

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PROYECTO INTEGRADOR

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA
PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO AGLLA
PARROQUIA CHECA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

DAYANNA NICOLE SANDOVAL GRANDA

dayisnick36@hotmail.com

BRYAN DAVID SISA ANACLETO

bdsisa101@hotmail.com

DIRECTORA: ING. SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA, MSc.

sandra.panchi@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. LUIS ÁNGEL JARAMILLO SÁNCHEZ, MSc.

luis.jaramillo@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2020

AVAL DEL DIRECTOR

Certificamos que el trabajo fue desarrollado por Dayanna Nicole Sandoval Granda y Bryan David Sisa Anacleto, bajo nuestra supervisión.



Ing. Sandra Patricia Panchi MSc.
DIRECTORA DEL PROYECTO

Ing. Luis Ángel Jaramillo Sánchez MSc.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

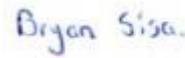
DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Nosotros, Dayanna Nicole Sandoval Granda y Bryan David Sisa Anacleto declaramos bajo juramento que el trabajo que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación-COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaremos toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Dayanna Nicole Sandoval Granda



Bryan David Sisa Anacleto

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios, por regalarme la vida y la oportunidad de crecer en base a la vocación que me inspiró.

A mis padres Elenita y Guillo, por ser mis pilares fundamentales en mi vida, por cada uno de sus consejos, apoyos y el amor que me han brindado siempre.

A mis ñañas Fer y Gaby, por ser mis guías, mi complemento, mi motivación para seguir adelante, por siempre estar pendientes de mí.

A mi novio Arnold, por su apoyo, preocupación, atención, por el cariño que me ha entregado y sobre todo por formar parte de mi diario vivir.

A mis amigos que conocí en la universidad a cada uno, por haberme brindado su amistad, alegrías en la que me impulsaron a ser mejor.

Dayanna Sandoval

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico en primer lugar a Dios, porque a pesar de las adversidades y obstáculos que me ha puesto a lo largo de mi vida, he aprendido a salir siempre vivo de cada batalla superándome y aprendiendo de los errores cometidos, porque Dios me dotó de paciencia, fuerza y sabiduría, sobre todo.

A la Escuela Politécnica Nacional, en especial a la carrera de Tecnología en Agua y Saneamiento Ambiental porque cuando empecé no estaba convencido de culminar todo esto, pero en el transcurso de los años esos pensamientos pesimistas cambiaron, además, es el lugar donde encontré a excelentes personas como son mis amigos, compañeros y a grandes profesores que compartieron todos sus conocimientos para que nosotros podamos desempeñarnos en el ámbito laboral de la mejor manera posible.

A mi madre Blanca Anacleto, ya que con sus consejos, apoyo incondicional y regaños que fueron por mi bien formo en mí una persona de bien con una educación integra.

A mi hermano Ronald, que es una persona que su corta edad ha madurado casi por completo nunca se rinde y siempre es el mejor en lo que hace te digo a ti hermano incluso eres mejor que yo cuando tenía tu edad en todos los aspectos te admiró por eso en el futuro te esperan grandes cosas sigue siempre adelante y nunca mires para atrás.

A mi abuelita materna Rosa, que ya no se encuentra con nosotros desde hace más de 8 años porque desde el cielo ella siempre me está bendiciendo y dándome las fuerzas necesarias para seguir cosechando logros para mi vida.

A mis primos y tíos maternos, porque siempre han estado ahí dándome consejos y apoyo moral, sobre todo.

A las personas que ya no pertenecen a mi vida, porque sé que en cierta parte tienen que ver con este logro, en realidad muchas gracias por todo.

En especial a mi persona porque solo yo sé lo que esto exige por la paciencia y la dedicación que al final todo lo digo valió la pena simplemente por mí.

David Sisa

AGRADECIMIENTO

Quiero manifestar mi gratitud a Dios por brindarme la fuerza, apoyo, sabiduría, y permitirme culminar mi carrera universitaria.

A mis padres, por infundir en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, por llenar mi vida con sus valiosos valores.

Agradezco a la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional, por abrirme las puertas a la enseñanza. De igual manera a cada uno de los docentes por brindarme los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

A la Ing. Patricia Panchi por haber dedicado parte de su tiempo, su conocimiento impartido, paciencia y apoyo al progreso de este proyecto, así mismo agradecerle al Ing. Santiago Guerra por su ayuda, conocimiento que nos brindó.

Agradezco a la Junta de Agua de Aglla y al personal técnico del Centro de Investigación de Control Ambiental, por permitirnos realizar el respectivo trabajo de titulación y por todo el apoyo brindado.

Dayanna Sandoval

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional, por abrirme sus puertas y permitirme aprender junto a excelentes profesionales, que han sido un ejemplo para seguir en el futuro.

A mi madre Blanca Anacleto por sembrar en mí el ejemplo de perseverancia, lucha y de terminar lo que se empieza siendo responsable, respetuoso y dando lo mejor de uno mismo en todo momento, pero sobre todo de nunca creerse más que los demás. En este tiempo sé que estamos atravesando por un pésimo momento en lo que respecta a lo económico y emocional, pero con la ayuda de Dios esto va a pasar y saldremos adelante los tres.

A la Ing. Patricia Panchi, MSc por aceptar la dirección de este proyecto de titulación con sus conocimientos, consejos y sugerencias se culminó satisfactoriamente todo este trabajo.

Al Ing. Santiago Guerra, MSc por su fácil accesibilidad al responder algunas inquietudes que surgieron en el transcurso del proyecto y más que todo el apoyo brindado en el trabajo de campo.

A mis amigos y compañeros que conocí a lo largo de esta etapa universitaria cada convivencia junto a ustedes quedara como un recuerdo indeleble dentro de mí.

A la Directiva de la Junta de Agua del Barrio Aglla de la parroquia de Checa, por permitirnos realizar este proyecto, pero sobre todo por la ayuda y hospedaje brindado en las vistas de campo.

Al personal técnico del CICAM-EPN, por permitirnos visualizar cada uno de los ensayos que realizaron dentro de sus instalaciones y más que todo por sus consejos y sugerencias para el trabajo de campo de este proyecto.

David Sisa

INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Marco Teórico	5
1.5.1 El Agua	5
1.5.1.1 Características físico-químicas	6
1.5.1.2 Fuentes de Agua	6
1.5.1.3 Importancia.....	7
1.5.1.4 Contaminantes del Agua.....	7
1.5.1.5 Purificación del Agua	8
1.5.2 Agua de Consumo Humano	9
1.5.2.1 Agua potable	9
1.5.2.2 Calidad del agua	9
1.5.2.2.1 Caracterización del agua	9
1.5.2.2.2 Parámetros físicos	9
1.5.2.2.3 Parámetros químicos.....	11
1.5.2.2.4 Parámetros microbiológicos	14
1.5.3 Muestreo	15
1.5.3.1 Tipos de muestras.....	15
1.5.3.2 Plan de muestreo	15
1.5.4 Sistema de Abastecimiento de Agua de Consumo	16
1.5.4.1 Captación	16
1.5.4.2 Canal de Aducción	16
1.5.4.3 Presedimentador	16

1.5.4.4	Conducción.....	16
1.5.4.5	Almacenamiento.....	17
1.5.4.6	Distribución.....	17
1.5.4.7	Conexión Domiciliaria	17
1.5.5	Procesos de Potabilización del Agua.....	17
1.5.5.1	Filtración.....	17
1.5.5.2	Desinfección.....	17
1.5.6	Normativa Vigente Legal	18
1.5.6.1	Acuerdo Ministerial 097-A Reforma del TULSMA	18
1.5.6.2	Norma Técnica Ecuatoriana-Agua Potable (INEN 1108:2020).....	18
1.5.7	Cálculo De Caudales.....	19
1.5.7.1	Medida de caudales	19
1.5.7.1.1	Método por fórmula de caudal con Manning.....	19
1.5.7.1.2	Método por vertedero triangular	20
1.5.7.1.3	Medidor de flujo ultrasónico.....	21
1.5.7.2	Estimación de la población	21
1.5.7.2.1	Método Lineal.....	22
1.5.7.2.2	Método Geométrico	22
1.5.7.2.3	Método Logarítmico	23
1.5.7.2.4	Análisis de sensibilidad.....	23
1.5.7.3	Consumo de agua.....	23
1.5.7.3.1	Dotación	24
1.5.7.3.2	Dotación bruta del agua.....	24
1.5.7.3.3	Caudal medio diario	24
1.5.7.3.4	Caudal máximo diario	25
1.5.7.3.5	Caudal máximo horario.....	25
2	METODOLOGÍA.....	26
2.1	Descripción del Área de Estudio	26
2.1.1	Ubicación	26

2.1.2	Clima.....	27
2.1.3	Hidrología	27
2.1.4	Aspecto Socioeconómico	27
2.1.5	Servicios Básicos	29
2.2	Trabajo de Campo	29
2.2.1	Plan de muestreo	29
2.2.2	Establecimiento de los puntos de monitoreo	32
2.2.3	Medición parámetros <i>in situ</i>	33
2.2.4	Recolección, preservación y transporte de muestras.....	36
2.3	Análisis de Parámetros en Laboratorio	40
2.3.1	Parámetros Físicos.....	41
2.3.2	Parámetros Químicos.....	44
2.3.3	Parámetros Microbiológicos	50
2.4	Evaluación de la Infraestructura Existente	52
2.4.1	Levantamiento de la información geo referenciada.....	52
2.4.2	Componentes del sistema.....	55
2.5	Determinación de Caudales	62
2.5.1	Medición por el método de la fórmula de Manning.....	64
2.5.2	Medición por el método del vertedero triangular	65
2.5.3	Medición con el equipo caudalímetro ultrasónico.....	66
2.6	Determinación de la Demanda de Caudales en el Sistema	67
2.6.1	Pérdidas en el sistema de abastecimiento	67
2.6.2	Cálculo de la dotación total de agua	67
2.7	Determinación de la Población Futura	68
2.7.1	Cálculo de la población.....	68
2.8	Determinación de la Demanda de Agua de la Población	73
2.9	Volumen del Tanque de Almacenamiento	74
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
3.1	Evaluación de la Calidad del Agua.....	76

3.2 Análisis de Resultados con las Normativas Vigentes	98
3.2.1 Análisis con el Acuerdo Ministerial 097-A 2015	98
3.2.2 Análisis con la norma INEN 1108:2020	100
3.3 Evaluación de la Infraestructura	101
3.4 Guía de Operación y Mantenimiento	123
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
4.1 Conclusiones	123
4.2 Recomendaciones	126
5. BIBLIOGRAFÍA	128
6. ANEXOS.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la Dureza por CaCO ₃ en el agua, según la OMS.....	13
Tabla 2. Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico.	18
Tabla 3. Tabla de coordenadas en los puntos de muestreo y codificación.....	32
Tabla 4. Tabla de parámetros analizados in situ.....	33
Tabla 5. Resultados de elevaciones de los puntos de muestreo.	35
Tabla 6. Resultados de temperatura y oxígeno disuelto de los puntos de muestreo. .	35
Tabla 7. Resultados del % de Saturación del Oxígeno Disuelto.	36
Tabla 8. Número de muestras recolectadas por punto de monitoreo.....	38
Tabla 9. Tabla de parámetros analizados en laboratorio.....	40
Tabla 10. Tabla de las coordenadas en los puntos de catastro.	53
Tabla 11. Estratificación para un Filtro Grueso Ascendente por Capas (FGAC)	58
Tabla 12. Estratificación de un Filtro Lento de Arena (FLA)	59
Tabla 13. Censo de Población y vivienda correspondiente del 2001 al 2010.	68
Tabla 14. Proyección de la población futura por el método lineal.	70
Tabla 15. Proyección de la población futura por el método geométrico.....	71
Tabla 16. Proyección de la población futura por el método logarítmico.....	73
Tabla 17. Proyección del consumo de agua del barrio Aglla.....	74
Tabla 18. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos muestras de agua cruda.	76
Tabla 19. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos muestras de agua potable. ...	77
Tabla 20. Criterios de calidad del agua para consumo humano.	98
Tabla 21. Resultados comparados con el Acuerdo Ministerial 097-A 2015.....	99
Tabla 22. Resultados comparados con la Norma INEN 1108:2020.....	100
Tabla 23. Resultados entre la población actual y futura de Aglla.....	102
Tabla 24. Eficiencia de remoción filtros FGAC Y FLA.	116
Tabla 25. Resultados del volumen de almacenamiento	120
Tabla 26. Determinación de la eficiencia de filtración de la planta clorificadora.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del Agua.	6
Figura 2. Vertedero triangular.	20
Figura 3. Mapa Base de la Parroquia Checa.....	26
Figura 4. Principales fuentes económicas.	28
Figura 5. Puntos de muestreo en el Sistema de Tratamiento de Agua Potable del Barrio Aglla Parroquia Checa.	30
Figura 6. Ubicación de los Puntos de Muestreo.	31
Figura 7. Equipo Medidor Portátil Multiparámetro.	34
Figura 8. Turbidímetro.	34
Figura 9. Etiqueta de muestras.....	36
Figura 10. Análisis para color aparente y resultado en el espectrofotómetro.	41
Figura 11. Filtración al vacío para la determinación de color real.	42
Figura 12. Llenado del crisol con la muestra filtrada.	43
Figura 13. Filtración al vacío para sólidos suspendidos.	44
Figura 14. Determinación de Cloro libre residual.....	44
Figura 15. Digestión de viales para análisis de DQO.	45
Figura 16. Análisis de dureza cálcica, cambio de color de rosa inicial a púrpura.....	46
Figura 17. Análisis de dureza total, cambio de color de violeta a azul pálido.....	46
Figura 18. Determinación de Fosfatos.	47
Figura 19. Análisis para Hierro.	48
Figura 20. Análisis de Manganeso.	48
Figura 21. Análisis de nitrógeno amoniacal y medición en el espectrofotómetro.....	49
Figura 22. Determinación de la absorbancia de nitratos en el espectrofotómetro.....	50
Figura 23. Cultivo de coliformes totales.	51
Figura 24. Línea de aducción y conducción de la comunidad de Aglla.....	54
Figura 25. Captación.	55
Figura 26. Aducción y Conducción.....	56
Figura 27. Pretratamiento (Presedimentador).	57
Figura 28. Tanque rompe presión.	58
Figura 29. Filtro Grueso Ascendente por Capas.	59
Figura 30. Filtro lento de arena.	60
Figura 31. Equipo ecológico productor de hipoclorito de sodio, modelo L-90.	60
Figura 32. Tanque de almacenamiento.	61
Figura 33. Válvula de aire.....	61
Figura 34. Planta Clorificadora.....	62

Figura 35. Puntos de los caudales obtenidos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Barrio Aglla Parroquia Checa.	63
Figura 36. Medición con el flexómetro.	64
Figura 37. Dimensiones vertedero triangular.	65
Figura 38. Medición con el caudalímetro ultrasónico.	67
Figura 39. Resultados conductividad y temperatura.	78
Figura 40. Relación conductividad y sólidos totales disueltos.....	80
Figura 41. Resultados turbidez.	81
Figura 42. Relación turbidez y sólidos suspendidos.....	82
Figura 43. Resultados color aparente.	83
Figura 44. Resultados color real.	84
Figura 45. Resultados oxígeno disuelto.	85
Figura 46. Relación temperatura y % Oxígeno de SAT.....	86
Figura 47. Resultados Potencial hidrógeno (pH).	87
Figura 48. Relación Potencial hidrógeno (pH) y temperatura.	88
Figura 49. Resultados Dureza Total.	89
Figura 50. Resultados Dureza cálcica.	90
Figura 51. Resultados Cloro libre residual.	91
Figura 52. Resultados hierro total y manganeso.	92
Figura 53. Resultados nitrógeno amoniacal.	93
Figura 54. Resultados nitratos y nitritos.	94
Figura 55. Resultados fosfatos.....	95
Figura 56. Resultados DQO.	97
Figura 57. Resultados Caudal.....	101
Figura 58. Vista en planta y corte captación.....	103
Figura 59. Perfil de aducción y conducción del barrio Aglla.....	105
Figura 60. Vista en planta y corte Presedimentador.....	106
Figura 61. Vista en planta y corte tanques rompe presión.....	109
Figura 62. Vista en planta y corte filtro grueso ascendente por capas (FGAC).....	111
Figura 63. Vista en planta y corte filtro lento de arena (FLA).....	114
Figura 64. Vista en planta y corte tanque de almacenamiento.	118
Figura 65. Hoja de mantenimiento del equipo Sehicoci.	121

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de la velocidad por Manning.	19
Ecuación 2. Cálculo del caudal por sección rectangular.....	19
Ecuación 3. Determinación del caudal por vertederos triangulares.....	20
Ecuación 4. Coeficiente de descarga de Heyndrick.....	20
Ecuación 5. Pendiente de la recta método lineal.	22
Ecuación 6. Determinación de la población futura método lineal.	22
Ecuación 7. Tasa de crecimiento poblacional, método geométrico.....	22
Ecuación 8. Determinación de la población futura, método geométrico.....	22
Ecuación 9. Tasa de crecimiento poblacional, método logarítmico.....	23
Ecuación 10. Determinación de la población futura, método logarítmico.....	23
Ecuación 11. Dotación bruta.....	24
Ecuación 12. Caudal medio diario.....	25
Ecuación 13. Caudal máximo diario	25
Ecuación 14. Caudal máximo horario	25
Ecuación 15. Fórmula de la Presión Atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar.....	34
Ecuación 16. Factor de corrección de presión para el cálculo de %SAT.	35
Ecuación 17. Fórmula para el cálculo de porcentaje de saturación de oxígeno en el agua.....	35
Ecuación 18. Determinación de la Eficiencia de los filtros.....	62
Ecuación 19. Porcentaje de Pérdidas.....	67
Ecuación 20. Volumen de regulación para poblaciones menores a 5000 hab.....	75

RESUMEN

Este proyecto de titulación evaluó el sistema de tratamiento de agua para consumo humano del barrio Aglla parroquia Checa, a través de las siguientes etapas: socialización con la junta de agua del barrio Aglla, reconocimiento del lugar, toma de fotografías, obtención de datos georeferenciales, toma de muestras *in situ*, recolección, preservación y transporte de muestras, aforo de caudales y catastro de las infraestructuras.

