contaminación por nitratos y fosfatos provenientes de la actividad agrícola en la cuenca baja del río Mayo en el estado de Sonora, México”. *Terra latinoamericana* [en línea], 2020, (México) 38(2), p. 248. [Consultado: 16 junio 2023]. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/642/1025>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del agua. 3ra ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009, ISBN 978-958-8060-83-5, pp. 107-130*

SALAZAR LLANGARI, Karina Gabriela. Rediseño del sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia Santiago de Calpi, cantón Riobamba [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química, Riobamba. 2015. pp.18. [Consulta: 19 julio 2023]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/4740/1/96T00318%20UDCTFC.pdf>

SAMPACHC. *Zeolita como intercambiador iónico para controlar el amonio en cultivos* [blog]. 2020. [Consulta: 25 de Julio de 2023]. Disponible en: <https://www.zeonatec.com/post/zeolita-como-intercambiador-i%C3%B3nico-para-controlar-el-amonio-en-cultivos>

SÁNCHEZ PÁEZ, Nicolás. Diseño de un filtro para el tratamiento de aguas de Aljibe en la vereda sucre occidental en Chiquinquirá [En línea] (Trabajo de Titulación). Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Química. Bogotá D.C. 2022. pp.32-33. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8832/4/6182507-2022-1-IQ.pdf>

SÁNCHEZ, L., SÁNCHEZ, A., GALVIS, G., & LATORRE, J. “Filtración en Múltiples Etapas”. *IRC (Centro Internacional de Agua y Saneamiento)* [en línea], 2007, (Colombia), p.14. [Consulta: 25 de Julio de 2023]. Disponible en: https://es.ircwash.org/sites/default/files/top15_mfs_s.pdf

SEVERICHE SIERRA, Carlos, & GONZALEZ GARCIA, Humberto. “Determinación de Fosfatos en Aguas por Método Calorimétrico. Validación del Método”. *Química Hoy* [en línea], 2012, (Colombia) 2(3), p. 28. [Consultado: 12 julio 2023]. Disponible en: <https://quimicahoy.uanl.mx/index.php/r/article/view/156/124>

SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* [en línea]. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2011, p. 40-82. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/70981>

SWISTOCK, Bryan. Bacterias Coliformes [blog]. Pennsylvania State University, 05 de septiembre, 2023. [Consulta 25 septiembre 2023]. Disponible en: <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>

TITUAÑA GALLARDO, Jóselyn Elizabeth. Análisis, evaluación y propuesta de mejoramiento de la línea de conducción de agua de consumo en la comunidad de Nitiluisa, provincia de Chimborazo [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Civil y Ambiental, Ingeniería Civil, Quito. 2020. pp.2-4. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21312/1/CD%2010830.pdf>

TORRES PARRA, C. A., GARCÍA-UBAQUE, C. A., GARCIA-UBAQUE, J. C., GARCÍA-VACA, M. C., & PACHECO GARCÍA, R. “Agua segura para comunidades rurales a partir de

un sistema alternativo de filtración”. *Revista de Salud Pública* [en línea],2017, (Colombia) 19(4), p.454. [Consultado: 18 enero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.56039>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guías para la calidad del agua de consumo humano.* 4ta ed. Ginebra, 2011, pp. 556-571



ANEXOS

ANEXOS A: NORMA NTE INEN 1108:2006



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 108:2006
Segunda revisión

AGUA POTABLE. REQUISITOS.

Primera Edición

WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.

First Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.
AL: 01.06-401
CDU: 644.61
CIIU: 4200
ICS: 13.060.20

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	AGUA POTABLE. REQUISITOS.	NTE INEN 1 108:2006 Segunda revisión 2006-03
--	--------------------------------------	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. DEFINICIONES

3.1 **Agua Potable.** Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

3.2 **Agua Cruda.** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

3.3 **Límite máximo permisible.** Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.

3.4 **UFC/ml.** Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

3.5 **NMP.** Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los Tubos múltiples.

3.6 **µg/l.** (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.7 **mg/l.** (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.8 **Microorganismo patógeno.** Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

3.9 **Pesticidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

3.10 **Desinfección.** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

3.11 **Subproductos de desinfección.** Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

3.12 **Radio nucleido.** Nucleidos radiactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y másico A.

3.13 **MBAS, ABS.** Sustancias activas al azul de metileno; Alquil Benceno Sulfonato.

3.14 **Cloro residual.** Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

3.15 **Dureza total.** Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua y expresado como carbonato de calcio.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.

3.16 Sólidos totales disueltos. Fracción filtrable de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/ml

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos Específicos

5.1.1 El Agua Potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permissible
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	—	no objetable
Sabor	—	no objetable
pH	—	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
Inorgánicos		
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 - 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	10
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,0
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos		
Radiación total α **	Bq/l	0,1
Radiación total β ***	Bq/l	1,0

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁵Pu

*** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra

(Continúa)

Orgánicos		
Tensoactivos ABS (MBAS)	mg/l	0,0
Fenoles	mg/l	0,0
Sustancias Orgánicas		
		Limite máximo µg/l
Alcanos Clorinados		
- tetracloruro de carbono		2
- diclorometano		20
- 1,2dicloroetano		30
- 1,1,1-tricloroetano		2000
Etanos Clorinados		
- cloruro de vinilo		5
- 1,1dicloroetano		30
- 1,2dicloroetano		50
- tricloroetano		70
- tetracloroetano		40
Hidrocarburos Aromáticos		
- benceno		10
- tolueno		170
- xileno		500
- etilbenceno		200
- estireno		20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)		0,3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		
- benzo [a]pireno		0,01
- benzo [a]fluoranteno		0,03
- benzo [k]fluoranteno		0,03
- benzo [ghi]pirileno		0,03
- indeno [1,2,3-cd]pireno		0,03
Bencenos Clorinados		
- monoclorobenceno		300
- 1,2-diclorobenceno		1000
- 1,4-diclorobenceno		300
- triclorobencenos (total)		20
di(2-etilhexil) adipato		80
di(2-etilhexil) ftalato		8
acrylamida		0,5
epiclorohidrin		0,4
hexaclorobutadieno		0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA		200
ácido nitrotriacético		200
óxido tributilitin		2

(Continúa)

Pesticidas	
	Limite máximo µg/l
Isoproturon	9
Lindano	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	2
Metoxyclo	10
Molinate	6
Pendimetalin	20
Pentaclorofenol	9
Permetrin	20
Propanil	20
Piridato	100
Simazina	2
Trifluralin	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPA 2,4-DB	90
Dicloroprop	100
Fenoprop	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	2
Mecoprop	10
2,4,5-T	9
Residuos de desinfectantes	
	Limite máximo µg/l
Monocloramina, di- y tricloramina	3
Cloro	5
Subproductos de desinfección	
	Limite máximo µg/l
Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	
- 2,4,6-triclorofenol	200
Formaldeído	900
Trihalometanos	
- bromoformo	100
- diclorometano	100
- bromodiclorometano	60
- cloroformo	200
Ácidos acéticos clorinados	
- ácido dicloroacético	50
- ácido tricloroacético	100
Hidrato clorado	
- tricloroacetaldeído	10
Acetonitrilos halogenados	
- dicloroacetonitrilo	90
- dibromoacetonitrilo	100
- tricloroacetonitrilo	1
Cianógeno clorado (como CN)	70

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos Microbiológicos.

(Continúa)

Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2 *
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2 *
Criptosporidium, número de quistes/100 litros	ausencia
Giardia Lambia, número de quistes/100 litros	ausencia

* < 2 significa que en el ensayo del NMP utilizando una serie de 5 tubos por dilución, ninguno es positivo

(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis bacteriológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods)

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición.

(Continúa)

**ANEXO 1.
(INFORMATIVO)**

Número de unidades a tomarse de acuerdo a la población servida

ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Población servida	Número mínimo Muestras /mes	Población servida	Número mínimo Muestras /mes
25 a 1000	1	83001 a 90000	90
1001 a 2500	2	90001 a 96000	95
2501 a 3300	3	96001 a 111000	100
3301 a 4100	4	111001 a 130000	110
4101 a 4900	5	130001 a 160000	120
4901 a 5800	6	160001 a 190000	130
5801 a 6700	7	190001 a 220000	140
6701 a 7600	8	220001 a 250000	150
7601 a 8500	9	250001 a 290000	160
8501 a 9400	10	290001 a 320000	170
9401 a 10300	11	320001 a 360000	180
10301 a 11100	12	360001 a 410000	190
11101 a 12000	13	410001 a 450000	200
12001 a 12900	14	450001 a 500000	210
12901 a 13700	15	500001 a 530000	220
13701 a 14600	16	530001 a 600000	230
14601 a 15500	17	600001 a 660000	240
15501 a 16300	18	660001 a 720000	250
16301 a 17200	19	720001 a 780000	260
17201 a 18100	20	780001 a 840000	270
18101 a 18900	21	840001 a 910000	280
18901 a 19800	22	910001 a 970000	290
19801 a 20700	23	970001 a 1050000	300
20701 a 21500	24	1050001 a 1140000	310
21501 a 22300	25	1140001 a 1230000	320
22301 a 23200	26	1230001 a 1320000	330
23201 a 24000	27	1320001 a 1420000	340
24001 a 24900	28	1420001 a 1520000	350
24901 a 25000	29	1520001 a 1630000	360
25001 a 28000	30	1630001 a 1730000	370
28001 a 33000	35	1730001 a 1850000	380
33001 a 37000	40	1850001 a 1970000	390
37001 a 41000	45	1970001 a 2060000	400
41001 a 46000	50	2060001 a 2270000	410
46001 a 50000	55	2270001 a 2510000	420
50001 a 54000	60	2510001 a 2750000	430
54001 a 59000	65	2750001 a 3020000	440
59001 a 64000	70	3020001 a 3320000	450
64001 a 70000	75	3320001 a 3620000	460
70001 a 76000	80	3620001 a 3960000	470
76001 a 83000	85	3960001 a 4310000	480
		4310001 a 4690000	490
		Sobre 4690000	500

Fuente: Interim Primary Drinking Water Standards – Environmental Protection Agency (EPA), 1975

Bibliografía:

CETESB. Compañía de tecnología de Saneamiento Ambiental. Control de Calidad del Agua Potable para consumo humano. Bases conceptuales y Operacionales. Sao Paulo, 1977

(Continúa)

ANEXOS B: METODOLOGÍA UTILIZADA EN LA REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Determinación de turbiedad

- Encender el Turbidímetro.
- Colocar cada una de las muestras en la celda hasta la marca indicada.
- Ubicar la celda dentro del porta-celdas y cerrar.
- Anotar la lectura, dada en NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez).

Determinación de color

- En el equipo HACH DR2800, seleccionar en la pantalla: Programas almacenados. Escoger la opción 125 Color 465 nm.
- Preparar 10 mL de cada muestra en tubos de ensayo y un tubo adicional con 10 mL de agua destilada (BLANCO).
- Colocar los 10 mL de agua destilada en una de las celdas, limpiar y secar bien el exterior de la misma y seleccionar la opción Cero en la pantalla.
- Colocar 10 mL de cada una de las muestras previamente etiquetadas en la celda adicional, limpiar el exterior de la misma y seleccionar la opción Medición en la pantalla.
- Cada vez que se cambie de muestra es necesario lavar la celda con agua destilada por lo que se debe limpiar y secar para cada muestra.
- Anotar los datos de la lectura que indica el equipo dado en Pt-Co.