En el análisis de la calidad del agua se establecieron ocho puntos de monitoreo, de manera que se utilizó para medición *in situ* los siguientes equipos: medidor portátil multiparámetro, turbidímetro. Los resultados obtenidos *in situ* y laboratorio se evaluaron y compararon con las normas establecidas en base al cumplimiento de los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1 y la norma INEN 1108:2020.

El catastro de la infraestructura existente, se efectuó mediante el sistema de posicionamiento global y el dimensionamiento de cada infraestructura. Para la evaluación de la infraestructura se verificó que el dimensionamiento, los materiales de construcción y el posicionamiento de cada componente cumplan con las normas de diseño de la EPMAPS, SENAGUA y otras fuentes bibliográficas. Para ello se utilizaron los programas de: Civil 3D, ArcGis, AutoCAD, MapSource y Google Earth, donde se realizó el trazado de perfiles y el trazado de las infraestructuras levantadas en la visita de campo.

La determinación del caudal se realizó mediante los métodos de la ecuación de Manning y vertedero triangular, además, se utilizó el equipo caudalímetro ultrasónico. Los caudales obtenidos se compararon con las demandas de agua de la población actual y futura.

En el presente proyecto de investigación se elaboró una guía de operación y mantenimiento, para mejorar los procesos del sistema de tratamiento, y obtener una adecuada calidad y cantidad del servicio de agua potable.

Palabras clave: Calidad del agua, muestreo, límites máximos permisibles, infraestructuras, caudal, guía de operación y mantenimiento.

ABSTRACT

This graduation project aims to evaluate the water treatment system for human consumption in the Aglla district, Checa parish, through the following stages: socialization with the Aglla district water board, recognition of the place, taking pictures, obtaining georeferential data, on-site sampling, collection, preservation and transportation, flow gauging and measurement of infrastructures.

In the analysis of water quality, eight monitoring points were established, so that the following equipment was used for in situ measurement: portable multiparameter meter, turbidimeter. The results obtained in situ and in the laboratory were evaluated and compared with the standards established based on compliance with the maximum permissible limits of Ministerial Agreement 097-A Table 1 and the INEN 1108: 2020 standard.

The cadastre of the existing infrastructure was carried out through the global positioning system and the dimensions of each infrastructure. For the evaluation of the infrastructure, it was verified that the dimensioning, the construction materials and the positioning of each component complied or not with the design recommendations of the EPMAPS, SENAGUA and other bibliographic sources. For this, software such as: Civil 3D, ArcGis, AutoCAD, MapSource and Google Earth, where the profiles were drawn and the infrastructures raised in the field visit were drawn.

The determination of the rate was carried out by use of the Manning equation, and triangular weir, in addition, on ultrasonic flowmeter equipment was used. The rates obtained were compared with the water demands of the current and future population.

In the present research project, an operation and maintenance guide was elaborated to improve the processes of the treatment system, and obtain an adequate quality and quantity of the drinking water service.

Keywords: *Water quality, sampling, maximum permissible limits, infrastructure, rate, operation and maintenance guide.*

1. INTRODUCCIÓN

El agua es importante para el ser humano, así como para la vida animal y vegetal. Este recurso cubre un porcentaje importante del 71% de la superficie del planeta Tierra. La mayor parte de agua se encuentra en los mares y océanos, con un 96.5 % y el resto es agua dulce. No todo está disponible, gran parte se halla en los glaciares y casquetes polares, solamente el 0.04% se reparte en orden decreciente entre lagos, la humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos, obteniendo una pequeña porción de uso directo para el ser humano (CCNN, 2015) (Programa Regional de Seguridad Alimentaria y Nutricional para Centroamérica Fase II, 2012).

En Ecuador el acceso a agua segura a nivel del área urbana es de 79.1%, y para el área rural es el 51.4%. Es decir, la mitad de la población rural no posee agua de buena calidad y son propensos a contraer enfermedades (INEC; UNICEF, 2018).

En las zonas urbanas del país, el abastecimiento de agua se lo maneja a través de empresas municipales, como es la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito. Mientras que en las zonas rurales se realiza en base a juntas administradoras de agua potable y alcantarillado, como ocurre en el barrio Aglla de la parroquia Checa.

Además, el agua y saneamiento en zonas rurales para uso doméstico, como servicio continuo y suficiente, se dificulta debido al lugar, así como a la falta de capacidad técnica y económica para gestionar recursos (OMS; UNICEF, 2007).

La mayoría de las plantas de tratamiento de agua potable a nivel rural del Ecuador, captan fuentes de agua superficial para su abastecimiento. Las cuales presentan problemas, debido a que sus diseños no son proyectados para afrontar variaciones bruscas de la calidad del agua cruda. De tal forma que se presenta interrupciones en el servicio a los usuarios y una inadecuada calidad del recurso hídrico (Aguirre, 2015)

Ante estas circunstancias, el presente proyecto realizó una evaluación del sistema de tratamiento de agua para consumo humano en el barrio Aglla parroquia Checa, con el objetivo de dar una solución tanto en la calidad del agua que es consumida actualmente por la población de Aglla como en la evaluación de la infraestructura que conforma el sistema de tratamiento, para asegurar un agua limpia y saludable, e incluso garantizar el suministro del recurso para la población actual y futura de Aglla.

1.1 Antecedentes

El barrio Aglla de la parroquia de Checa se encuentra localizado en la Latitud: 0°08'03.8"S y Longitud 78°17'53.9"O. Esta localidad cuenta con una junta administradora de agua encargada del abastecimiento y administración de agua potable.

El sistema de tratamiento de agua potable del barrio Aglla está conformado por dos etapas, la primera fue construida en el año 1996 con el financiamiento de la organización "Plan Internacional" en la cual se ejecutaron las obras de captación, conducción, tratamiento y distribución del agua, esta etapa entro en operación en el año de 1998.

Para el año del 2019 comenzó la construcción de la segunda etapa, ubicada en un tramo de la red de distribución del agua, esta etapa entró en operación en junio del mismo año, la cual consta de una planta clorificadora, que fue donado por el Club Rotario Quito-Valle Interoceánico, su instalación fue con el propósito de mejorar la calidad del agua potable.

1.2 Planteamiento del Problema

En la actualidad es imprescindible asegurar la calidad del recurso hídrico destinado para el consumo humano y garantizar las condiciones del agua limpia, cuyo cumplimiento es parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (CEPAL, 2018).

El crecimiento industrial, demográfico, el uso de sustancias químicas no biodegradables, la disposición inadecuada de residuos y el alto consumo de los recursos renovables y no renovables son las causas que promueven el deterioro de la calidad del agua (Torres Marin et al., 2009).

Las características físicas, químicas, biológicas, microbiológicas y radiológicas definen a la calidad del agua. Estas características se evalúan a través del análisis de diversos parámetros, cuyos resultados se comparan con valores de referencia, de los cuales depende el uso y aprovechamiento que se da al recurso hídrico (*World Health Organization, 2006*).

La normativa para medir la calidad del agua en el país es emitida por el Ministerio del Ambiente. Esta determina los parámetros más importantes llamados criterios de calidad del agua, no obstante, cada criterio se define para cada tipo de uso y aprovechamiento del agua (MAE, 2014).

En el Ecuador el abastecimiento del agua proviene de los deshielos de los nevados, de las lagunas y cascadas que existen en la cordillera de los Andes y de los ríos de las

vertientes del Pacífico y de la Amazonía (Izurieta, Campaña, Calles, Estévez, & Ochoa, 2017), siendo el propósito principal del abastecimiento, suministrar agua segura para el consumo humano.

La contaminación de las vertientes naturales a nivel nacional está relacionada con las actividades urbanas y agrícolas. En la región Sierra la contaminación no puntual, que afecta la calidad del agua, tiene origen en los sistemas agrícolas tradicionales, así como en los cultivos de exportación, debido al uso excesivo de productos químicos, fertilizantes y plaguicidas. (Izurieta, Campaña, Calles, Estévez, & Ochoa, 2017). Otro factor contaminante del agua es aquel procedente de las actividades pecuarias como son: los desechos de los animales, antibióticos, hormonas y las sustancias químicas utilizadas en las curtidurías. (FAO, 2013).

En el barrio Aglla de la parroquia de Checa que pertenece a la provincia de Pichincha, el agua para consumo humano tiene su origen en cuatro vertientes naturales ubicadas en el cerro Puntas. Las fuentes de ingreso económico de esta comunidad están ligadas a las actividades agrícolas y pecuarias (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015), lo cual podría ocasionar la contaminación no puntual del agua.

El agua cruda generalmente se localiza en fuentes y reservas de agua subterránea y superficial, que no han recibido ningún tipo de tratamiento para mejorar su calidad, que al consumirla de manera directa supone un riesgo para la salud, ya que puede contener un sin número de bacterias y patógenos que provocan enfermedades e infecciones gastrointestinales (Corada, 2019). Por ello es importante, antes de consumir el agua darle un tratamiento de potabilización, cuyo efluente cumpla con los requerimientos y criterios de calidad de agua para consumo humano.

El barrio Aglla, cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable que consta de: captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución. La conducción del agua hasta las unidades de tratamiento se realiza en su mayoría por tuberías, no obstante, existen tramos donde el agua es transportada por acequias y canales naturales. Esto podría ocasionar problemas de contaminación en el agua a causa de las actividades agrícolas y pecuarias de esta localidad, además de las pérdidas del agua por infiltración y evaporación.

Por otro lado, la división del flujo hacia los sectores de Aglla y San Rafael, se desconoce con certeza el valor del caudal que recibe cada sector.

Además, el sistema de abastecimiento de agua potable del barrio Aglla, no cuenta con el monitoreo de la calidad del agua del afluente y efluente, ni su respectiva evaluación. Tal es así que, para consumir el agua en condiciones adecuadas, la comunidad cuenta con un tratamiento de agua con dos etapas o fases. La primera etapa entró en operación

en el año de 1998, esta obra fue financiada por la organización del “Plan Internacional”, y cuenta con dos procesos: filtración y desinfección del agua. La segunda etapa del tratamiento funciona desde el mes de junio del año 2019, este sistema fue donado por el Club Rotario Quito-Valle Interoceánico, consta de una planta clorificadora ubicada en un tramo de la red de distribución del agua. Esta planta cuenta con procesos de filtración rápida y desinfección automática.

En la primera etapa de tratamiento luego de la desinfección del agua se localiza un tanque de reserva, el cual requiere ser evaluado tanto en sus dimensiones de infraestructura y en su volumen de almacenamiento, con el fin de determinar si el tanque permite regular de manera periódica las demandas y las ofertas de agua potable de la población.

1.3 Justificación

El presente proyecto tiene como finalidad determinar la calidad del agua que es consumida actualmente por la población de Aglla, así como la evaluación de la infraestructura que conforma el sistema de tratamiento. Como se sabe el agua es un líquido elemental básico necesario que se usa para alimentación, higiene y actividades cotidianas del ser humano, en tal sentido que para el consumo humano debe adquirir una calidad adecuada, para suministrar agua limpia y saludable, caso contrario se incrementa el riesgo de adquirir enfermedades ligadas al consumo de agua contaminada (Serrano & Martínez, 2015).

Según las normativas ecuatorianas de calidad de agua potable INEN 1108:2020, el agua debe estar dentro de los límites máximos permisibles de consumo de los distintos parámetros: físicos, químicos y microbiológicos los cuales garantizan la fiabilidad y calidad del agua antes de ser consumida. Por ello es indispensable realizar la caracterización y análisis del agua para de esta manera verificar el estado y calidad actual del agua que está siendo consumida por la comunidad de Aglla (Brousett-Minaya et al., 2018).

Por otro lado, se propusieron mejoras al sistema de tratamiento de agua existente, ya que el sistema de potabilización de Aglla está pronto a cumplir el período de diseño, opera desde hace 21 años y según la normativa vigente, determinada por la SENAGUA, el período de diseño para un sistema de tratamiento de agua potable es de 25 años. Por ello fue necesario verificar la infraestructura física de las obras civiles implementadas en el sistema de tratamiento de agua, con lo cual se contemplaron posibles mejoras o readecuaciones que permitan asegurar el suministro de agua para la población actual y futura de Aglla. Se utilizaron guías, normas y acuerdos ministeriales ecuatorianos que

permitieron un trabajo adecuado y ordenado, con lo cual se lograron resultados confiables (SENAGUA, 2014).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el sistema de tratamiento de agua para consumo humano en el barrio Aglla parroquia Checa.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización del afluente y efluente del sistema de tratamiento.
- Evaluar los procesos de tratamiento implementados en el sistema de abastecimiento de agua.
- Determinar los caudales que circulan por el sistema de abastecimiento y compararlos con la necesidad de agua de la población actual y futura de Aglla.
- Elaborar una guía de operación y mantenimiento para los procesos del sistema de tratamiento.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 El Agua

El agua es un recurso natural renovable y necesario para el crecimiento de la vida en la Tierra. Además, es una sustancia líquida, transparente, inodora, incolora e insípida, cuya composición molecular está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, que se indica en la fórmula química H_2O (Pérez & Gardey, 2013).

La circulación del agua en los ecosistemas se origina mediante la evaporación, precipitación y el retorno hacia el mar. Los océanos, proporcionan la mayor cantidad de agua como producto de la evaporación y de esta agua evaporada, solamente el 91% retorna a las cuencas oceánicas a través de la precipitación, y el 9% restante se dirige a las zonas continentales que, mediante los elementos climáticos, se forma la precipitación (Ordoñez, 2011). Siendo un proceso recirculatorio e indefinido o permanente, este ciclo se debe a dos causas: la primera, el sol que genera la energía para elevar el agua generando la evaporación; la segunda, la gravedad terrestre, que por medio de la condensación, desciende el agua como precipitación y escurrimiento, es decir, aquella que no llega a infiltrarse en el suelo, y fluye hacia un cauce fluvial, trasladándose sobre la superficie del mismo (Ordoñez, 2011).

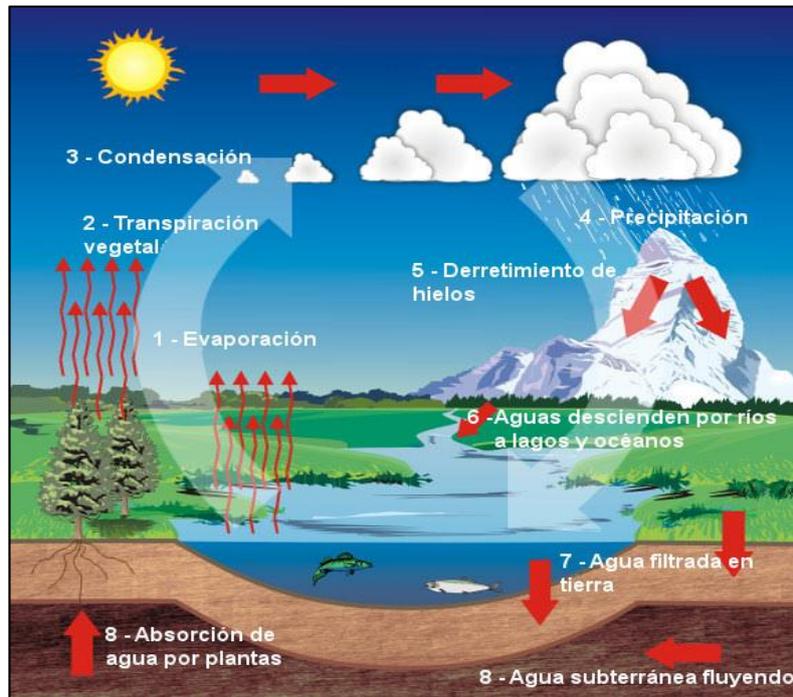


Figura 1. Ciclo del Agua.

Fuente: (Youbioit, 2017)

1.5.1.1 Características físico-químicas

El agua es la única sustancia que se encuentra de forma natural en los tres estados de la materia: líquido, sólido y gaseoso (Iagua, 2018). Su punto de congelación es 0 °C, y el de ebullición es de 100 °C a nivel del mar (Mimenza, 2018).

Es incolora, no tiene sabor ni olor, es un disolvente universal, capaz de transformar la estructura y propiedades de muchas sustancias polares, posee una carga eléctrica neutra, participa en múltiples reacciones químicas y forma parte de diversos procesos o sustancias (Mimenza, 2018) (Iagua, 2017).

1.5.1.2 Fuentes de Agua

Las fuentes de abastecimiento son el elemento principal en un sistema de suministro de agua potable, la cual debe ser adecuada y suficiente para abastecer a la población, en caso de no tener una cantidad proporcionada se busca una combinación de otras fuentes para proveer del líquido vital. (Angarita & Melendez, 2012).

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser:

- Aguas Subterráneas: son aguas que se filtran debajo de la superficie de la tierra y pueden ser recolectadas mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje (Ordoñez, 2011).

- Aguas Superficiales: son las que se localizan en la superficie de la Tierra. Las cuales proceden de las precipitaciones como: lagos, lagunas, pantanos, ríos, arroyos y manantiales (EIMA, 2019).
- Aguas Pluviales: son aquellas provenientes de las lluvias que no son captadas por el suelo sino que fluyen superficialmente por el terreno (EcuRED, 2016).

1.5.1.3 Importancia

El agua es un elemento de la naturaleza, primordial para la reproducción de la vida en la Tierra, puesto que permite el desarrollo de los procesos biológicos, y es de importancia vital para todo ser vivo. También más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos interviene en los procesos metabólicos que desempeñan los seres vivos. Asimismo, influye en el proceso de fotosíntesis de las plantas y es el hábitat de muchos seres vivos (Ecotodo, 2020) (Iagua, 2018).

El agua no es sólo un recurso vital, sino además es un recurso económico e industrial, pues se usa en múltiples actividades industriales, en la cual el consumo es elevado y casi siempre resulta contaminada (Graziani, 2020).

Cabe mencionar, que las primordiales causas de contaminación en el agua son: los vertidos no controlados de las aguas residuales, las prácticas agrícolas deficientes, así como también la deforestación que origina sedimentos y bacterias bajo el suelo y la contaminación del agua subterránea. En vista de los problemas de contaminación, el agua puede ser un medio de transmisión de enfermedades, en razón de que, al estar contaminada sirve como hábitat de muchos microorganismos convirtiéndose en vectores (Sostenibilidad, 2020) (Fernández, 2012).

El bienestar del ser humano no sólo requiere agua potable limpia, sino que también agua limpia para el aseo personal, saneamiento, y actividades recreativas. Por esto es muy importante mantener limpia el agua y evitar la contaminación, con el fin de prevenir enfermedades en los seres humanos, animales o la agricultura en general (Rodriguez C. , 2019).

1.5.1.4 Contaminantes del Agua

Los contaminantes del agua se originan como consecuencia de las actividades de los seres humanos, en las que se implantan sustancias que alteran la calidad y composición del agua, lo que afecta el uso y la función ecológica del recurso hídrico (SMA, 2015).

Entre las principales sustancias que contaminan el agua se encuentran: agentes patógenos, desechos orgánicos, compuestos químicos inorgánicos, nutrientes

vegetales inorgánicos, compuestos químicos orgánicos, sedimentos y materiales suspendidos, sustancias radiactivas y contaminación térmica (SMA, 2015).

1.5.1.5 Purificación del Agua

Por lo anterior indicado y para asegurar el acceso al agua segura, es preciso seguir los respectivos métodos que permitan suministrar agua potable para ser consumida por las poblaciones humanas. Existen diferentes procesos para purificar el agua, la validez de estos depende de la contaminación presente, al igual que la posterior aplicación del agua (Méndez Á. , 2013).

Entre los más frecuentes se encuentran:

Filtración, es un método que excluye los sedimentos sólidos suspendidos en el agua, de modo que los filtros están hechos de diferentes materiales y cada uno de ellos tienen su aplicación, que depende del tamaño de partículas que se busca retener, como arena, grava, antracita, etc. (Tecnotanques, 2016) (Méndez Á. , 2013).

Destilación es una técnica que aparta los distintos componentes de una mezcla, con el fin de obtener sus componentes individuales (Tecnotanques, 2016) (Méndez Á. , 2013).

Absorción a través de carbón activado, para eliminar sustancias solubles del agua, en la que hace un trabajo similar al de un imán, atrayendo a elementos como el cloro y otros compuestos de tipo orgánico (Tecnotanques, 2016) (Méndez Á. , 2013).

Radiación UV es un tipo de desinfección que mediante la luz ultravioleta que es una forma de luz invisible al ojo humano, garantizando la eliminación del 99,9% de agentes patógenos del agua (Ramaucsa, 2010).

La des ionización es un proceso de intercambio de iones que eliminan las sales ionizadas del agua, es decir, la eliminación de sustancias disueltas cargadas eléctricamente mediante una resina, para la producción de agua purificada (Lenntech, 2012).

En base a los procesos mencionados se obtiene la eliminación de los contaminantes del agua como: microorganismos patógenos, residuos sólidos, metales pesados, etc., que pueden causar la reducción de la calidad del agua, que mediante la purificación de agua garantiza el acceso al agua potable, evitando enfermedades y problemas de salud.

1.5.2 Agua de Consumo Humano

1.5.2.1 Agua potable

El agua que satisface los requerimientos físico-químicos, microbiológicos y organolépticos expuestos en normativas de agua para consumo humano, de tal forma que esta pueda ser empleada como bebida directa, en la preparación de alimentos y en la higiene personal sin que presente algún peligro para la salud humana, ni ocasione el rechazo de los consumidores (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015).

De la misma forma, es aquella cuyas propiedades físico-químicas y bacteriológicas han sido modificadas con el único propósito de generar la calidad aceptable del agua destinada para el consumo humano (INEN 1108, 2020).

1.5.2.2 Calidad del agua

La calidad del agua se determina a partir del cumplimiento de varios criterios que se desarrollan de acuerdo al uso que se le vaya a dar, por medio de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua (Pradana Pérez & García, 2019).

1.5.2.2.1 Caracterización del agua

Tiene como propósito definir la calidad del agua para un uso determinado, por medio de las determinaciones en campo y análisis en laboratorio de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, los cuales, permiten visualizar que requerimientos económicos y de tratamiento se necesitan para que exista un mejor aprovechamiento del recurso hídrico.(Cardenas Leon, 2005).

1.5.2.2.2 Parámetros físicos

- **Temperatura**

La temperatura elevada permite el desarrollo de las bacterias, reduce la solubilidad de los gases como el oxígeno y el cloro. Esto provoca que la desinfección del agua se vea afectada de manera negativa, lo cual genera el mal sabor del agua tratada y mayores problemas de corrosión en las tuberías de distribución del agua potable (Cardenas Leon, 2005).

- **Turbidez**

La turbidez se origina por la acumulación de partículas en suspensión como son: arcilla, limo y materia orgánica e inorgánica. La alta cantidad de turbidez ocasiona que la luz se reemita y no se transmita a través del agua, lo que genera la pérdida de la transparencia en el recurso hídrico, también este parámetro resguarda a los microorganismos del

acción del cloro y actúa como la fuente principal de alimento de estos organismos (Romero Rojas, 2009).

- **Color**

El color en el agua se forma en mayor parte por la acumulación de la materia orgánica natural de origen vegetal y microbiano. Esta materia por lo general se produce por medio de las sustancias húmicas las cuales se generan por los ácidos húmicos y fúlvicos que se encuentran de manera disuelta o suspendida en el agua (Hanna Instruments, 2019) (Romero Rojas, 2009). Otra causa que provoca el color del agua es la presencia de los metales como el manganeso, hierro y el cobre, mientras que su remoción es un objetivo esencial del tratamiento de potabilización, ya que, puede ocasionar desconformidad por parte de los usuarios al abastecerse con un agua que no presenta un grado de transparencia apropiado (Cardenas Leon, 2005).

Dos tipos de color se reconocen en el agua como:

Color real

El color real se genera cuando la muestra de agua recibe un proceso de filtración o centrifugación antes de su determinación, es decir, el color real no incluye el color debido a los materiales en suspensión, solo comprende las sustancias disueltas en el agua (Romero Rojas, 2009).

Color aparente

El color aparente incluye las sustancias disueltas y los materiales suspendidos presentes en el agua. La determinación de este parámetro se realiza sin un acondicionamiento previo (Romero Rojas, 2009).

- **Conductividad**

La conductividad depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas (electrolitos) y de la temperatura del agua para transportar una corriente eléctrica. Los electrolitos incrementan cuando existe alta presencia de los compuestos: alcalinos, carbonatos o cloruros y al tener elevada temperatura en el agua. Esto ocasiona a su vez el incremento de la conductividad (Bridgewater et al., 2017). Por otra parte, los valores de conductividad de agua para consumo humano oscilan entre los 50-500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Romero Rojas, 2009). Además, este parámetro es muy utilizado para obtener una aproximación de la cantidad de sólidos disueltos en el agua.

- **Sólidos disueltos**

Los sólidos disueltos dependen de la cantidad de sustancias disueltas en el agua como son: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos, magnesio, sodio y potasio (Romero Rojas, 2009). El valor de sólidos disueltos está asociado generalmente con el sabor, la corrosividad de las tuberías y la dureza del agua, conjuntamente este parámetro tiene relación con la conductividad y el color del agua (Cardenas Leon, 2005).

- **Sólidos suspendidos**

Se forman a partir de las partículas que por su naturaleza coloidal no sedimentan por gravedad en el agua en movimiento o en reposo (Romero Rojas, 2009). Los sólidos suspendidos son los responsables de originar el color y la turbidez en el agua superficial (Cardenas Leon, 2005).

1.5.2.2.3 Parámetros químicos

- **pH**

El pH se utiliza para determinar la acidez o alcalinidad de una muestra de agua, también expresa la cantidad de iones de hidrógeno disueltos en el agua respecto a los iones hidroxilo (Romero Rojas, 2009). Este parámetro es ampliamente utilizado para verificar la calidad del agua luego de los procesos de tratamiento. En aguas de consumo humano debe ser superior a 6.5 e inferior a los 9.0 para prevenir que las tuberías sufran de corrosión o incrustaciones, así como para evitar el sabor amargo del agua; sin embargo, cuando el agua tenga la alcalinidad y concentraciones de calcio altas, se recomienda que el pH en el agua tratada sea de 6.8 a 7.3 (Cardenas Leon, 2005).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es un parámetro que determina el estado del agua, ya que los microorganismos requieren de oxígeno para degradar la materia orgánica presente, dicha actividad es realizada en condiciones aerobias y varía de acuerdo con la temperatura, debido a ello es ejecutada por un periodo de 5 días a 20 °C (Chacón Chaquea & ProQuest, 2016).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica por medio de la acción de algún agente químico oxidante fuerte, de tal modo que, la cantidad de DQO siempre va a ser mayor que la de DBO en el agua (Chacón Chaquea & ProQuest, 2016). Mediante el ensayo de la DQO se determina una aproximación de la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua superficial, de la misma

forma dicho parámetro disminuye el oxígeno disuelto lo que a su vez perjudica la calidad del agua (Cardenas Leon, 2005).

- **Nitratos (NO_3^-)**

Los nitratos componen la mayor parte del nitrógeno presente en los cuerpos de agua superficial y subterránea, las concentraciones altas de este parámetro indican que existe la contaminación del agua (Lozano-Rivas, 2013). Los nitratos se originan en mayor parte en los suelos donde se practican actividades agrícolas, y se transmiten a las fuentes de agua por medio de la escorrentía (Cardenas Leon, 2005).

- **Nitritos (NO_2^-)**

Los nitritos se forman a partir de la oxidación del nitrógeno orgánico en amoniacal y este por la acción bacteriana se oxida hasta llegar a nitritos. Es poco común encontrar nitritos en el agua superficial, debido a la rápida oxidación del nitrógeno orgánico en nitratos (Romero Rojas, 2009). Las concentraciones altas de este parámetro pueden ser perjudiciales para la salud humana en especial en los recién nacidos y niños (Lozano-Rivas, 2013).

- **Nitrógeno amoniacal (N-NH_3)**

El nitrógeno amoniacal se genera por la degradación del nitrógeno orgánico presente en el agua, mientras que el nitrógeno orgánico se origina por la degradación de la materia orgánica que se encuentra en la naturaleza (Martinez-Romero et al., 2015).

La concentración alta de nitrógeno amoniacal en el agua produce un ambiente anóxico en el agua, que da como resultado la contaminación de este recurso, además, provocan problemas en la purificación del agua que generalmente se asocian con altas concentraciones de hierro y de color, así como una mayor demanda de cloro en la desinfección (Romero Rojas, 2009).

- **Dureza**

La dureza es una propiedad que refleja la presencia de alcalinotérreos en el agua. El calcio y el magnesio son los compuestos minerales que constituyen la mayor cantidad de alcalinotérreos disueltos en el agua. La dureza en el agua es el resultado de la disolución y lavado de los minerales que componen el suelo y las rocas (Lozano-Rivas, 2013).

El agua que presenta alta concentración de dureza requiere grandes cantidades de jabón para generar espuma y produce incrustaciones en las tuberías de agua caliente,

calentadores, calderas y otras unidades que incrementa la temperatura del agua (Romero Rojas, 2009).

La clasificación de la Dureza del agua según la OMS se encuentra detallada a continuación, en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la Dureza por CaCO_3 en el agua, según la OMS.

Concentración CaCO_3/mg/l	Tipo	Codificación
0-60	Blanda	Azul
61-120	Moderadamente dura	Verde
121-180	Dura	Amarillo
> 180	Muy Dura	Rojo

Fuente: (*World Health Organization, 2006*)

- **Sulfatos (SO_4^{2-})**

Los sulfatos son sales solubles en el agua que se forman a partir de la disolución de los minerales y de la oxidación bacteriana de los sulfuros, se presentan en el agua natural en un amplio intervalo de concentraciones. El contenido de sulfatos es importante, porque las aguas con alto contenido tienden a formar incrustaciones en las calderas y en los intercambiadores de calor (Chacón Chaquea & ProQuest, 2016).

- **Cloro libre residual**

El cloro es un producto químico, que al ser disuelto en agua destruye los organismos patógenos causantes de enfermedades, una vez realizado el proceso de desinfección, una determinada concentración de cloro permanece en agua, denominándola cloro libre residual, esta cantidad permanece en la red de distribución hasta que neutralice todos los agentes contaminantes del agua o simplemente se pierda en la atmósfera (Chacón Chaquea & ProQuest, 2016). Los sistemas de potabilización del agua que cuente con concentraciones de cloro libre en sus redes de distribución, garantizan la eliminación de organismos patógenos asegurando que el agua para consumo humano tenga una calidad apropiada (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015)

- **Fosfatos (PO_4^{3-})**

El fósforo se localiza en aguas naturales y residuales como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos condensados y fosfatos orgánicos. El consumo excesivo del agua que contiene altas concentraciones de fosfatos puede ser perjudicial para la salud, puesto que ocasionan enfermedades como la osteoporosis (Martínez-Romero et al., 2015).

Las fuentes principales que aportan al incremento de fosfatos en el agua son el uso de fertilizantes en la agricultura, el agua lluvia y las excreciones de animales, los cuales se filtran por el suelo hasta llegar a los cuerpos del agua (Solis-Garza et al., 2011).

- **Oxígeno disuelto**

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, la concentración de este parámetro depende de la cantidad de microorganismos presentes en un cuerpo de agua, así como de la capacidad de absorción del oxígeno procedente de la atmósfera. La temperatura del ambiente y la altura sobre el nivel del mar promueven a que el oxígeno disuelto en el agua varíe (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015). Por medio del análisis del oxígeno disuelto se determina si un cuerpo hídrico sufre de contaminación y si este puede o no mantener con vida a las especies acuáticas y microorganismos presentes (Chacón Chaquea & ProQuest, 2016).

- **Hierro**

El hierro se encuentra de forma disuelta en el agua en la mayor parte de los casos, sin embargo, la presencia de bacterias que se alimenta de hierro y el contacto directo con el oxígeno permiten que este parámetro precipite y forme estructuras gelatinosas de color rojizo en el agua, igualmente los residuos de hierro generados por la oxidación bacteriana se acumulan en las tuberías y calentadores de agua lo que provoca que el flujo del agua se restrinja (McFarland & Dozier, 2004).

- **Manganeso**

La filtración del agua por suelo o la escorrentía del agua lluvia provocan la aparición del manganeso en el agua. Las concentraciones altas de este elemento generan problemas como son las manchas cafés-negras en los materiales de porcelana, accesorios de plomería, en la ropa y el concreto. El manganeso sirve como nutriente de especies de organismos microbiológicos, al igual que el hierro las bacterias de manganeso generan residuos que restringen el flujo del agua en las tuberías y generalmente su concentración en el agua es menor que la del hierro (McFarland & Dozier, 2004).

1.5.2.2.4 Parámetros microbiológicos

- **Coliformes totales**

Grupo de organismos capaces de crecer en presencia de sales biliares, fermentan la lactosa entre los 35 y 37 °C por medio de la producción de ácido y gas. (Martínez-Romero et al., 2015). Dentro de este grupo se encuentran los siguientes microorganismos: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*, además, las

coliformes pueden ser usados como indicadores de la eficiencia de los tratamientos de potabilización del agua (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015).

- **Coliformes fecales**

Los coliformes fecales están constituidos por las bacterias Gram-negativas capaces de fermentar la lactosa en 48 horas de incubación a una temperatura mayor que la de los coliformes totales específicamente a 44.5°C (Chacón Chaquea & ProQuest, 2016). Aproximadamente el 95% de coliformes fecales están conforma por *Echerichia Coli*. Los coliformes fecales son las bacterias más peligrosas procedentes de las excretas de animales y humanos, en sectores rurales las fuentes de agua de consumo pueden verse afectadas por este indicador, debido a un mal manejo de los sistemas sépticos y el estiércol usado como fertilizantes (Martinez-Romero et al., 2015).

1.5.3 Muestreo

Proceso por el cual se toma una cantidad representativa de un volumen de agua para el análisis de varias características que se encuentran definidas (INEN 2176, 2013).

1.5.3.1 Tipos de muestras

Existen diferentes tipos de muestras que dependen de los objetivos del análisis y de las características de la fuente. Las muestras se clasifican en: simple, compuesta e integrada (Lozano-Rivas, 2013).

- **Muestra simple**

Es la muestra individual que se toma aleatoriamente, representa una cantidad de volumen representativo de un momento determinado. Este tipo de muestra se emplea para determinar los parámetros que definen la calidad del agua destinada para el consumo humano (Cardenas Leon, 2005).

1.5.3.2 Plan de muestreo

El diseño del plan de muestreo se desarrolla a partir de los objetivos del muestreo y de toda la información recopilada. Es primordial primero conocer el cuerpo de agua donde se van a desarrollar todas las actividades de muestreo, ya que con esto se definen los aspectos y características necesarias que determinan la calidad del agua en el sitio del análisis, lo que finalmente desencadena en la elaboración apropiada del plan de muestro (Cardenas Leon, 2005).