Determinación de conductividad y sólidos totales disueltos

- Para la determinación de los parámetros de conductividad y sólidos disueltos se utilizó el equipo OAKTON PC 2700.
- Para realizar la determinación de conductividad y sólidos totales disueltos se requiere llenar las tres cuartas partes de un vaso plástico limpio y estéril con las muestras de agua a analizar.
- Se procede a encender el equipo OAKTON PC 2700 con el botón de Encendido/Apagado, una vez que se enciende el equipo es necesario lavar el electrodo del equipo con abundante agua destilada con ayuda de una piseta y después se seca el electrodo cuidadosamente con una toalla absorbente limpia.
- Posteriormente se selecciona el parámetro a leer (conductividad, sólidos totales disueltos) presionando el botón F3 y se coloca el electrodo dentro del vaso de manera que el electrodo quede

cubierto por la muestra de agua. El proceso de lavado y secado del electrodo se repite para cada muestra.

- Una vez que el electrodo este sumergido en el agua el equipo empezará a presentar los valores en pantalla, es necesario esperar a que los datos se estabilicen y se presenten de color negro en la pantalla del equipo, proceder a registrar los datos de cada parámetro.
- Las unidades para el registro son: uS/cm para conductividad, y mg/L para sólidos totales disueltos.

Determinación de sólidos suspendidos

- En el equipo HACH DR2800, seleccionar en la pantalla: Programas almacenados. Escoger la opción 630 Sólidos en suspensión.
- Preparar 10 mL de cada muestra en tubos de ensayo y un tubo adicional con 10 mL de agua destilada (BLANCO).
- Colocar los 10 mL de agua destilada en una de las celdas, limpiar y secar bien el exterior de la misma y seleccionar la opción Cero en la pantalla.
- Colocar los 10 mL de cada una de las muestras previamente etiquetadas en la celda adicional, limpiar el exterior de la misma y colocarla en el soporte porta-cubetas
- Seleccionar la opción Medición en la pantalla del equipo.
- Cada vez que se cambie de muestra es necesario lavar la celda con agua destilada por lo que se debe limpiar muy bien la cubeta para cada muestra.
- Anotar los datos de la lectura que indica el equipo dado en mg/L.

Determinación de pH

- Para la determinación de pH, en el primer muestreo se utilizó un medidor de pH portátil ya que el pH-metro de laboratorio no se encontraba calibrado, para el segundo y tercer muestreo se utilizó el pH-metro de laboratorio puesto que ya se encontraba calibrado, es importante recalcar que básicamente el procedimiento para los dos equipos es el mismo.
- Para medir este parámetro es necesario llenar las tres cuartas partes de un vaso plástico limpio y estéril con cada una de las muestras de agua a analizar.
- Se procede a encender el pH-metro, 744 pH Meter, con el botón de ON/OFF, una vez encendido el equipo, es necesario lavar completamente el electrodo del equipo con suficiente agua destilada que se realiza con ayuda de una piseta y después se procede a secar con una toalla absorbente limpia.
- En la pantalla del equipo se puede observar el parámetro a leer, por defecto se encontrará en el parámetro de pH, de no ser el caso se puede cambiar el parámetro en el botón pH/mV/°C, el proceso de lectura iniciará una vez que se sumerja el electrodo dentro del vaso que contiene la

muestra de agua. Para cada muestra es necesario repetir el proceso de lavado y secado mencionado anteriormente.

- Una vez que el electrodo este sumergido en el agua el equipo empezará a presentar los valores en pantalla, por lo que se requiere esperar hasta que los datos se estabilicen y presenten un color negro en la pantalla del equipo, ese será el valor de pH de la muestra.
- Finalmente se procede a registrar los datos de pH de cada una de las muestras.

Determinación de dureza

- Tomar 25 mL de muestra
- Agregar 1 mL de Cianuro de potasio
- Añadir 2 mL de Buffer pH 10
- Adicionar una pizca de indicador Negro de Ericromo T.
- Finalmente, titular con EDTA (0,02M) de color violeta a azul

Determinación de alcalinidad

- Tomar 25 mL de muestra
- Agregar 2 gotas de fenolftaleína (pH > 8)
- Titular con H₂SO₄ hasta incoloro
- Añadir 3 gotas de naranja de metilo (pH < 8)
- Titular con H₂SO₄ de color naranja a rosado.

Determinación de cloruros

- Tomar 25 mL de muestra
- Agregar 4 gotas de K₂CrO₄
- Titular con AgNO₃ (0,01N) de color amarillo a ladrillo.

Determinación de nitratos

- En el equipo HACH DR2800, seleccionar la opción Programas almacenados en la pantalla.
- Escoger el test: 351 N Nitrato RB.
- Preparar la muestra: Colocar 10 mL de la muestra en una celda.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de NitraVer 5 en polvo.
- Pulsar en la pantalla el símbolo de temporizador y esperar el tiempo indicado.
- Agitar la muestra con reactivo durante tres minutos (de existir nitratos en la muestra la solución tomará un color ámbar), dejar en reposo por dos minutos, volver a agitar por 30 segundos y finalmente dejar la muestra en reposo durante 15 minutos para que se produzca la reacción.

- Preparar el blanco: Colocar 10 mL de agua destilada en una celda.
- Al sonar el temporizador, limpiar y secar bien el exterior de la cubeta que corresponde al blanco y colocarla en el soporte, porta-cubetas, con la marca de llenado hacia el frente.
- Seleccionar la opción Cero en la pantalla.
- En la pantalla se observa la medición 0,00 mg/L NO_3^- -N.
- Limpiar bien el exterior de la celda que corresponde a la muestra y colocarla en el soporte, porta cubetas, con la marca de llenado hacia el frente.
- Seleccionar la opción Medición en la pantalla del equipo.
- Registrar los datos de la lectura que indica el equipo, dado en mg/L NO_3^- -N.