Dentro del plan de muestreo se debe considerar lo siguiente:

- ✓ Preparación del muestreo
- ✓ Criterios para la selección del punto de muestreo

- ✓ Toma de muestras
- ✓ Análisis de campo
- ✓ Llenado de recipientes, preservación y etiquetado de las muestras.
- ✓ Sellado de recipientes
- ✓ Almacenamiento de muestras
- ✓ Transporte de muestras
- ✓ Entrega de muestras al laboratorio

1.5.4 Sistema de Abastecimiento de Agua de Consumo

El sistema de abastecimiento de agua potable consta de un conjunto de obras como: captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución (Cardenas & Patiño, 2010).

Un sistema de agua potable con un diseño adecuado, implica efectos positivos en la vida de las personas, pues permite un agua salubre y limpia con la calidad suficiente para ser de consumo humano (Cardenas & Patiño, 2010).

1.5.4.1 Captación

Son obras o estructuras indispensables para adquirir agua de una fuente de abastecimiento para luego tratarla y distribuirla a la población. Pueden ser captaciones superficiales o subterráneas (CARE Internacional-Avina, 2012).

En el caso de captaciones superficiales, como ríos, lagos y embalses, son estructuras a nivel del terreno, en la que se obtiene mediante gravedad o por bombeo, para asegurar el suministro del recurso a una localidad (Beat & Dorothee, 2018).

1.5.4.2 Canal de Aducción

Es el componente mediante el cual se conduce agua cruda, a partir del punto de captación hacia el desarenador, ya sea a flujo libre o presión (Mantilla, 2012).

1.5.4.3 Presedimentador

Es una unidad de sedimentación natural en la que no se emplean sustancias químicas, cuya finalidad es remover partículas de tamaño mayor a 1 micrómetro (Vizcarra, 2010).

1.5.4.4 Conducción

Es el tramo de tubería que transporta agua, desde el desarenador hacia las unidades de tratamiento. En los sistemas de agua potable por gravedad, se utiliza la topografía

existente de modo que el transporte de agua tratada se efectuó sin necesidad de bombeo y se logró un nivel permisible de presión (Aguirre, 2015).

1.5.4.5 Almacenamiento

En esta etapa, el agua se acumula en los tanques de almacenamiento, son depósitos cerrados destinados a conservar agua suficiente para resguardar el consumo en las variaciones horarias y remediar las presiones en la red, dando así un servicio eficiente. Además, en pocas ocasiones los tanques de almacenamiento sirven para dar un tratamiento básico al agua mediante su desinfección de modo que asegura el tiempo de contacto necesario con el cloro (Aguirre, 2015) (USAID, 2016).

1.5.4.6 Distribución

La distribución es una red por tubería, que lleva el agua desde el tanque de almacenamiento hasta las conexiones domiciliarias instaladas en cada vivienda, que tiene acceso al sistema de agua potable (USAID, 2016).

1.5.4.7 Conexión Domiciliaria

Las conexiones domiciliarias son el conjunto de tuberías y accesorios que se colocan a partir de la red de distribución hasta cada vivienda, que permiten que la población cuente con el servicio de agua potable (USAID, 2016).

1.5.5 Procesos de Potabilización del Agua

Los procesos requeridos de forma convencional para una potabilización son: desarenación, coagulación, floculación, filtración y desinfección.

1.5.5.1 Filtración

En esta fase el agua atraviesa un medio poroso, que retiene las partículas sólidas en suspensión que le dan turbidez y color al agua, incluso se retienen los microorganismos como: huevos de parásitos o propágulos del mejillón cebra, sin embargo, los contaminantes químicos no se ven afectados por este proceso (Ojeda, 2015).

La filtración depende principalmente del lecho filtrante, la tasa de filtración, número y tamaño de los filtros, dureza del flóculo y la temperatura (Ojeda, 2015).

1.5.5.2 Desinfección

Es el proceso más importante y garantiza que el agua sea de calidad segura, dado que tiene como objetivo la expulsión total de los microorganismos patógenos, así como sólidos minerales y orgánicos no deseados, que inducen olores y sabores insípidos en

el agua, para esto se aumenta un elemento oxidante cloro o compuestos de cloro, que disminuyendo la posibilidad de transmisión de enfermedades, a través del agua (TECPA, 2018) (Ojeda, 2015).

1.5.6 Normativa Vigente Legal

El marco jurídico abarca un conjunto de normas, leyes, reglamentos y acuerdos que decretan y reglamentan los requisitos que debe efectuar el agua potable para consumo humano (Rivera, 2017).

Entre ellos se encuentran:

- Acuerdo Ministerial 097-A reforma del TULSMA
- INEN 1108:2020

1.5.6.1 Acuerdo Ministerial 097-A Reforma del TULSMA

En el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, congrega todas las leyes relacionadas a la protección de los recursos naturales.

A continuación, en la Tabla 2 se indican los parámetros a manejar en el desarrollo del presente proyecto, basado en el Acuerdo Ministerial 097-A que reformo el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 el cual se encuentra vigente desde el año 2015, ver tabla completa Anexo I.

Tabla 2. Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Criterio de Calidad
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	< 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	< 2
Hierro total	Fe	mg/l	1
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6-9
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UTN	100,0

Fuente: (*Ministerio del Ambiente, 2015*)

1.5.6.2 Norma Técnica Ecuatoriana-Agua Potable (INEN 1108:2020)

Esta norma se emplea al agua para consumo humano y utiliza el agua proveniente de sistemas de abastecimiento públicos y privados, suministrada por medio de redes de distribución y tanqueros, con el objetivo de instituir los requerimientos que debe contener

el agua potable para consumo humano como se muestra en el Anexo II (INEN 1108, 2020).

1.5.7 Cálculo De Caudales

1.5.7.1 Medida de caudales

Existen varios métodos y medidores para el aforo de caudales, los cuales son aplicables dependiendo del lugar de muestreo y de las condiciones de flujo (Rocha, 2001).

1.5.7.1.1 Método por fórmula de caudal con Manning

La fórmula de Manning es el principal instrumento para el cálculo práctico de canales abiertos y tuberías, que fue dispuesto por el ingeniero irlandés Robert Manning, en 1889 (Martínez R. , 2009).

$$V = 1/n * Rh^{2/3} * I_e^{1/2}$$

Ecuación 1. Fórmula de la velocidad por Manning.

Donde:

V = Velocidad media del agua (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Rh = Radio hidráulico.

I_e = Pendiente de la línea de energía.

Para calcular el caudal en flujos estacionarios en canales abiertos en secciones rectangulares se aplica la siguiente por fórmula.

$$\frac{Q \cdot n}{I_e} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

Ecuación 2. Cálculo del caudal por sección rectangular.

Donde:

Q = Caudal del agua (m³/s).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

I_e = Pendiente de la línea de energía.

A = Área hidráulica (m²).

P = Perímetro mojado.

1.5.7.1.2 Método por vertedero triangular

El vertedero triangular es utilizado para medir pequeños gastos de agua incluso suele ser más preciso, dado que los valores de la altura del agua sobre la cresta son mayores respecto al de los vertederos rectangulares. La figura 2 indica el flujo del agua a través de un vertedero triangular (Pérez & Vicente, 2019).

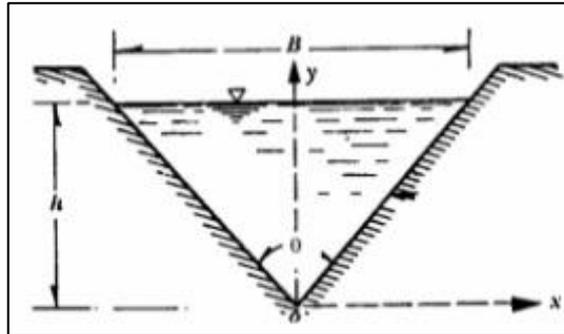


Figura 2. Vertedero triangular.

Fuente: (Pérez & Vicente, 2019)

Para determinar el caudal real a partir de un vertedero triangular se utiliza la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan \theta / 2 h^{5/2}$$

Ecuación 3. Determinación del caudal por vertederos triangulares.

Donde:

C_d = Coeficiente de descarga

h = altura del nivel del agua (m)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

θ = ángulo de abertura

Para mayor exactitud en los coeficientes de descarga C_d , se emplean las ecuaciones de Barr, Hégly y Heyndric en los vertederos triangulares (Pérez & Vicente, 2019).

Para $\theta = 60^\circ$ y cargas normales, se aplica la Ecuación 4:

$$C_d = [0.5775 + 0.214 h^{1.25}] \left[1 + \left(\frac{h^2}{B(h + P)} \right)^2 \right]$$

Ecuación 4. Coeficiente de descarga de Heyndrick

(Pérez & Vicente, 2019)

Donde:

h = altura del nivel de agua (m)

B = ancho del vertedero triangular (m)

P = altura de la cresta del vertedero triangular (m)

1.5.7.1.3 Medidor de flujo ultrasónico

Los medidores de flujo ultrasónico se usan de forma rápida para descubrir el caudal de una tubería, de modo que se manejan sensores que se sitúan al exterior de este, que trabajan por pares, como emisor y receptor, para medir la velocidad de un líquido acústicamente conductor que se traslada, mediante el medidor (Instrumentación Dinámica, 2013).

Hay dos tipos de medidores: efecto Doppler y tiempo de tránsito.

Para la medición del caudal en el sistema de tratamiento del barrio Aglla, se utilizó la última clase de medidor.

Los medidores de tiempo de tránsito envían y reciben ondas ultrasónicas, de manera que la diferencia de tiempo de las dos señales una en contra del fluido y la otra en la misma dirección, se relaciona con la velocidad del líquido. El medidor de flujo ultrasónico utiliza este efecto para establecer la velocidad del flujo y del caudal. Además, son utilizados para tratamiento de aguas (Gutiérrez, 1996).

1.5.7.2 Estimación de la población

La estimación de la población actual y proyecciones futuras son indispensables para el diseño de un sistema de tratamiento, con esta información se determinan los caudales de diseño que son necesarios para prestar un servicio eficaz y de calidad durante los años que se consideran dentro del periodo de diseño que generalmente suelen ser de 25 a 30 años (Aguirre, 2015).

El INEC (Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos) es la entidad encargada de realizar los censos poblacionales en Ecuador en intervalos de tiempo de diez años. El último censo que se realizó fue en el año 2010.

El crecimiento de una población depende de factores como son: la economía, nacimientos, defunciones, incremento de la esperanza de vida y las migraciones (Aguirre, 2015). Para el cálculo de la población futura existen fórmulas matemáticas

sobre los cuales se consideran los censos poblacionales que se realizan a lo largo del tiempo.

Los métodos más empleados para el cálculo de la población futura son los siguientes:

1.5.7.2.1 Método Lineal

La población aumenta de forma constante y es independiente al tamaño de la población actual (López R. , 2004).

$$k = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

Ecuación 5. Pendiente de la recta método lineal.

$$Pf = P_{uc} + k(Tf - T_{uc})$$

Ecuación 6. Determinación de la población futura método lineal.

Donde:

k = Pendiente de la recta

P_{uc} = Población último censo (hab)

T_{uc} = Año último censo (año)

P_{ci} = Población del censo inicial (hab)

T_{ci} = Año del censo inicial (año)

Pf = Población futura proyectada (hab)

Tf = Año de la población futura proyectada (año)

1.5.7.2.2 Método Geométrico

El crecimiento poblacional es proporcional al tamaño de la población actual (López R. , 2004).

$$r = \left[\left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} - 1 \right]$$

Ecuación 7. Tasa de crecimiento poblacional, método geométrico.

$$Pf = P_{uc}(1 + r)^{Tf - T_{uc}}$$

Ecuación 8. Determinación de la población futura, método geométrico.

Donde:

r = Tasa de crecimiento

P_{uc} = Población último censo (hab)

T_{uc} = Año último censo (año)

P_{ci} = Población del censo inicial (hab)

T_{ci} = Año del censo inicial (año)

P_f = Población futura proyectada (hab)

T_f = Año de la población futura proyectada (año)

1.5.7.2.3 Método Logarítmico

La población se proyecta de forma exponencial (López R. , 2004).

$$kg = \frac{\ln(P_{cp}) - \ln(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Ecuación 9. Tasa de crecimiento poblacional, método logarítmico.

$$Pf = P_{ci} * e^{kg(T_f - T_{ci})}$$

Ecuación 10. Determinación de la población futura, método logarítmico.

Donde:

kg = Tasa de crecimiento

P_{cp} = Población censo posterior (hab)

T_{cp} = Año censo posterior (año)

P_{ca} = Población censo anterior (hab)

T_{ca} = Año censo anterior (año)

P_{ci} = Población del censo inicial (hab)

T_{ci} = Año del censo inicial (año)

P_f = Población futura proyectada (hab)

T_f = Año de la población futura proyectada (año)

1.5.7.2.4 Análisis de sensibilidad

Las tasas de crecimiento se calculan a partir de los valores del último censo y de cada uno de los censos posteriores a los datos del censo inicial del lugar de estudio. Este procedimiento se realiza para los métodos lineal y geométrico, donde se proyecta la población de estudio para cada una de las tasas de crecimiento determinadas (López R. , 2004).

1.5.7.3 Consumo de agua

La EPMAPS define los tipos de consumo que se deben analizar dentro del distrito metropolitano de Quito y que corresponden a:

Doméstico: Pertenece a todas las actividades realizadas dentro y fuera de una vivienda que involucren la utilización de agua.

Comercial: Consumo debido a actividades con fines de lucro donde el agua es utilizada como materia prima, tales como: oficinas, locales comerciales, restaurantes, escuelas, hoteles, etc.

Industrial: Consumo debido a la utilización del agua como materia prima en las industrias para la producción de bienes y servicios.

1.5.7.3.1 Dotación

Es la cantidad de agua que se establece a un habitante para cubrir sus necesidades de consumo. Incluye los consumos domésticos, comerciales, industriales y públicos viene expresada en litros/habitante/día (EPMAPS, 2008).

1.5.7.3.2 Dotación bruta del agua

Los estudios de población y demanda que tiene la EPMAPS proporcionan valores de dotaciones netas sugeridas para las grandes zonas de la ciudad y parroquias rurales.

Para el consumo doméstico la dotación bruta es igual a:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P}$$

Ecuación 11. Dotación bruta

(EPMAPS, 2008)

Donde:

d_{bruta} = Dotación bruta (l/hab.d)

d_{neta} = Dotación neta (l/hab.d)

$\%P$ = Porcentaje de pérdidas

1.5.7.3.3 Caudal medio diario

Se expresa como el caudal medio diario (Qmd) en (l/s), es la base para la estimación de los siguientes caudales de diseño. Se adquiere multiplicando la dotación bruta por la población futura a ser atendida en la zona del proyecto (EPMAPS, 2008).

El caudal medio diario se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{d_{bruta} * P}{86400} [l/s]$$

Ecuación 12. Caudal medio diario.
(EPMAPS, 2008).

Donde:

Q_{md} = Caudal medio diario (l/s)

d_{bruta} = Dotación bruta (l/hab.d)

P = Población futura (hab)

1.5.7.3.4 Caudal máximo diario

Es el caudal máximo de agua que se presenta en un periodo de 24 horas en el año. Se obtiene al multiplicar el caudal medio diario Q_{md} por el coeficiente de consumo máximo diario que es k_1 (EPMAPS, 2008).

El caudal máximo diario se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$QMD = k_1 * Q_{md} [l/s]$$

Ecuación 13. Caudal máximo diario
(EPMAPS, 2008).

Donde:

QMD = Caudal máximo diario (l/s)

Q_{md} = Caudal medio diario (l/s)

k_1 = Coeficiente 1.4 en parroquias rurales (EPMAPS, 2008)

1.5.7.3.5 Caudal máximo horario

Es el consumo máximo de agua que se presenta durante una hora en un año completo. Se adquiere multiplicando el coeficiente de consumo máximo horario k_2 por la caudal medio diario (Q_{md}) (EPMAPS, 2008).

El caudal máximo horario se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$QMH = k_2 * Q_{md} [l/s]$$

Ecuación 14. Caudal máximo horario
(EPMAPS, 2008).

Donde:

Q_{MH} = Caudal máximo horario (l/s)

Q_{md} = Caudal medio diario (l/s)

k_2 = Coeficiente 2.0-2.3 (SENAGUA, 2012)

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción del Área de Estudio

2.1.1 Ubicación

La Parroquia de Checa ésta ubicada en la zona nororiental de la ciudad de Quito, aproximadamente a 35 kilómetros, se halla en el área del nuevo aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, situado en la Parroquia de Tababela (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015).

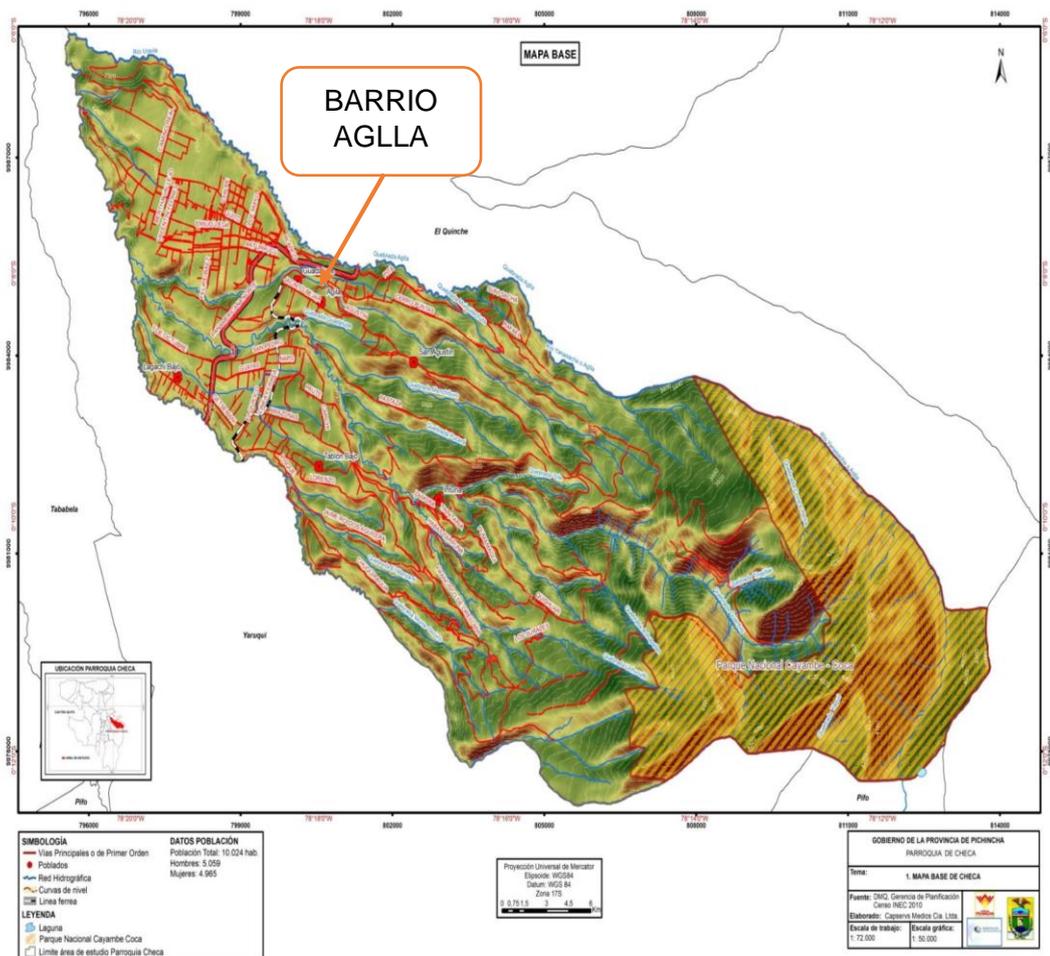


Figura 3. Mapa Base de la Parroquia Checa

Fuente: (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015)

2.1.2 Clima

El clima de la parroquia Checa es variado entre frío y cálido, generado por sus diferentes pisos climáticos que pertenecen a varios microclimas, que permiten una diversa producción agrícola (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015).

La temperatura media anual es de 15.4°C, con una cantidad de precipitaciones que promedian los 802 mm en el lapso del año. En invierno, hay mucha menos lluvia en Checa que en verano, el mes más seco es julio con un promedio de 10 mm de lluvia en el mes, mientras que en abril por ser el mes más cálido del año alcanza los 124 mm de precipitaciones, incluso su temperatura promedia los 15.6°C (Climate-Data, 2020).

2.1.3 Hidrología

La parroquia Checa pertenece a la subcuenca del río Guayllamba, cuenta con dos micro cuencas las cuales cubren los territorios de: El Quinche por el Río Uravía y Yaruquí por la Quebrada Lalagachi, más un pequeño porcentaje de la micro cuenca del Río Guambi en el extremo oriental de Checa (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015).

La parroquia Checa es atravesada por el Río Uravía y la Quebrada Lalagachi. (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015).

2.1.4 Aspecto Socioeconómico

Según el censo elaborado por parte del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) en el año 2010, la parroquia Checa del cantón Quito cuenta con 8 980 habitantes, de los cuales 4 448 son mujeres y 4 532 son hombres. El 33% de la población de la parroquia Checa corresponde a la población económicamente activa (PEA), es decir, 4 224 habitantes (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015).

La primera fuente de ingreso de la parroquia son las actividades agrícolas y pecuarias, en la que se encuentra dos industrias grandes tanto de granos, hortalizas, frutas como tomate de árbol, frutilla y la producción de rosas para la exportación. Tiene una economía en desarrollo, que se orienta al sector productivo, para satisfacer la demanda interna y avalar la soberanía alimentaria de la parroquia (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015). Las actividades desarrolladas por los habitantes de la parroquia se especifican en la Figura 4.

Figura 4. Principales fuentes económicas.

Actividad	Población ocupada	Porcentaje PEA
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	1682	40%
Explotación de minas y canteras	5	0,10%
Industrias manufactureras	409	10%
Construcción	387	9%
Distribución del agua, alcantarillado y gestión de desechos	15	0,40%
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	10	0,20%
Comercio al por mayor y menor	415	10%
Transporte y almacenamiento	130	3%
Actividades de los hogares como empleados	179	4%
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	136	3%
Actividades de alojamiento y servicio de comidas	96	2%
Enseñanza	70	2%
Administración pública y defensa	46	1%
Actividades profesionales, científicas y técnicas	44	1%
Actividades de la atención de la salud humana	41	1%
Otras actividades de servicios	41	1%
Información y comunicación	21	0,50%
Actividades financieras y de seguros	10	0,20%
Artes, entretenimiento y recreación	12	0,30%
Actividades inmobiliarias	7	0,20%
Trabajador nuevo	89	2%
No declarado	379	9%
Total	4224	100%

Fuente: (INEC CPV, 2010)

2.1.5 Servicios Básicos

La parroquia consta con los servicios básicos, esenciales y necesarios como: energía eléctrica, agua, telefonía fija y móvil, internet, servicio de correo y médico (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015).

Además, cuenta con mercado, un Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial para realizar las gestiones públicas de la parroquia de Checa, contiene establecimientos de educación primaria y secundaria, red vial interna asfaltada y adoquinada con transporte interparroquial y de taxis (Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda., 2015).

2.2 Trabajo de Campo

Se realizaron las actividades de: plan de muestreo, establecimiento de los puntos de monitoreo, análisis *in situ*, recolección, preservación y transporte de muestras.

2.2.1 Plan de muestreo

El objetivo fundamental de este proyecto, es caracterizar el agua del sistema de tratamiento de agua potable del barrio Aglla, por medio de la ejecución de un muestreo simple en campo, tomando en cuenta las recomendaciones y sugerencias de las normas INEN 2169, 2176 del 2013, para así obtener resultados confiables.

Se tomaron en total dieciséis muestras repartidas en ocho puntos de muestreo, para determinar la calidad del agua por medio del análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los análisis se realizaron en el mes de febrero tanto *in situ*, como en el laboratorio del Centro de Investigación y Control Ambiental "CICAM" de la Escuela Politécnica Nacional.

Los procesos de tratamiento del agua implementados a largo del sistema de abastecimiento de agua potable del barrio de Aglla, permitieron la elección de los parámetros del agua a ser analizados en cada punto de muestreo. Además, los parámetros seleccionados se rigieron a los criterios de calidad del agua establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A de la Tabla 1 y la norma INEN 1108:2020.

En la Figura 5 se presenta los puntos de la toma de muestras con los respectivos parámetros de análisis de la calidad agua.

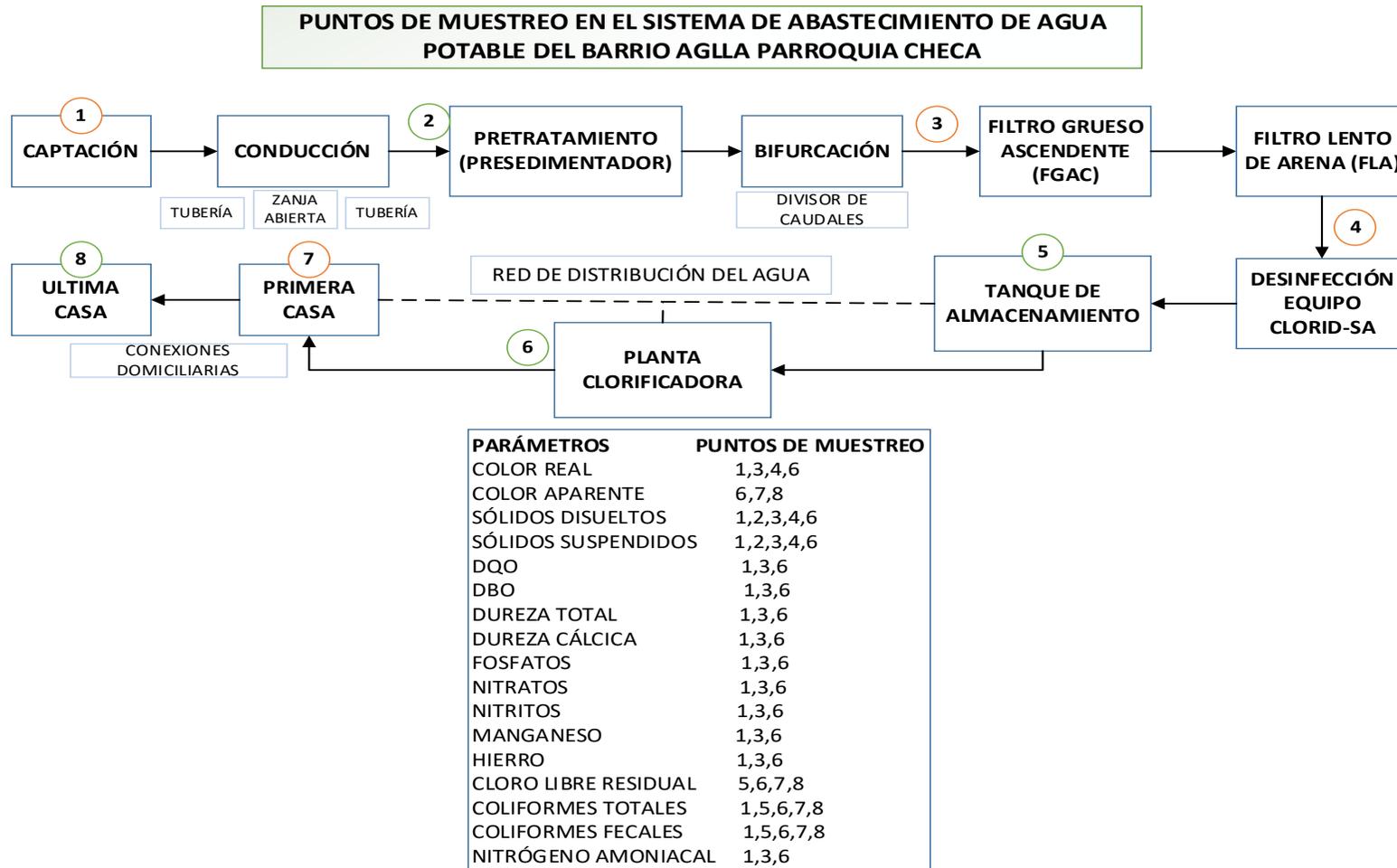


Figura 5. Puntos de muestreo en el Sistema de Tratamiento de Agua Potable del Barrio Aglla Parroquia Checa.

Fuente: (Los autores, 2020)

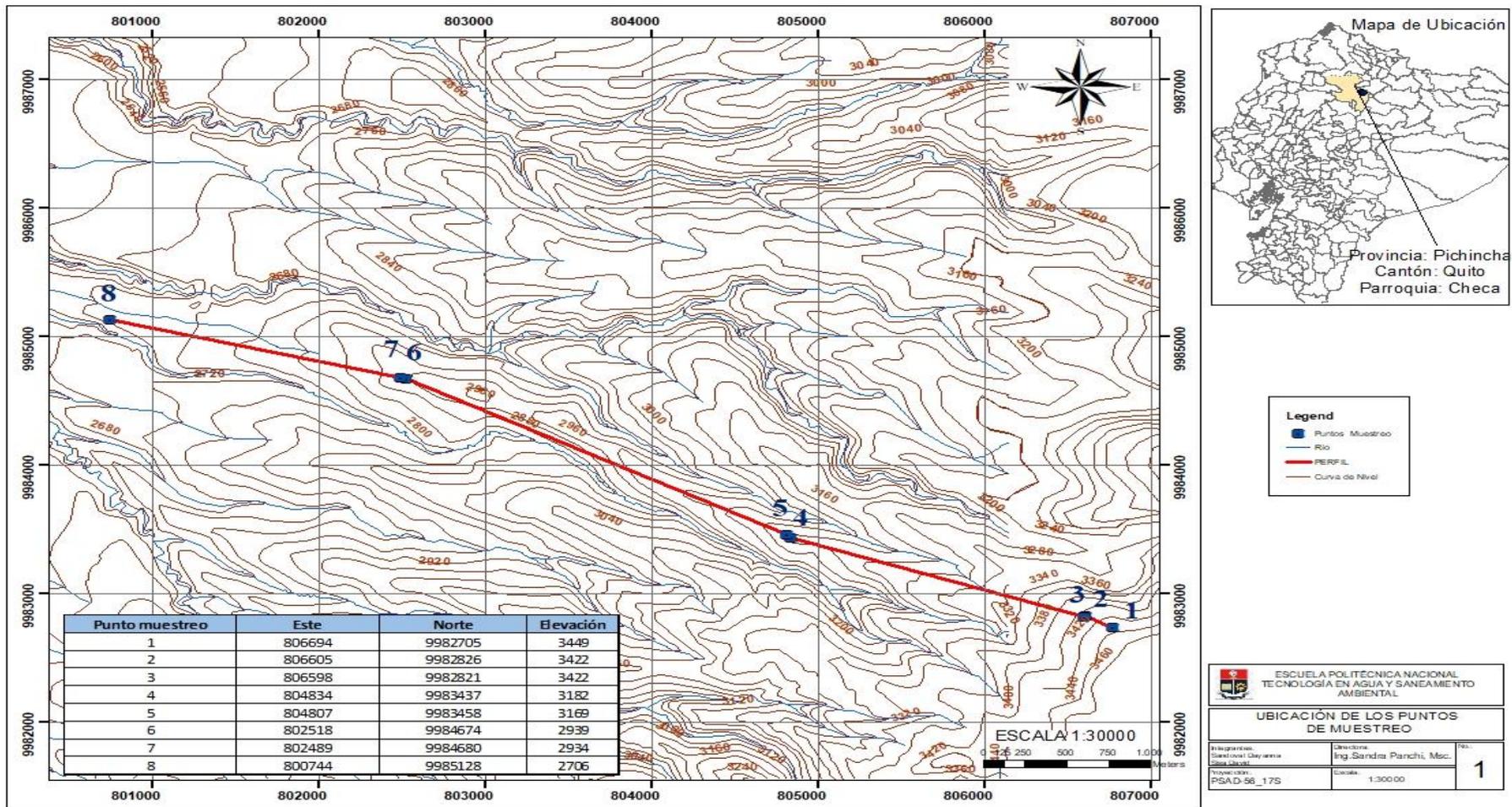


Figura 6. Ubicación de los Puntos de Muestreo.

Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2019)(Sistema de Posicionamiento Global, 2020)

2.2.2 Establecimiento de los puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo del agua se determinaron por medio del análisis del sistema de abastecimiento al verificar qué componentes o infraestructuras podían mejorar las características físicas, químicas o microbiológicas del agua. Tras concluir estas actividades se estableció que el número de puntos de monitoreo debía ser de ocho, puesto que se logró una mejor interpretación en cuanto a los cambios que sufren los distintos parámetros del agua a lo largo sistema de abastecimiento en lo que respecta a: captación, conducción, tratamiento y distribución del agua.

La localización de los puntos se obtuvo por medio del sistema de posicionamiento global (GPS) con un equipo de la marca Garmin, donde cada punto seleccionado se grabó y guardó en la memoria de almacenamiento del mismo. Los datos guardados en el GPS se los extrajo en un archivo en formato gpx. Esto permitió el uso del programa *MapSource* donde se realizó la transformación de las coordenadas UTM generadas por el GPS a coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos.

Cabe indicar que, el registro del punto de la captación no se realizó debido a la emergencia sanitaria que atraviesa aún el país. Sin embargo, por medio de la información proporcionada por la junta de agua de Aglla, expuesta en el Anexo V, se identificó el dato de elevación de la captación del agua de la comunidad. El dato de elevación se utilizó para localizar las coordenadas aproximadas del lugar de la captación del agua por medio del programa *Google Earth*.

En la Tabla 3 y Figura 6 se detallan los puntos de monitoreo del agua establecidos en el sistema de abastecimiento de agua del barrio Aglla.

Tabla 3. Tabla de coordenadas en los puntos de muestreo y codificación.

Puntos GPS	Puntos	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Elevación
1	Captación	0°09'22,6"S	78°14'41,6"O	3449
2	Entrada al presedimentador	0°09'18.7"S	78°14'44,5"O	3422
3	Salida de la bifurcación	0°09'18.9"S	78°14'44.6"O	3422
4	Salida filtro lento de arena (FLA)	0°08'58.8"S	78°15'41.7"O	3182
5	Tanque de almacenamiento	0°08'58.2"S	78°15'42.5"O	3169
6	Salida Planta Clorificadora	0°08'18.6"S	78°16'56.5"O	2939

Continúa en la siguiente página

7	Primera conexión domiciliaria	0°08'18.4"S	78°16'57.4"O	2934
8	Última conexión domiciliaria	0°08'03.8"S	78°17'53.9"O	2706

Fuente: (Sistema de Posicionamiento Global)

2.2.3 Medición parámetros *in situ*

En la Tabla 4 se indican los parámetros medidos *in situ*.

Tabla 4. Tabla de parámetros analizados *in situ*.

Parámetro	Equipo	Método
Temperatura	Medidor	Potenciométrico
Conductividad	Portátil	
pH		
Oxígeno Disuelto	Multiparámetro	
Turbiedad	Turbidímetro	Nefelométrico

Fuente: (Escuela de Formación de Tecnólogos, 2020)

Para la medición de los parámetros *in situ*, se verificó que el medidor portátil multiparámetro y el turbidímetro estén calibrados para las mediciones en los siguientes componentes: presedimentador, a la salida de la bifurcación, desinfección, planta clorificadora, primera y última conexión domiciliaria. En el caso de la captación, no se realizó la medición *in situ* por falta de movilización, salvaguardando la integridad de los implicados, debido a la emergencia sanitaria.