Determinación de nitritos

- En el equipo HACH DR2800, seleccionar la opción Programas almacenados, en la pantalla del equipo.
- Escoger el test: 375 N Nitrito RB AV.
- Preparar 10 mL de cada muestra en tubos de ensayo y un tubo adicional con 10 mL de agua destilada (BLANCO).
- Preparar la muestra: En cada tubo de ensayo que contiene 10 mL de cada muestra añadir el contenido de un sobre de reactivo de Nitriver en polvo.
- Agitar con rotación hasta que se disuelva el reactivo. En el caso de existir nitritos en la muestra, la solución cambiará a un color ámbar.
- Presionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar Ok.
- Esperar el tiempo determinado por el temporizador, 20 minutos, para que se produzca la reacción.
- Preparar el blanco: Colocar los 10 mL de agua destilada en una de las celdas.
- Al sonar el temporizador, secar bien el exterior de la cubeta que corresponde al blanco y colocarla en el porta-cubetas, con la marca de llenado hacia el frente.
- Presionar la opción Cero en la pantalla del equipo.
- Se observará el valor de medición de 0,00 mg/L NO_2^- -N.
- Limpiar y secar muy bien la parte externa de la cubeta que corresponde a la muestra y colocarla en el soporte porta-cubetas, con la marca de llenado hacia el frente.
- Escoger en pantalla la opción: Medición.
- Para cada muestra se debe repetir el proceso de lavado con agua destilada previo a colocar la muestra a analizar.
- Registrar los datos de lectura que indica el equipo, dado en mg/L NO_2^- -N.

Determinación de fluoruros

- En el equipo HACH DR2800, escoger la opción: Programa almacenados, en la pantalla del equipo
- Escoger el test: 190 Fluoruros.
- Preparar el blanco: Colocar 10 mL de agua destilada en un tubo de ensayo y añadir 2 mL del reactivo SPADNS.
- Preparar la muestra: Colocar 10 mL de la muestra en un tubo de ensayo y añadir 2 mL del reactivo SPADNS para cada muestra y agitar con rotación.
- En la pantalla del equipo seleccionar el símbolo de temporizador y pulsar Ok. Esperar el período de reacción, 1 minuto.
- Una vez que transcurre el tiempo establecido por el temporizador limpiar bien el exterior de la cubeta que corresponde al blanco y colocarla en el soporte porta-cubetas.
- En la pantalla del equipo seleccionar la opción: Cero. Se observa la medición 0,00 mg/L F^- .
- Secar bien el exterior de la cubeta que contiene la muestra y colocarla en el soporte, porta-cubetas, con la marca de llenado hacia el frente.
- En la pantalla del equipo seleccionar la opción: Medición.
- Anotar los datos de lectura que indica el equipo, dado en mg/L F^- .

Determinación de hierro

- En el equipo HACH DR2800, escoger la opción: Programa almacenados, en la pantalla del equipo
- Escoger el test: 265 Hierro FerroVer
- Preparar la muestra: Colocar 10 mL de cada muestra en tubos de ensayo
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de hierro FerroVer en polvo en cada muestra y mezclar agitando con rotación
- En la pantalla del equipo seleccionar el temporizador y presionar OK. Esperar el periodo de reacción, 3 minutos. Si existe hierro la mezcla tomará un color anaranjado
- Preparar el blanco: Colocar 10 mL de agua destilada en la cubeta
- Una vez que transcurre el tiempo establecido por el temporizador limpiar bien el exterior de la cubeta que corresponde al blanco y colocarla en el soporte porta-cubetas.
- En la pantalla del equipo seleccionar la opción: Cero. Se observa la medición 0,00 mg/L Fe .
- En otra cubeta (distinta a la del blanco) colocar las muestras de los tubos de ensayo, secar bien el exterior de la cubeta que contiene la muestra y colocarla en el soporte, porta-cubetas, con la marca de llenado hacia el frente.

- Para cada muestra se debe lavar la cubeta con agua destilada y secar totalmente el exterior de la cubeta.
- En la pantalla del equipo seleccionar la opción: Medición.
- Anotar los datos de lectura que indica el equipo, dado en mg/L Fe .

Determinación de fosfatos

- En el equipo HACH DR2800, escoger la opción: Programa almacenados, en la pantalla del equipo
- Escoger el test: 490 P react PV
- Preparar la muestra: Colocar 10 mL de cada muestra en tubos de ensayo
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de PhosVer 2 en polvo en cada muestra y mezclar agitando con rotación
- En la pantalla del equipo seleccionar el temporizador y presionar OK. Esperar el período de reacción, 2 minutos.
- Preparar el blanco: Colocar 10 mL de agua destilada en la cubeta
- Una vez que transcurre el tiempo establecido por el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta que corresponde al blanco y colocarla en el soporte porta-cubetas.
- En la pantalla del equipo seleccionar la opción: Cero. Se observa la medición $0,00 \text{ mg/L } PO_4^{3-}$.
- En otra cubeta (distinta a la del blanco) colocar la muestra de los tubos de ensayo, secar bien el exterior de la cubeta y colocarla en el soporte, porta-cubetas, con la marca de llenado hacia el frente.
- Para cada muestra se debe lavar la cubeta con agua destilada y secar totalmente el exterior de la cubeta.
- En la pantalla del equipo seleccionar la opción: Medición.
- Anotar los datos de lectura que indica el equipo, dado en $\text{mg/L } PO_4^{3-}$.

Determinación de metales (Mercurio, Cadmio, Plomo, Arsénico, Níquel y Selenio)

- Recolectar 1000 mL de muestra en envases de polietileno llenando hasta el tope.
- Preservar las muestras añadiendo 2 mL de ácido nítrico y refrigerar a 4°C .
- Para la digestión:
- Colocar la muestra en un Erlenmeyer de 1000 mL y añadir 8 mL de ácido nítrico (para completar los 10 mL).
- Calentar el Erlenmeyer en un reverbero casi a sequedad y evitando que la muestra llegue a hervir.
- Mantener la digestión hasta un volumen menor a 100 mL (evaporar casi a sequedad).