Para iniciar la medición con el equipo multiparámetro se enjuagó el sensor con agua destilada tres veces, también se homogenizó el recipiente con la muestra de agua tres veces. Una vez llenado el recipiente para toma de muestra se introdujo el equipo y se midieron los parámetros de: temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto. De la misma manera se homogenizó tres veces el recipiente de vidrio para medir la turbidez con el turbidímetro. Se introdujo el recipiente con la muestra de agua en el equipo y se realizó la respectiva lectura. Para la manipulación de los equipos se utilizaron guantes de nitrilo.



Figura 7. Equipo Medidor Portátil Multiparámetro.

Fuente: (Los autores, 2020)



Figura 8. Turbidímetro.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto**

El porcentaje de saturación se determinó para comprobar si el medidor portátil multiparamétrico realizó la corrección por la presión atmosférica debido a que la mayoría de las determinaciones se realizaron en sitios de gran altitud. Para lo cual se utilizó la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto y la presión atmosférica relacionada con la altura de cada punto de monitoreo del agua, de tal forma que se realizó lo siguiente:

Se aplicó la Ecuación 15, así como también se consideraron las elevaciones tomadas en campo como se observa en la Tabla 5 para ser reemplazados en dicha ecuación y obtener los resultados de la presión atmosférica, ver Anexo IV.

$$\frac{P_{atm}}{\rho g} = 10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times H) + (5.46 \times 10^{-8} \times H^2)$$

Ecuación 15. Fórmula de la Presión Atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar.

Donde:

Patm = Presión atmosférica (Pascales)

ρ = Densidad del agua (1000 kg/m³)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m²/s)

H = Altura sobre el nivel del mar (m)

Tabla 5. Resultados de elevaciones de los puntos de muestreo.

Muestras Elevación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Elevación GPS (m)	3449	3422	3422	3182	3169	2939	2934	2706

Fuente: (Sistema de Posicionamiento Global, 2020)

Después, se desarrolló la Ecuación 16 del factor de corrección de presión para el cálculo del porcentaje de saturación, en la que se tomó en cuenta la conversión de Patm a mmHg y se obtuvieron los valores de corrección, ver Anexo IV.

Si la presión atmosférica se encuentra en mm Hg la siguiente expresión es válida.

$$\text{Factor} = 1/((0.001316 \times \text{Patm}) - 0.000036)$$

Ecuación 16. Factor de corrección de presión para el cálculo de %SAT.

(López S. , 2012).

Posteriormente, se consideraron los valores de temperatura y oxígeno disuelto obtenidos en campo, como se observa en la Tabla 6, que fueron reemplazados en la Ecuación 17, para establecer el porcentaje de saturación de oxígeno en el agua, ver Tabla 7.

Tabla 6. Resultados de temperatura y oxígeno disuelto de los puntos de muestreo.

Parámetros Muestras	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Temperatura °C		10,17	9,82	12,25	12,03	12,98	13,96	19,67
Oxígeno disuelto mg/l		5,6	5,72	5,19	5,17	4,95	5,12	5,51

Fuente: (Medidor Portátil Multiparámetro, 2020).

$$\% \text{ SAT} = (-0.6537153 - (0.0104799 \times T) + (6.918079 \times OD) + (0.2075711 \times T \times OD) - (0.0129793 \times OD^2)) \times \text{Factor}$$

Ecuación 17. Fórmula para el cálculo de porcentaje de saturación de oxígeno en el agua.

(López, 2018).

Tabla 7. Resultados del % de Saturación del Oxígeno Disuelto.

Parámetro	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Muestras								
%OD SAT equipo		49,9	50,5	48,4	48	47	49,2	60,2
%OD SAT corregido		75,11	76,11	70,79	70,06	66,53	70,27	88,55

Fuente: (Medidor Portátil Multiparámetro, 2020)

2.2.4 Recolección, preservación y transporte de muestras

Previo a la recolección de las muestras en campo, se coordinó con el representante de la junta de Agua, así mismo se prepararon los recipientes para la toma de muestras como: galones, envases microbiológicos, botellas ambar y frascos winkler, también se desarrollaron las etiquetas para los puntos de muestreo, como se muestra en la Figura 9.

Fecha :		Hora:	
Número de muestra:		Tipo de muestra:	
Muestreado por:		Muestra para:	

Figura 9. Etiqueta de muestras.

Fuente: (Los autores, 2020)

Se prepararon los materiales e implementos de muestreo como: nevera portátil, hielo, preservantes, pissetas con agua destilada, guantes de nitrilo, papel toalla, jarras, libreta de anotaciones, cámara celular y GPS.

Para la recolección de las muestras, se utilizaron recipientes como: galones, envases microbiológicos, frascos de vidrio ámbar y frascos Winkler. El uso de los recipientes dependió del punto de muestreo.

Se colocaron los implementos de seguridad como guantes, de igual manera se enjuagaron los recipientes para toma de muestra para los análisis de parámetros físicos químicos, de dos a tres veces, precisando la homogenización de estos, excepto para los envases microbiológicos, que se tomaron las muestras directamente. También se procedió a llenar los frascos teniendo en cuenta la cantidad implementada en cada parámetro a analizar, de manera que, se sellaron, rotularon los recipientes y se tomaron las coordenadas en el GPS.

Además, para el llenado de los recipientes en los análisis microbiológicos se llenó las $\frac{3}{4}$ del recipiente de muestra, para permitir la subsistencia de los microorganismos, así mismo se adicionó preservantes de acuerdo con los parámetros de estudio.

- **Recolección de muestras para análisis físico-químico y microbiológico**

La recolección de muestras se realizó en determinados puntos del sistema de tratamiento de agua potable del barrio de Aglla.

Todas las muestras que se tomaron fueron simples, dado que este tipo de muestra se recomienda implementarla para determinar los parámetros de calidad del agua de un sistema de abastecimiento de agua potable de una comunidad.

Para la determinación del cloro libre residual se tomaron las muestras en el tanque de almacenamiento, salida de la planta clarificadora y en dos conexiones domiciliarias. Para la recolección de las muestras en las conexiones domiciliarias se abrieron las tomas de agua, se dejó correr el agua por el lapso de 1 minuto para tomar una muestra representativa, trascurrido este tiempo se procedió con la toma de las muestras.

- **Preservación de las muestras**

El objetivo de adicionar preservantes es retardar los cambios químicos y biológicos que sufren las muestras tras ser retiradas de su fuente de origen.

Las muestras recolectadas para análisis microbiológico se depositaron inmediatamente en un cooler preservándolas con sustitutos de hielo hasta llegar al laboratorio.

Las muestras que se utilizaron para la determinación de DQO y fosfatos se preservaron con dos gotas de ácido sulfúrico hasta alcanzar un pH menor a 2, mientras que las empleadas para la medición de cloro libre residual se fijaron con 1 ml de tiosulfato de sodio.

Todas las muestras se colocaron en la nevera portátil con sus respectivas etiquetas selladas y preservadas con hielo para su transporte hasta llegar al laboratorio.

El número de muestras recolectadas por punto de monitoreo, el tipo de muestra, los tipos de envases utilizados, los parámetros de análisis y preservantes añadidos de acuerdo con la norma INEN 2169 del 2013 se especifican en la Tabla 8.

Tabla 8. Número de muestras recolectadas por punto de monitoreo.

Punto	Tipo de muestra	Muestras por punto	Tipo de parámetros a analizar	Parámetros	Preservante
1	Simple	1 galón 4 L	Físico - químicos	Color real	Ácido sulfúrico Refrigeración
				Dureza Cálcica	
				Dureza Total	
				DBO ₅	
				DQO	
				Fosfatos	
				Hierro	
				Nitratos	
				Nitritos	
				Nitrógeno Amoniacal	
				Manganeso	
				STS	
	STD				
Simple	1 envase de microbiología 100 ml	Microbiológicos	Coliformes	Refrigeración	
2	Simple	1 frasco ámbar 1 L	Físicos	STS, STD	Refrigeración
3	Simple	1 galón 4 L	Físico - químicos	Color real	Ácido sulfúrico Refrigeración
				Dureza Cálcica	
				Dureza Total	
				DBO ₅	
				DQO	
				Fosfatos	
				Hierro	
				Nitratos	
				Nitritos	
				Nitrógeno Amoniacal	
				Manganeso	
				STS	
	STD				
4	Simple	1 frasco ámbar 1 L	Físicos	STS, STD	Refrigeración

Continúa en la siguiente página

Continuación Tabla 8

5	Simple	1 envase de microbiología 100 ml	Microbiológicos	Coliformes	Refrigeración
	Simple	1 frasco Winkler 300 ml	Químicos	Cloro libre residual	Tiosulfato de sodio
6	Simple	1 galón 4 L	Físico – químicos	Color real	Ácido sulfúrico Refrigeración
				Color aparente	
				Dureza Cálctica	
				Dureza Total	
				DBO ₅	
				DQO	
				Fosfatos	
				Hierro	
				Nitratos	
				Nitritos	
				Nitrógeno Amoniacal	
				Manganeso	
				SST	
	SDT				
Simple	1 envase de microbiología 100 ml	Microbiológicos	Coliformes	Refrigeración	
Simple	1 frasco Winkler 300 ml	Químicos	Cloro libre residual	Tiosulfato de sodio	
7	Simple	1 envase de microbiología 100 ml	Microbiológicos	Coliformes	Refrigeración
	Simple	1 envase de microbiología 100 ml	Físicos	Color aparente	Refrigeración
	Simple	1 frasco Winkler 300 ml	Químicos	Cloro libre residual	Tiosulfato de sodio
8	Simple	1 envase de microbiología 100 ml	Microbiológicos	Coliformes	Refrigeración
	Simple	1 envase de microbiología 100 ml	Físicos	Color aparente	Refrigeración
	Simple	1 frasco Winkler 300 ml	Químicos	Cloro libre residual	Tiosulfato de sodio

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Transporte y entrega de muestras al laboratorio**

Las muestras fueron entregadas al laboratorio del Centro de Investigación de Control Ambiental “CICAM” antes de cumplir las 24 horas de su toma.

2.3 Análisis de Parámetros en Laboratorio

Los análisis se realizaron en el “CICAM” en la semana del 10 al 14 de febrero del 2020. Cada ensayo se realizó mediante los procedimientos del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* edición 23 del 2017, y del *Water Analysis Handbook De Hach*.

Los analistas del laboratorio previo a la realización de los ensayos prepararon las muestras de la siguiente forma:

- Dejaron las muestras que reposen a temperatura ambiente por varios minutos, pues estas se encontraban en refrigeración.
- Agitaron las muestras antes de tomar el volumen necesario para su posterior análisis, con el fin de garantizar su uniformidad.

En la Tabla 9 se detalla los parámetros analizados en el laboratorio.

Tabla 9. Tabla de parámetros analizados en laboratorio.

Parámetro	Procedimiento	Rango de Medición
Cloro libre residual	Espectrofotometría VIS SM ED. 23, 2017 4500 – CI G	(0,02 – 2,00) mg/l
Coliformes totales	Fermentación en tubos múltiples SM ED. 23, 2017 9221 B	>1,1 NMP/100 ml
Coliformes fecales	Fermentación en tubos múltiples SM ED. 23, 2017 9221 B	>1,1 NMP/100 ml
Color aparente	Espectrofotometría VIS SM ED. 23, 2017 2120 C	(5-500) UPtCo
Color real	Espectrofotometría VIS SM ED. 23, 2017 2120 C	(5-500) UPtCo
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Volumetría SM ED. 23, 2017 5210 B	(2-500) mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Espectrofotometría VIS SM ED. 23, 2017 5220 D	(3-150) mg/l
Dureza cálcica	Volumetría SM ED. 23, 2017 3500-Ca B	(2,5-3000) mg/l
Dureza total	Volumetría SM ED. 23, 2017 2340 C	(2,5-4000) mg/l

Continúa en la siguiente página

Fosfatos (PO_4^{3-})	Espectrofotometría VIS SM ED. 23, 2017 4500-P C	(0,04-5,00) mg/l
Hierro Total	Espectrofotometría VIS SM ED. 23, 2017 3500-Fe B	(0,02-3,00) mg/l
Manganeso	Espectrofotometría VIS HH ED. 7, 2012 8029	(0,006-0,700) mg/l
Nitratos (NO_3^-)	Espectrofotometría UV SM ED. 23, 2017 4500- NO_3^- B	(0,75-50) mg/l
Nitritos (NO_2^-)	Espectrofotometría UV SM ED. 23, 2017 4500- NO_2^- B	(0,02-45,7) mg/l
Nitrógeno amoniacal (N-NH_3)	Espectrofotometría VIS HH ED. 7, 2012 8038	(0,02-2,50) mg/l
Sólidos suspendidos	Gravimetría SM Ed. 23, 2017 2540 D	(20-1000) mg/l
Sólidos totales disueltos	Gravimetría SM Ed. 23, 2017 2540 D	(10-1000) mg/l

Fuente: (Centro de Investigación y Control Ambiental)

2.3.1 Parámetros Físicos

- **Color Aparente**

Se utilizaron 10 ml de la muestra y 10 ml de agua destilada como blanco. Se depositó todo el contenido en celdas de vidrio de 10 ml. El procedimiento se realizó por el método de espectrofotometría a una longitud de onda de 455 nm, los resultados se obtuvieron en unidades de Pt-Co (Platino Cobalto).

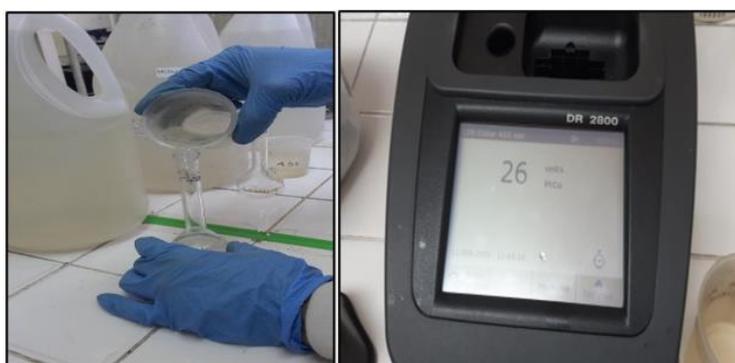


Figura 10. Análisis para color aparente y resultado en el espectrofotómetro.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Color real**

Se tomaron 50 ml de la muestra en un vaso de precipitación, se comprobó que el pH se encuentre en el rango de 4 a 10, a continuación, se preparó el equipo de filtración al vacío y el matraz Kitasato, se filtró la muestra sobre un papel filtro con porosidad de 0.45 micras de 50 mm de diámetro, la muestra filtrada fue depositada en un vaso de precipitación para su posterior análisis por espectrofotometría. Para la elaboración del blanco se filtró 50 ml de agua destilada sobre el papel filtro con porosidad de 0.45 micras, el filtrado se ubicó en un vaso de precipitación.

Para el análisis por espectrofotometría, se tomaron tanto 10 ml de la muestra como de agua de destilada filtrada, se depositó todo el contenido en dos celdas diferentes una para la muestra y otra para el blanco. A continuación, se seleccionó el programa de color en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 455 nm, se enceró con el agua destilada y se midió la muestra. Los resultados se obtuvieron en Unidades Pt-Co (Platino Cobalto).



Figura 11. Filtración al vacío para la determinación de color real.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Sólidos Disueltos**

Para este ensayo primero se taró el crisol de porcelana colocándolo en una estufa a 180°C por un periodo de 12 horas, tras este lapso de tiempo se retiró el crisol y se lo introdujo en un desecador para su posterior enfriamiento. A continuación, se procedió con el pesaje del crisol en la balanza analítica, donde se registró el valor obtenido como peso inicial.

Para este ensayo se tomaron 100 ml de la muestra. Se preparó el equipo de filtración al vacío y matraz Kitasato donde se introdujo un papel filtro con porosidad de 0.7 micras de 47 mm de diámetro tarado con la ayuda de una pinza, enseguida comenzó el filtrado de la muestra. Al finalizar este proceso se tomaron 25 ml de muestra filtrada, se depositó

todo el contenido en el crisol tarado y se introdujo en la estufa a 180°C por un periodo de 2 a 4 horas. Se sacó el crisol de la estufa y se dejó en el desecador. Se procedió a realizar su respectivo pesaje en la balanza analítica registrándolo como peso final.



Figura 12. Llenado del crisol con la muestra filtrada.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Sólidos Suspendidos**

Se preparó el filtro de microfibra de vidrio colocándolo en un porta-filtros, con la ayuda de una pinza metálica se ingresó el filtro a la estufa a 103°C, por un periodo de 12 horas tras este lapso de tiempo, se retiró el filtro y se lo introdujo en un desecador para su enfriamiento, luego se pesó el filtro en la balanza analítica, donde se registró el valor obtenido como peso inicial, adicionalmente se preparó la muestra se colocaron 100 ml en un balón aforado del mismo volumen, posteriormente se preparó el equipo de filtración al vacío y matraz Kitasato, se introdujo el filtro tarado con la ayuda de una pinza, a continuación se empezó el filtrado de la muestra, al finalizar se tomó cuidadosamente el filtro y se lo volvió a colocar en el porta-filtros, con la ayuda de la pinza metálica, después se introdujo el filtro con la muestra en la estufa a 103°C por un periodo de 4 a 6 horas. Se dejó el filtro en el desecador y se procedió a realizar su respectivo pesaje registrándolo como peso final.



Figura 13. Filtración al vacío para sólidos suspendidos.

Fuente: (Los autores, 2020)

2.3.2 Parámetros Químicos

- **Cloro libre residual**

Se tomaron 10 ml de la muestra en una celda de análisis de espectrofotometría, luego de esto se insertó la celda en el espectrofotómetro y se procedió a encerrar la muestra, a continuación, se añadió el reactivo de cloro libre DPD (N, N-dietil-p-fenilenediamina) a la celda se tapó y agitó hasta su completa disolución, posteriormente se dejó reaccionar la muestra por un lapso de 20 segundos. Se limpió la celda y se colocó en el espectrofotómetro, para su posterior medición. Se realizó la respectiva lectura de los resultados del cloro libre en mg/l CL_2 .

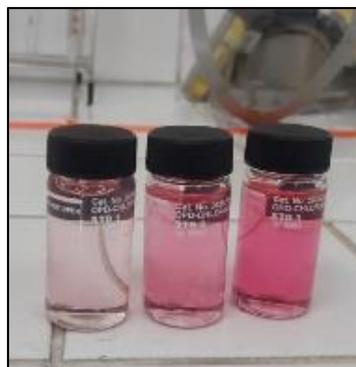


Figura 14. Determinación de Cloro libre residual

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Demanda Química de Oxígeno**

Para el desarrollo de este parámetro se tomaron dos viales para el blanco y la muestra, la elección de los viales se lo realizó por el tipo de concentración de la muestra, adquiriendo el vial de rango bajo, se procedió a colocar 2 ml de la muestra en el vial y

en el otro vial se añadió 2 ml de agua destilada. Luego se llevaron los viales al digestor a una temperatura de 150°C por un tiempo de 2 horas. Después de haber transcurrido el tiempo se dejó enfriar, se realizó la lectura en el espectrofotómetro, colocando el blanco para encerrar el equipo, a continuación, se puso el vial con la muestra y se midió, obteniendo los resultados en mg/l.

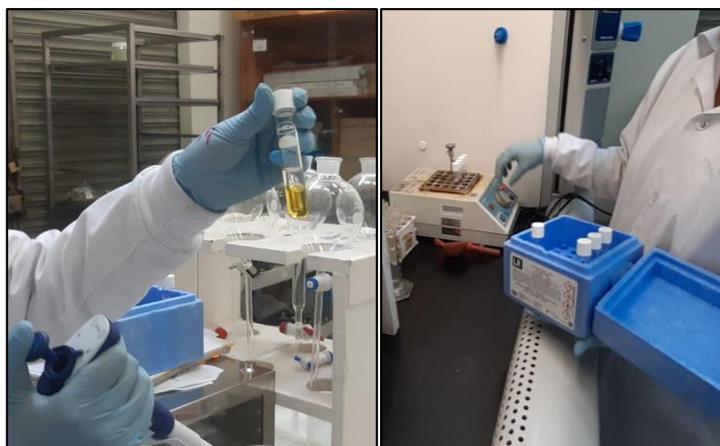


Figura 15. Digestión de viales para análisis de DQO.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

Tras los resultados del ensayo de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se determinó que la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en las muestras de agua analizadas, eran bajas siendo estas iguales o menores a 4 mg/l, por esta razón el laboratorio reportó el valor de DBO como menor al límite de cuantificación del método.

- **Dureza Cálcica**

Para el desarrollo de este análisis, se llenó una bureta de 25 ml con la solución estándar de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), luego se depositaron 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer, a continuación, se añadió NaOH de concentración estándar, para acondicionar la muestra a un pH alcalino, luego se añadió el indicador purpato de amonio ($\text{NH}_4\text{C}_8\text{H}_4\text{N}_5\text{O}_6$ murexida), se observó el primer cambio de color de la muestra a rosa, luego se preparó el equipo de agitación automática y se inició con la titulación añadiendo gotas de EDTA. El punto final de la titulación se dio cuando la muestra cambio del color rosa inicial a púrpura.



Figura 16. Análisis de dureza cálcica, cambio de color de rosa inicial a púrpura.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Dureza Total**

Para la ejecución de este ensayo, se tomaron 100 ml de muestra a temperatura ambiente en un vaso de precipitación, antes de realizar la titulación se filtró la muestra con un embudo, luego se trasvasó el filtrado en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se añadió 1 ml de buffer pH 10 y se confirmó que la muestra se encuentre en el rango de 10 a 11, seguidamente, se añadió 0.25 g de cianuro de potasio para eliminar las interferencias, se añadió el indicador negro de eriocromo T y se realizó la titulación con la ayuda del equipo de agitación automática y se utilizó como agente titulante EDTA estandarizado. El punto final de la titulación se da cuando hay el cambio de color de violeta a azul pálido.



Figura 17. Análisis de dureza total, cambio de color de violeta a azul pálido.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Fosfatos**

Para el desarrollo de este análisis, se depositaron 10 ml de la muestra en una celda de vidrio, después se seleccionó el programa de fosfatos en el espectrofotómetro, luego se encendió el equipo con la muestra, tras la realización de esto se añadió a la muestra el reactivo *Phosver 3 phosphate Powder*, se tapó, agitó la celda hasta la disolución del reactivo, posteriormente se dejó reaccionar la muestra por un lapso de 2 minutos, teniendo en cuenta que cuando el tiempo expiró, se limpió la celda y se colocó en la portacelda para su posterior medición, obteniendo una concentración en mg/l de PO_4^{3-} .



Figura 18. Determinación de Fosfatos.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Hierro**

Para la ejecución de este parámetro, se puso la muestra en un vaso de precipitación de 50 ml y se ajustó el pH de la muestra dentro de un rango de 3 a 8 con ácido nítrico 1N o hidróxido de sodio 1N según sea necesario, el procedimiento se lo realizó por el método de espectrofotometría en el programa de hierro, de tal forma que se utilizaron dos celdas de vidrio, en la primera se añadió 10 ml de la muestra que fue el blanco, en la siguiente celda se colocó la muestra más el reactivo *ferrover*, se tapó, agitó hasta que este disuelto totalmente, esperando un tiempo de reacción de 3 minutos, teniendo en cuenta que cuando el tiempo expiró en ambas celdas se limpiaron y se colocaron en la portacelda para su posterior medición, obteniendo los resultados en mg/l Fe.

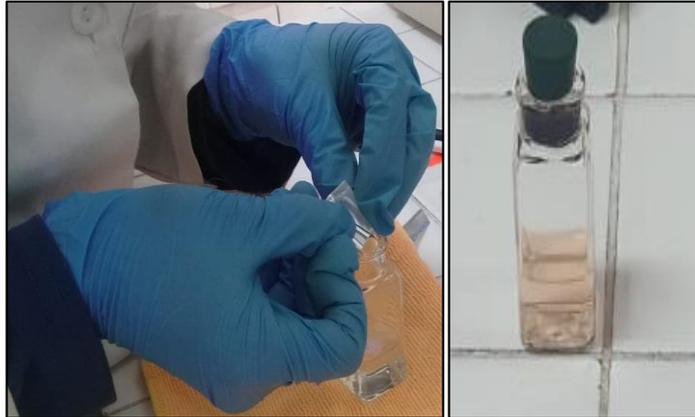


Figura 19. Análisis para Hierro.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Manganeso**

Para el desarrollo de este parámetro, se depositaron 50 ml de muestra en un vaso de precipitación, luego se seleccionó el programa de manganeso correspondiente en el espectrofotómetro. Para la preparación del blanco se ubicaron 10 ml de agua destilada en una celda de vidrio, a continuación se colocaron 10 ml de la muestra en una celda, luego se agregaron en las dos celdas, el reactivo *Ascorbic Acid Powder Pillow* de la marca HACH se tapó, agitó, a continuación se añadió 7 gotas del reactivo *Alkaline-Cynade-Reagent Solution*, se tapó, agitó, por último se agregaron 4 gotas de PAN Indicador Solution 0.1%, se tapó, agitó, hasta la disolución total de los reactivos y se esperó un tiempo de reacción de 2 minutos, finalizado el tiempo se limpió las celdas y se colocaron en el portaceldas del espectrofotómetro se procedió con la medición primero ingresando la muestra de blanco y a continuación la muestra de análisis, finalmente se obtuvo la concentración en mg/l Mn.



Figura 20. Análisis de Manganeso.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Nitrógeno Amoniacal**

Para la determinación de este parámetro, se tomaron y se llenaron dos balones aforados de 25 ml tanto de muestra como de agua destilada en cada balón, después se añadieron en cada uno de los balones aforados 3 gotas de *mineral stabilizer* se taparon, agitaron; enseguida se agregaron 3 gotas de *polyvinyl alcohol* igualmente se taparon, agitaron y por último se colocó 1 ml del reactivo de *nessler*. Finalmente se tomaron dos celdas de cuarzo en la que se añadió agua destilada junto con los reactivos siendo el blanco, y en la siguiente se puso la muestra más los reactivos, este procedimiento se lo realizó por espectrofotometría en el programa 380 esperando un tiempo de reacción de 1 minuto, teniendo en cuenta que cuando el tiempo expiró en ambas celdas se limpiaron y se colocaron en la portacelda para su posterior medición, obteniendo los resultados en mg/l de (N-NH₃).

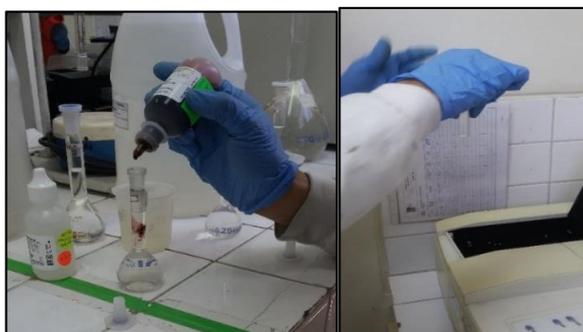


Figura 21. Análisis de nitrógeno amoniacal y medición en el espectrofotómetro.
Fuente: (Los autores, 2020)

- **Nitratos**

Para el desarrollo de este parámetro, se depositó cierta cantidad de muestra en un vaso de precipitación, luego se depositó en un balón aforado de 50 ml. Se añadió 1 ml de ácido clorhídrico, se tapó, agitó hasta que este disuelto totalmente, a continuación, se encendió el espectrofotómetro UV-VIS, para el blanco se tomó agua destilada y depositó en una celda de cuarzo, se procedió a ajustar la absorbancia del agua destilada a cero en el espectrofotómetro UV-VIS, luego se tomó la muestra preparada y se depositó una pequeña cantidad en una celda de cuarzo, homogenizándola dos veces antes de su lectura. Se midió la absorbancia de la muestra en dos longitudes de onda 220 nm para obtener los NO₃ de la muestra y 275 nm para contrarrestar posibles interferencias en la muestra como materia orgánica disuelta, se realizó por duplicado las mediciones de nitratos para evitar errores de lectura y se calculó los resultados en mg/l de NO₃⁻.



Figura 22. Determinación de la absorbancia de nitratos en el espectrofotómetro.
Fuente: (Los autores, 2020)

- **Nitritos**

Para el desarrollo de este parámetro se tomaron 50 ml de la muestra en un balón aforado, se añadió 2 ml del reactivo color nitritos, se tapó, agitó; se dejó un tiempo de reacción de 10 minutos, este procedimiento se lo realizó por espectrofotometría con una absorbancia de 543 nm, se tomaron dos celdas de vidrio, de modo que se añadió la muestra mismo siendo el blanco, en el siguiente la muestra más el reactivo, teniendo en cuenta que cuando el tiempo expiró en ambas celdas se limpiaron y se colocaron en la portacelda para su posterior medición, obteniendo los resultados en mg/l de NO_2^- .

- **Sulfatos**

Este parámetro también estaba considerado dentro de los parámetros que debían analizarse, para la evaluación de la calidad del agua del barrio Aglla, pero el laboratorio no desarrolló este ensayo, sin embargo, se envió una solicitud "CICAM", en el cual se obtuvo una respuesta positiva, no obstante, mencionaron que tendríamos que tomar nuevamente las muestras de agua e irlas a dejar a las inmediaciones de la EPN para su posterior análisis, pero por la emergencia sanitaria del Covid-19 no se realizó.

2.3.3 Parámetros Microbiológicos

- **Coliformes totales**

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de microbiología, por el método del número más probable (NMP) que constan de dos fases, la fase presuntiva y confirmativa. Para la determinación de la presencia de coliformes totales se empleó la fase confirmativa de manera que se utilizó el medio de cultivo caldo bilis verde brillante 2% (BGBB), además, no se realizaron diluciones, debido a que las muestras eran de agua potable y natural.

Cultivo e incubación de coliformes totales

Se utilizaron 10 tubos de ensayo con medio de cultivo caldo bilis verde brillante 2% (BGGB) para cada muestra de agua, el volumen de medio de cultivo para cada tubo de ensayo fue de 5 ml respectivamente. Antes de empezar con el cultivo de coliformes se rotularon los tubos de ensayo mencionados dependiendo del código de la muestra de agua que correspondía analizar. Tras la rotulación los tubos de ensayo se ordenaron en una gradilla de apoyo y se colocaron los tubos Durham en cada tubo.

Luego de la muestra de agua correspondiente a la rotulación se transfirió con la ayuda de una micropipeta 1 ml de muestra a los 10 tubos de ensayo con medio de cultivo (BGGB), para cada determinación se cambiaron las puntas de la micropipeta. Concluido este procedimiento se cerraron todos los tubos con sus respectivas tapas para finalmente ser incubados por un lapso de 48 h a 35 °C.

Rotulación empleada

Tubos con medio de cultivo

MI 063 - 1, MI 063 - 2, MI 063 - 3, MI 063 - 4, etc.

Para la determinación de resultados se identificó los tubos Durham que muestran crecimiento de coliformes totales, tras el proceso de incubación esto se aprecia por la presencia de turbidez y de gas producto de la fermentación de la lactosa. Los tubos que presentaron estas características resultaron ser positivos mientras que los que no presentaron dichas peculiaridades fueron negativos. Los tubos positivos fueron anotados y transformados a un índice del número más probable (NMP) a partir de las tablas del Anexo III.

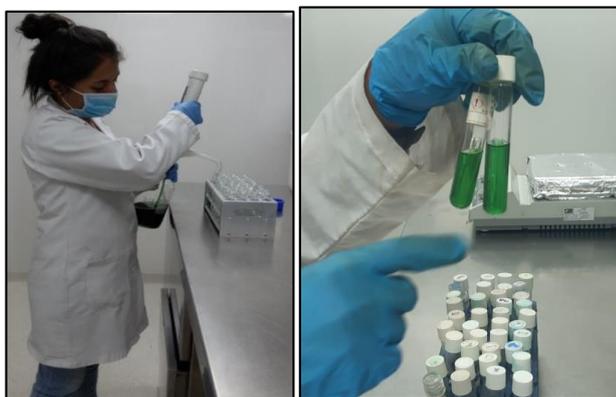


Figura 23. Cultivo de coliformes totales.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Coliformes Fecales**

El ensayo de coliformes totales resulto ser negativo para cada muestra analizada, es decir, ningún tubo empleado en el ensayo fue positivo, razón por la cual no se realizó la fase confirmativa de coliformes fecales, debido a la inexistencia de microorganismos del grupo coliforme.

2.4 Evaluación de la Infraestructura Existente

La evaluación se la realizó el día domingo 9 de febrero del presente año a las 7 a.m., en un clima templado, en la que se utilizaron GPS, flexómetro, caudalímetro ultrasónico, cronómetro y una libreta de campo.

Se ejecutó el recorrido junto con el presidente y la tesorera de la junta de agua de Aglla, donde se registraron los puntos GPS, de los diferentes componentes del sistema. Además, se midieron las infraestructuras en las diversas etapas de tratamiento con un flexómetro y se anotaron en una libreta de campo, también se calcularon los caudales con el método del flotador y el equipo caudalímetro ultrasónico.

2.4.1 Levantamiento de la información geo referenciada

Los puntos GPS se tomaron desde el pretratamiento (presedimentador, punto 2) hasta el último componente de la infraestructura hidráulica (TRP, punto 14), previa a la distribución, cabe recalcar que el sistema de posición global se lo encendió desde que se llegó a la comunidad de Aglla, para precisar los datos de medición.

El registro del punto de la captación no se lo efectuó debido a la emergencia sanitaria. Sin embargo, se obtuvieron los datos de elevación, longitud y diámetro de la tubería, mediante la información proporcionada por la junta de agua del barrio Aglla, como se observa en el Anexo V.

La obtención de los puntos GPS del catastro, se lo realizó de la misma forma que en el muestreo.

Además, el perfil de conducción fue ejecutado en base a las coordenadas y elevaciones tomadas en campo, excepto en la captación donde las coordenadas se obtuvieron en base al dato de elevación adquirido por la junta de agua del barrio Aglla, como se indica en la Figura 24.

En la Tabla 10, se detallan las coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos) y la elevación de cada punto del catastro efectuado en el sistema de abastecimiento del barrio Aglla.

Tabla 10.Tabla de las coordenadas en los puntos de catastro.