- Enfriar y aforar con agua destilada en un balón de aforo de 100 mL.
- Para preparar los estándares:
- Escoger el estándar de la prueba que se vaya a realizar, 1000 mg/L, el estándar viene preparado.
- Tomar 0,1 mL de estándar y aforar a 100 mL, de esta manera se obtiene una concentración de 1 mg/L, esta es la solución madre y con ésta se prepara el estándar de calibración.
- Proceder a la lectura en el Espectrofotómetro de absorción atómica.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Determinación de Coliformes totales y coliformes fecales por el Método NMP

- Preparar el medio de cultivo con agua peptonada al 0,1 %.
- Preparar el medio de cultivo caldo bilis verde brillante al 2%.
- Preparar medio de cultivo Eosina Azul de Metileno (EAM).
- Disolver 10 mL de la muestra en 90 mL de agua peptonada.
- Trasladar 1 mL de la dilución a un tubo con 9 mL de caldo bilis verde brillante 2%.
- Preparar diluciones en serie hasta obtener una dilución de 10^{-5}
- Dejar incubar durante 48 horas.
- En caso de que exista crecimiento en los tubos, sembrar en Eosina Azul de metileno (EAM).
- Dejar incubar de 24 a 48 horas.
- En el caso de que exista crecimiento de colonias realizar un frotis y observar en el microscopio
- De ser necesario realizar repiques para aislar las colonias y finalizar con mayor seguridad.

Determinación de Coliformes totales y coliformes fecales por el Método de FM

- Limpiar y desinfectar con alcohol toda el área de trabajo.
- Preparar el equipo de filtración y la fuente de vacío
- Colocar el filtro de membrana sobre la fuente vacío
- Colocar 100 mL de la muestra y aplicar el vacío hasta que el líquido se haya filtrado
- Romper el vacío y volver a colocar el filtro de membrana
- Colocar el reactivo sobre la base del filtro y volver a aplicar el vacío hasta que el reactivo se haya filtrado
- Desconectar el filtro de membrana y tapar
- Etiquetar cada muestra e incubar de 24 a 48 horas

- Contar las colonias en el caso de que haya crecimiento.

Técnica de centrifugación para recuperación y detección de *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*.

- Poner la muestra en 12 tubos de centrifugación.
- Centrifugar por un tiempo de 5 min.
- Desechar el sobrenadante.
- Remover el sedimento y agregar una gota de este sobre al portaobjetos.
- Desplegarlo de manera homogénea con un cubre objetos.
- Observar en el microscopio y anotar los resultados.

ANEXOS C: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS FISCOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba- Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Glenda Liseth Guillca Guamán

Fecha de Análisis: 24/11/2022

Tipo de muestras: Agua de consumo de las comunidades Bayubug, La Merced de Gultus, Telempeala, Chamboloma y Chiquicaz

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Tabla 1: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chamboloma

Parámetro	Unidad	Resultados			Promedio Muestras	Limite máximo permisible
		Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,32	0,32	0,29	0,31	5
pH		7,71	7,73	7,76	7,73	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	355,60	358,80	360,50	358,30	<1250
Cloruros	mg/L	14,18	14,18	17,02	15,13	250
Dureza	mg/L	280,01	293,12	286,02	286,38	300
Fluoruros	mg/L	0,61	0,49	0,39	0,50	1,5
Alcalinidad	mg/L	280,25	290,15	295,06	288,49	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	2,02	2,20	2,20	2,14	50
Hierro	mg/L	0,49	0,10	0,03	0,21	0,3
Fosfatos	mg/L	1,45	0,80	0,61	0,95	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	230,80	218,15	229,40	226,12	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	3,01	3,23	4,01	3,42	500



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 2: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Bayubug

Parámetro	Unidad	Resultados				Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Fuente	Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,26	0,39	0,28	0,43	0,34	5
pH		7,12	7,26	7,46	7,47	7,33	6,5 - 8,5
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	238,01	240,30	241,40	239,90	239,90	<1250
Cloruros	mg/L	19,85	21,27	21,27	18,43	20,21	250
Dureza	mg/L	192,01	280,03	208,16	216,01	224,05	300
Fluoruros	mg/L	0,61	0,42	0,49	0,39	0,48	1,5
Alcalinidad	mg/L	249,01	252,01	256,04	253,06	252,53	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,004	0,004	0,01	0,004	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	1,50	1,40	0,80	1,01	1,18	50
Hierro	mg/L	0,10	0,52	0,03	0,24	0,22	0,3
Fosfatos	mg/L	2,28	2,45	2,16	2,18	2,27	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	145,30	146,20	145,30	145,20	145,50	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	500

Tabla 3: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Casa Mitad	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,20	0,42	0,31	5
pH		7,70	7,68	7,69	6,5 - 8,5
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	344,70	341,50	343,10	<1250
Cloruros	mg/L	17,02	14,18	15,60	250
Dureza	mg/L	168,04	290,18	229,11	300
Fluoruros	mg/L	0,60	0,58	0,59	1,5
Alcalinidad	mg/L	260,33	299,17	279,75	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	1,60	1,70	1,65	50
Hierro	mg/L	0,03	0,05	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	1,42	0,47	0,95	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	212,80	218,60	215,70	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	2,02	3,01	2,52	500



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 4: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Telemala

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,15	0,42	0,29	5
pH		7,98	8,07	8,03	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	250,8	235,2	243,00	<1250
Cloruros	mg/L	19,85	21,27	20,56	250
Dureza	mg/L	192,12	224,02	208,07	300
Fluoruros	mg/L	0,17	0,20	0,19	1,5
Alcalinidad	mg/L	255,13	250,02	252,58	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,016	0,004	0,01	0,2
Nitratos	mg/L	0,50	0,60	0,55	50
Hierro	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,3
Fosfatos	mg/L	1,25	0,85	1,05	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	153,90	143,01	148,46	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1,02	3,01	2,02	500

Tabla 5: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de La Merced de Gulltus

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Cancha Central	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,253	0,061	0,16	5
pH		7,87	7,86	7,87	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	554,50	562,01	558,26	<1250
Cloruros	mg/L	25,52	31,20	28,36	250
Dureza	mg/L	152,23	160,14	156,19	300
Fluoruros	mg/L	1,01	0,86	0,94	1,5
Alcalinidad	mg/L	298,03	298,37	298,20	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,2
Nitratos	mg/L	3,10	4,04	3,57	50
Hierro	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,3
Fosfatos	mg/L	3,17	3,37	3,27	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	334,30	341,50	337,90	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1,06	1,01	1,04	500

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LABORATORIO DE BACTERIOLOGÍA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha de Análisis: 22/11/2022 y 23/11/2022

Tipo de muestras: Agua de consumo de las comunidades Chamboloma, Chiquicaz, Bayubug, Telepala y La Merced de Gultus

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Tabla 1: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chamboloma

Parámetro	Unidad	Resultados			Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Tanque de Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	43	---	43	43	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia

Tabla 2: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Bayubug

Parámetro	Unidad	Resultados				Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Fuente	Tanque de distribución	Primera Casa	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	93	---	---	240	166,50	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia

Tabla 3: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Casa Mitad	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	43	23	33	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 4: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Telempala

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Limite máximo permisible
		Primera Casa	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	240	23	131,50	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Tabla 5: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de La Merced de Guitus

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Limite máximo permisible
		Cancha Central	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	23	1100	561,5	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Observaciones:

Atentamente,

Q.F. Yolanda Buenaño S.
RESP. LAB. BACTERIOLOGÍA

Liseth Gullica G.
ANALISTA RESPONSABLE



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LABORATORIO DE QUÍMICA INSTRUMENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Glenda Liseth Guillca Guamán

Fecha de Análisis: 20/01/2023

Tipo de muestras: Agua de consumo de las comunidades Bayubug, La Merced de Guitus, Telempala, Chamboloma y Chiquicaz

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Tabla 1: Resultados del muestreo del agua de consumo de Chamboloma

Parámetro	Unidad	Resultados en el tanque de distribución	Límite máximo permisible
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,01	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,02	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	0,01

Tabla 2: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Bayubug

Parámetro	Unidad	Resultados en el tanque de distribución	Límite máximo permisible
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,01	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,02	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	0,01

Tabla 3: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetro	Unidad	Resultados en la casa de la mitad	Límite máximo permisible
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,01	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,02	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	0,01



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 4: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de Telempala

Parámetro	Unidad	Resultados en la primera casa	Limite máximo permisible
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,01	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,02	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	0,01

Tabla 5: Resultados del primer muestreo del agua de consumo de La Merced de Guitus

Parámetro	Unidad	Resultados en la cancha central	Limite máximo permisible
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0,01
Plomo	mg/L	< 0,01	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,02	0,03
Mercurio	mg/L	< 0,0005	0,006
Selenio	mg/L	< 0,0008	0,01

Observaciones:

Atentamente,


Dr. Mauricio Alvarez M.
RESP. LAB. QUÍMICA INSTRUMENTAL



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba- Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Glenda Liseth Guilca Guamán

Fecha de Análisis: 29/01/2023

Tipo de muestras: Agua de consumo de las comunidades Chamboloma, Bayubug, Chiquicaz, Teiempala y La Merced de Guitus

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Tabla 1: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chamboloma

Parámetro	Unidad	Resultados			Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,25	0,22	0,30	0,26	5
pH		7,41	7,57	7,89	7,62	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	350,35	364,296	377,60	364,08	<1250
Cloruros	mg/L	15,60	17,02	17,02	16,55	250
Dureza	mg/L	256,77	280,76	290,50	276,01	300
Fluoruros	mg/L	0,63	0,57	0,57	0,59	1,5
Alcalinidad	mg/l.	285,23	269,18	270,44	274,95	250 - 300
Nitritos	mg/L.	0,003	0,004	0,004	0,004	0,2
Nitratos	mg/L.	2,22	1,64	1,70	1,85	50
Hierro	mg/L.	0,30	0,20	0,01	0,17	0,3
Fosfatos	mg/L.	1,46	0,80	0,54	0,88	<0,30
Sólidos Totales Disueltos	mg/L.	230,25	219,57	220,50	223,44	1 000
Sólidos Suspendedos	mg/L.	4,15	4,01	4,01	4,06	500



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 2: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Bayubug

Parámetro	Unidad	Resultados				Promedio Muestras	Limite máximo permisible
		Fuente	Tanque Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,22	0,27	0,25	0,31	0,26	5
pH		7,52	7,76	7,56	8,03	7,72	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	237,28	239,60	240,10	241,7	239,67	<1250
Cloruros	mg/L	18,43	22,69	19,85	19,85	20,21	250
Dureza	mg/L	184,01	233,60	218,4	221,6	214,40	300
Fluoruros	mg/L	0,39	0,44	0,42	0,37	0,41	1,5
Alcalinidad	mg/L	1,75	1,94	1,93	1,47	1,77	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,2
Nitratos	mg/L	1,50	1,28	1,08	1,35	1,30	50
Hierro	mg/L	0,10	0,30	0,03	0,05	0,12	0,3
Fosfatos	mg/L	2,32	2,32	2,14	2,10	2,22	<0,30
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	143,80	145,07	143,01	143,60	143,87	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	500

Tabla 3: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Limite máximo permisible
		Casa Mitad	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,33	0,41	0,37	5
pH		7,75	7,65	7,7	6,5 - 8,5
Conductividad	µS/cm	344,54	342,12	343,33	<1250
Cloruros	mg/L	18,43	17,02	17,73	250
Dureza	mg/L	256,01	294,10	275,06	300
Fluoruros	mg/L	0,62	0,55	0,59	1,5
Alcalinidad	mg/L	263,20	296,10	279,65	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,005	0,006	0,006	0,2
Nitratos	mg/L	1,60	1,75	1,68	50
Hierro	mg/L	0,04	0,04	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	0,68	0,45	0,57	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	213,20	215,60	214,40	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	2,22	2,01	2,12	500



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 4: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Telempala

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Primera Casa	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,22	0,42	0,32	5
pH		7,57	7,76	7,67	6,5 - 8,5
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	252,90	240,10	246,50	<1250
Cloruros	mg/L	18,43	21,27	19,85	250
Dureza	mg/L	208,02	216,05	212,04	300
Fluoruros	mg/L	0,23	0,34	0,29	1,5
Alcalinidad	mg/L	250,01	251,01	250,51	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,003	0,002	0,003	0,2
Nitratos	mg/L	1,20	1,50	1,35	50
Hierro	mg/L	0,04	0,03	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	0,95	0,57	0,76	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	143,8	140,28	142,04	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	2,25	3,01	2,63	500

Tabla 5: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de La Merced de Guiltus

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Cancha Central	Última Casa		
Color	Unid. Pt/Co	<1	<1	<1	<15
Turbiedad	NTU	0,17	0,25	0,21	5
pH		7,77	7,65	7,71	6,5 - 8,5
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	608,80	592,17	600,49	<1250
Cloruros	mg/L	23,11	24,39	23,75	250
Dureza	mg/L	150,40	157,60	154,00	300
Fluoruros	mg/L	0,85	0,87	0,86	1,5
Alcalinidad	mg/L	299,78	297,24	298,51	250 - 300
Nitritos	mg/L	0,003	0,03	0,017	0,2
Nitratos	mg/L	5,90	5,50	5,70	50
Hierro	mg/L	0,01	0,06	0,04	0,3
Fosfatos	mg/L	3,28	3,01	3,15	<0,3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	364,10	366,16	365,13	1 000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1,01	1,01	1,01	500

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LABORATORIO DE BACTERIOLOGÍA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha de Análisis: 20/12/2022 y 26/01/2023

Tipo de muestras: Agua de consumo de las comunidades Chamboloma, Chiquicaz, Bayubug, Telempala y La Merced de Guitus

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Tabla 1: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chamboloma

Parámetro	Unidad	Resultados			Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Tanque de Distribución	Primera Casa	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	---	3,6	1,80	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	0	Ausencia	Ausencia

Tabla 2: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Bayubug

Parámetro	Unidad	Resultados				Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Fuente	Tanque de distribución	Primera Casa	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	---	---	0	0	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	---	---	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	0	---	---	0	Ausencia	Ausencia

Tabla 3: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Chiquicaz

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Límite máximo permisible
		Casa Mitad	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	9,2	9,2	9,2	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 4: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de Telempala

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Limite máximo permisible
		Primera Casa	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	3	1,50	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Tabla 5: Resultados del segundo muestreo del agua de consumo de La Merced de Gultus

Parámetro	Unidad	Resultados		Promedio Muestras	Limite máximo permisible
		Cancha Central	Última Casa		
Coliformes Totales	NMP/100 mL	9,2	9,2	9,2	<1,1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	0	0	<1,1
Cryptosporidium	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia
Giardia	NMP/100 mL	--	--	Ausencia	Ausencia

Observaciones:

Atentamente,

Q.F. Yolanda Buenaño S.
RESP. LAB. BACTERIOLOGÍA

Liseth Guillca G.
ANALISTA RESPONSABLE



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 05-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba- Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Glenda Liseth Guillca Guamán

Fecha de Análisis: 26/06/2023

Tipo de muestras: Agua de consumo de las comunidades Bayubug, La Merced de Guittus, Telepala, Chamboloma y Chiquicaz

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

Tabla 1: Comparación del agua de consumo de Chamboloma antes y después del tratamiento

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Limite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	1,10	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	0,94	0,1	<0,3
Coliformes Totales	NMP/100 mL	22,4	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Tabla 2: Comparación del agua de la Comunidad Chiquicaz antes y después del tratamiento

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Limite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	1,36	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	0,76	0,06	<0,3
Coliformes Totales	NMP/100 mL	33	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Tabla 3: Comparación del agua de la Comunidad Telepala antes y después del tratamiento

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Limite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	1,15	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	0,87	0,09	<0,3
Coliformes Totales	NMP/100 mL	66,50	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tabla 4: Comparación del agua de la Comunidad Bayubug antes y después del tratamiento

Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	0,81	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	2,15	0,23	<0,3
Coliformes Totales	NMP/100 mL	83,25	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Tabla 5: Comparación del agua de La Merced de Guitus antes y después del tratamiento

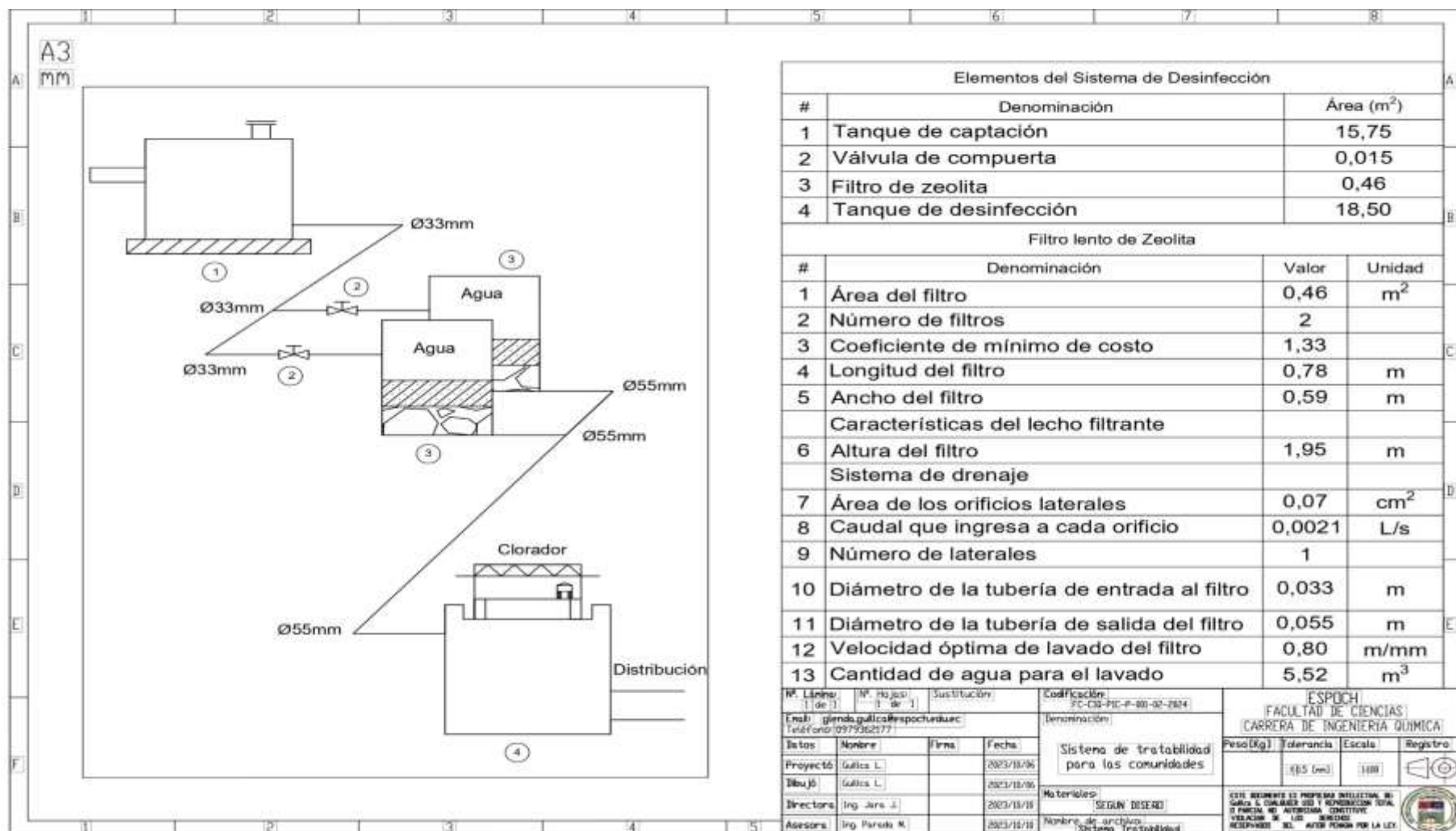
Parámetros	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Norma NTE INEN 1108:2014
Cloro libre residual	mg/L	--	0,82	0,3 – 1,5
Fosfatos	mg/L	3,06	0,32	<0,3
Coliformes Totales	NMP/100 mL	285,35	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Observaciones: Los valores de coliformes totales y coliformes fecales del agua sin tratar se tomaron de los muestreos anteriores por lo que el método de análisis fue por el Método del número más probable (NMP/100 mL); sin embargo, el agua después del tratamiento se analizó por el método de filtración por membrana (UFC/100 mL), en el laboratorio de Calidad del Agua.

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

ANEXOS D: PLANO DE LA PROPUESTA A IMPLEMENTARSE

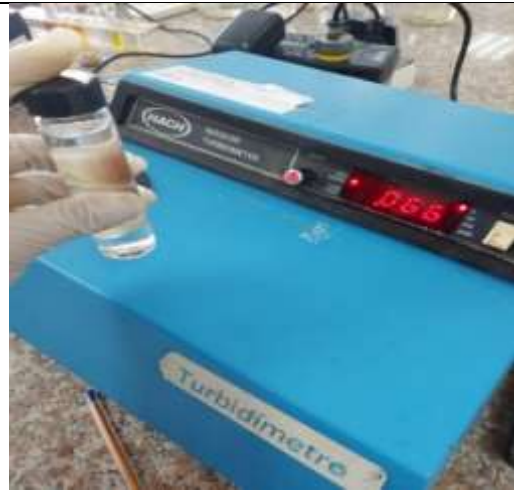


ANEXOS E: ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LABORATORIO

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS



Determinación de Conductividad



Determinación de Turbidez



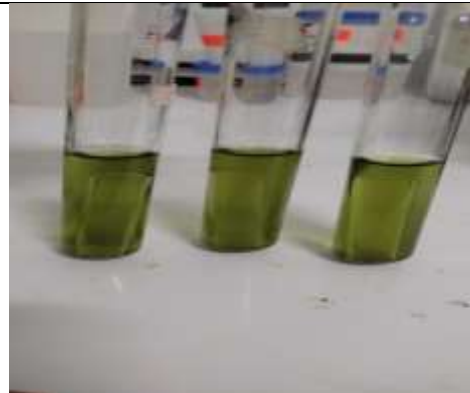
Determinación de dureza



Determinación de cloruros



Determinación de alcalinidad



Pruebas microbiológicas por el Método NMP



Digestión de las muestras



Determinación de metales

RESULTADOS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO



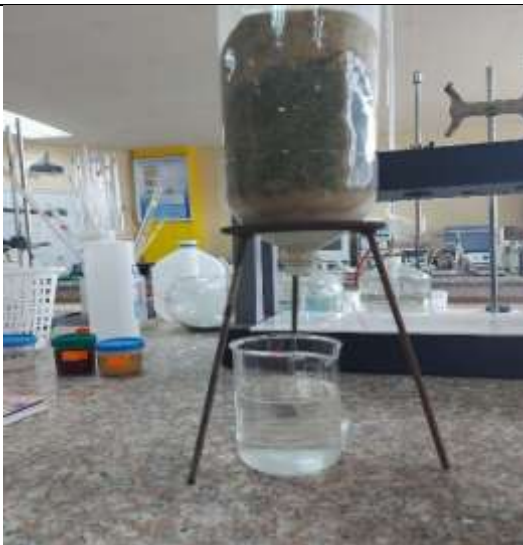
Análisis microbiológico por el Método de filtración por membrana



Resultados de pruebas microbiológicas



Muestras para prueba de fosatos sin aplicar el tratamiento y después del tratamiento



Resultado de fosatos después de pasar por el filtro

ANEXOS F: FOTOGRAFÍAS COMPLEMENTARIAS

Socialización previa al inicio del proyecto



Socialización posterior a la culminación del proyecto





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 02 / 03 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Glenda Liseth Guillca Guamán
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

2153-DBRA-UPT-2023