Puntos GPS	Puntos	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Elevación
1	Captación	0°09'22,6"S	78°14'41,6"O	3449
2	Pre-tratamiento (Presedimentador)	0°09'18,7"S	78°14'44,5"O	3422
3	Tanque Rompe Presión	0°09'09,3"S	78°15'20,1"O	3249
4	Filtro Grueso Ascendente	0°08'58,8"S	78°15'41,7"O	3182
5	Filtros Lento de Arena	0°08'58,7"S	78°15'42,6"O	3170
6	Desinfección	0°08'58,2"S	78°15'42,4"O	3169
7	Tanque de Almacenamiento	0°08'58,2"S	78°15'42,5"O	3169
8	Tanque Rompe Presión	0°08'49,2"S	78°15'57,5"O	3071
9	Válvula de Aire	0°08'44,7"S	78°16'07,9"O	3047
10	Tanque Rompe Presión	0°08'22,6"S	78°16'43,4"O	2981
11	Válvula de Aire	0°08'19,2"S	78°16'54,4"O	2945
12	Planta Clorificadora	0°08'18,6"S	78°16'56,5"O	2939
13	Tanque Rompe Presión	0°08'16,5"S	78°17'03,8"O	2884
14	Tanque Rompe Presión	0°08'11,9"S	78°17'26,9"O	2790

Fuente: (Sistema de Posicionamiento Global, 2020)

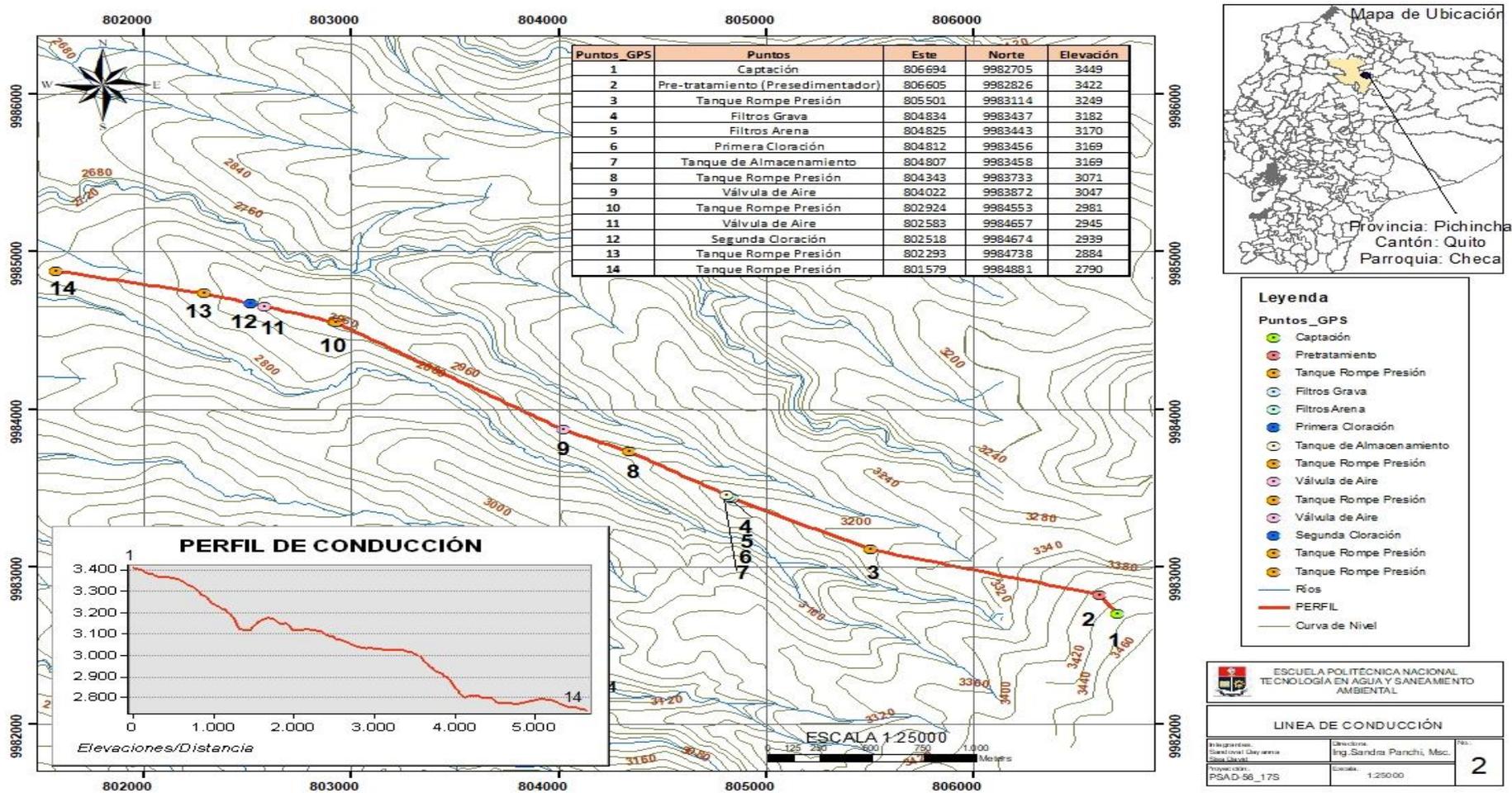


Figura 24. Línea de aducción y conducción de la comunidad de Aglla.
Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2019) (Sistema de Posicionamiento Global, 2020)

2.4.2 Componentes del sistema

- **Captación**

Es una captación superficial de tipo de toma lateral que se realiza a través de canales contruidos en hormigón, y que lleva el agua a un tanque recolector, para luego ser tratada y distribuida a la población de Aglla.

Esta estructura contiene los siguientes elementos: transición de entrada, tubería de salida, *by-pass* que conecta la transición de entrada con la salida del caudal, reja, tanque recolector y una válvula de compuerta. Las dimensiones de la infraestructura son de 3.30 m de largo y 1.30 m de ancho, con una profundidad del tanque recolector de 1.50 m.



Figura 25.Captación.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Canal de Aducción y Conducción**

El canal de aducción transporta agua cruda desde la captación hasta el pre tratamiento a través de canales abiertos y tuberías, pero la mayor parte del recorrido del agua es por canal abierto. Los datos se obtuvieron a través de la junta de agua ver Anexo V, desde la captación hacia la cámara disipador tiene una longitud de 75 m y una tubería de PVC Ø de 10". En el siguiente tramo desde la cámara disipador hasta la entrada del pretratamiento tiene una longitud de 315 m y una tubería de PVC Ø de 12".

En el canal de conducción desde la salida del pretratamiento hasta el último tanque rompe presión, es mediante canal abierto en un pequeño tramo y seguido completamente por una conducción en tubería de PVC Ø de 3”.



Figura 26. Aducción y Conducción.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Pretratamiento (Presedimentador)**

El presedimentador es una estructura de concreto, que retiene los sólidos gruesos en el agua, que mediante maniobras de operación son removidos del presedimentador, con el fin de impedir que se originen sedimentos en los canales, conducciones, y sobrecargas en las siguientes fases de tratamiento.

En aquella infraestructura se identifica tubería de ingreso, cámara presedimentadora, canal de salida, bifurcación que divide el caudal tanto para la comunidad de San Rafael como Aglla y un tanque de recolección del caudal. Las dimensiones de la infraestructura son de 8.60 m de largo y 2.10 m de ancho, con una profundidad de 0.65 m.

Así mismo a sus alrededores se localizan cajas de válvulas en la que se encuentran válvulas de compuerta y una caja de control con una válvula de bola. Cuyas dimensiones de largo y ancho es de 0.75 m, con una profundidad de 1.40 m.



Figura 27. Pretratamiento (Presedimentador).

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Tanques Rompe Presión**

En el sistema de abastecimiento se encuentran cinco tanques rompe presión que se localizan en la red de distribución cuyas estructuras son de hormigón, estos se ubican cuando hay un considerable desnivel entre el reservorio y las viviendas. Son usados para reducir o romper la presión aun valor igual a cero cuando la presión o carga hidrostática que tolera la tubería sobrepasa la presión de trabajo de la misma.

Esta infraestructura contiene los siguientes accesorios: tubería de ingreso, válvula de compuerta, válvula flotadora, boya, tubería de desfogue, válvula de bola, canastilla y una tubería de salida.

Las dimensiones de largo y ancho del tanque rompe presión son de 1.60 m respectivamente, mientras que la tapa de acceso a este componente tiene un largo de 0.85 m y un ancho de 0.70 m. En los siguientes tanques las dimensiones de las tapas de acceso cambian a 0.75 m tanto en el largo como el ancho. La profundidad de cada tanque rompe presión fue de 1.60 m.

En las cámaras húmedas se encuentran válvulas del flotador y a los alrededores de la infraestructura, se hallan válvulas de bola cuyas dimensiones de largo y ancho oscilan entre 0.55 m, también se localizan válvulas de compuerta con medidas de infraestructura de largo y ancho de 0.68 m.



Figura 28. Tanque rompe presión.

Fuente: (Los autores, 2020)

- **Filtro Grueso Ascendente por Capas (FGAC)**

Los filtros de grava como los de arena, son usados para remover partículas suspendidas en el agua, también su velocidad de filtración es baja, se utiliza un área de filtración constante lo que permite obtener un flujo fijo. Una de las ventajas a más de la eficiencia en la clarificación del agua, es la facilidad y sencillez de su construcción.

El lecho filtrante se encuentra estratificado en el siguiente orden, ver Tabla 11:

Tabla 11. Estratificación para un Filtro Grueso Ascendente por Capas (FGAC)

Tamaño de grava (mm)	Observación
19-25	Soporte- fondo
13-19	
6-13	
3-6	
1.6-3	Capa superior

Fuente: (Galvis Castaño et al., 1995)

Las dimensiones de esta infraestructura son: 6.35 m de largo y 4.40 m de ancho, con una profundidad de 1.40 m. Al ingreso del filtro se localiza un vertedero triangular de ángulo de abertura de 60 °.



Figura 29. Filtro Grueso Ascendente por Capas.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Filtro Lento De Arena (FLA)**

La filtración de arena lenta bien diseñado y mantenido, permite la eliminación de microorganismos y turbidez, sin la necesidad de agregar productos químicos, ya que se emplea procesos biológicos para tratar el agua.

El lecho filtrante se encuentra estratificado de la siguiente manera, ver Tabla 12:

Tabla 12. Estratificación de un Filtro Lento de Arena (FLA)

Capa	Tipo	Diámetro de partícula (mm)
Superior	Arena del filtro	0.15-0.3
Segunda	Arena Gruesa	1.0-1.4
Tercera	Grava	2.0-9.0
Soporte- fondo	Grava	9.0-19.0

Fuente: *(Galvis Castaño et al., 1999)*.

Las dimensiones de infraestructura son 6.90 m de largo y 5.20 m ancho, con una profundidad de 2.50 m.



Figura 30. Filtro lento de arena.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Equipo Clorid-SA**

La unidad Clorid L-90, es un equipo ecológico productor de hipoclorito de sodio por electrolisis de cloruro de sodio (salmuera).

La salmuera común es elaborada en un tanque y disuelta hasta formar una solución acuosa. La salmuera saturada en el agua se combina en un tanque, que está dotado por electrodos, conectados en paralelo y son energizados con corriente continua, mediante un transformador rectificador.

La concentración de la solución de hipoclorito creada en forma de cloro equivalente, es de 12.5 gramos por litro y tiene una capacidad de abastecer hasta 90 litros de cloro activo por día.



Figura 31. Equipo ecológico productor de hipoclorito de sodio, modelo L-90.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Tanque De Almacenamiento**

Se localiza después de la desinfección suministrada por el Equipo Clorid-SA. Las dimensiones del tanque son: 5.4 m de largo, 2 m de ancho y 3 m de profundidad, con

un volumen de 32.4 m³. Además, se encuentran una caja de operación y una caja de control cuyas medidas de largo y ancho son de 0.60 m, con una profundidad de 3 m. En la caja de control se localiza una válvula de bola.



Figura 32. Tanque de almacenamiento.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Válvulas De Aire**

En el sistema de abastecimiento existen dos válvulas de aire, que se localizan en los puntos altos de la línea de conducción y permiten que salga el exceso de aire de la tubería, evitando causar, daños en las tuberías como la cavitación.

Las dimensiones de la infraestructura que contiene la válvula de aire son elementos de hormigón circulares con un diámetro de 0.30 m.



Figura 33. Válvula de aire.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

- **Planta Clorificadora**

Este equipo fue donado por el Club Rotario Quito-Valle Interoceánico, en el año 2019, consta de un filtro rápido, conformado por grava gruesa, grava fina y arena, así como un clorificador automático.

El agua en este equipo atraviesa el filtro rápido, luego tiene una dosificación automática de hipoclorito de calcio. En la línea de descarga del filtro, se encuentra un sensor de flujo, que ordena que el dosificador inyecte el químico en el agua, cuando detecta el paso de este por la tubería. Además, este equipo produce 250 litros de cloro al día.



Figura 34. Planta Clorificadora.

Fuente: *(Los autores, 2020)*

Eficiencia de los filtros FGAC, FLA y Planta Clorificadora:

Mediante los parámetros medidos de turbidez y coliformes fecales, al ingreso y salida de los procesos de filtración FGAC y FLA, así como de la planta clorificadora, se calculó la eficiencia de remoción de los filtros y del sistema de tratamiento a partir de la Ecuación 18.

$$E\% = \frac{\text{Parámetro entrada} - \text{Parámetro salida}}{\text{Parámetro entrada}} * 100$$

Ecuación 18. Determinación de la Eficiencia de los filtros.
(Galvis Castaño et al., 1995)

2.5 Determinación de Caudales

En la figura 35, se detalle los puntos de los caudales obtenidos en el sistema de abastecimiento.

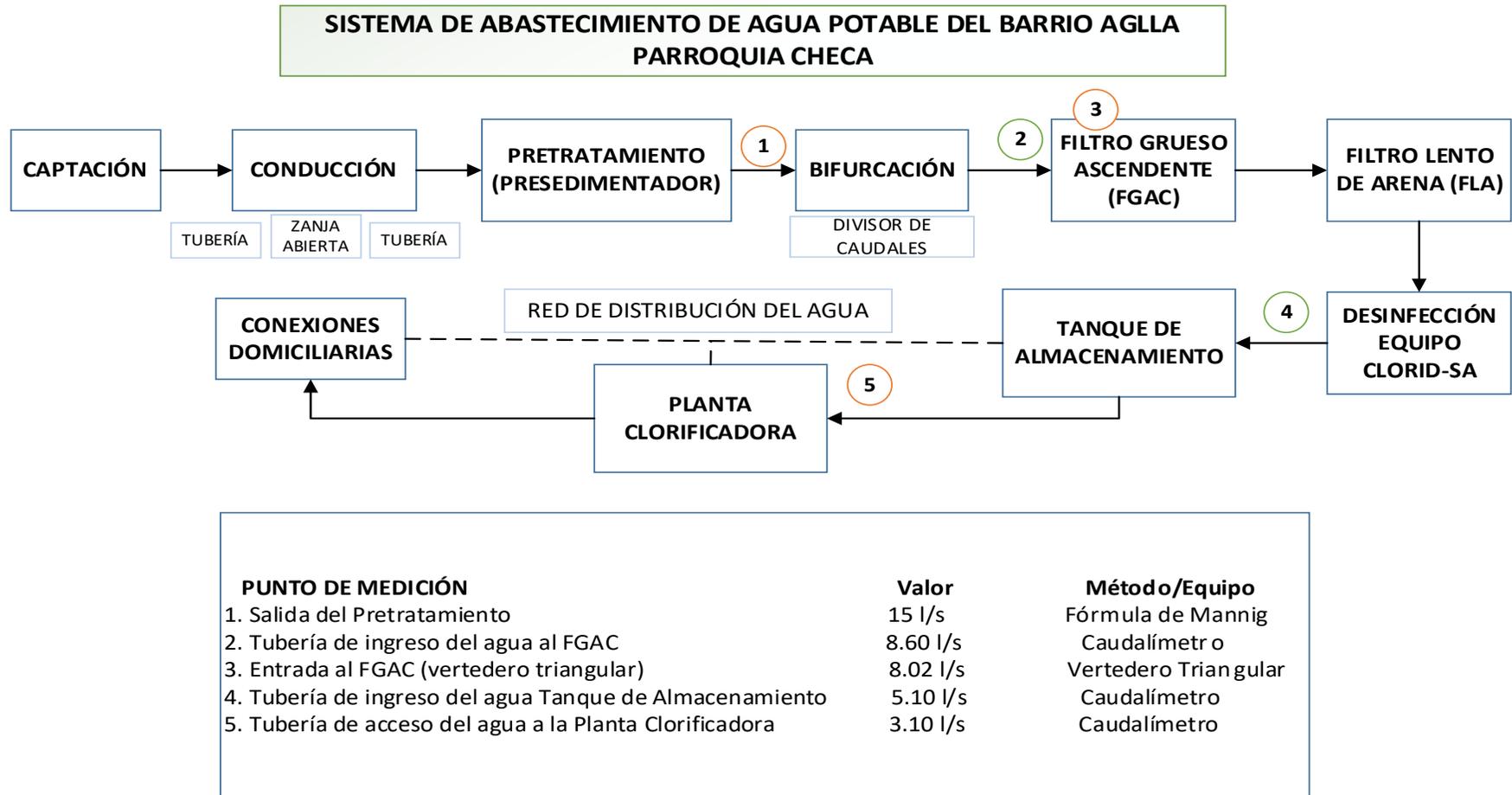


Figura 35. Puntos de los caudales obtenidos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Barrio Aglla Parroquia Checa.

Fuente: (Los autores, 2020)

2.5.1 Medición por el método de la fórmula de Manning.

Este método se lo realizó en el pretratamiento (presedimentador) en los puntos *d* y *f*, como se muestra en la figura 36, antes de la división del caudal para las dos comunidades de Aglla y San Rafael, en la que se obtuvieron los datos de: ancho de la lámina de agua, calado normal, y la pendiente de la línea de agua.

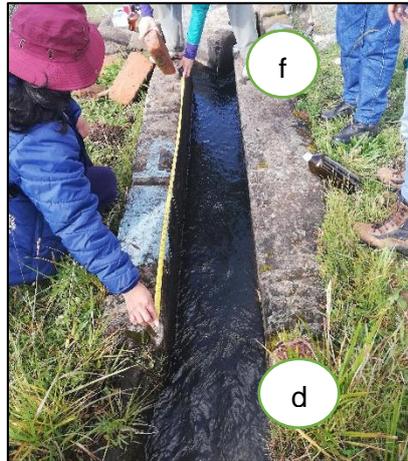


Figura 36. Medición con el flexómetro.

Fuente: (Los autores, 2020)

Se aplicó la Ecuación 1 y 2, para determinar la velocidad y el caudal de un flujo estacionario en canal abierto de una sección rectangular, en la que se utilizó los siguientes datos:

Datos:

- $b = 0.32 \text{ m}$
- $y_o = 0.10 \text{ m}$
- $n = 0.027$
- $I_e = 0.007$

$$V = 1/0.027 * (0.32*0.10/0.32+2(0.10))^{2/3} * 0.007^{1/2} = 0.48 \text{ m/s}$$

$$\frac{Q \cdot n}{I_e^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$Q = \frac{(b * y_o)^{5/3} * (I_e)^{1/2}}{(b + 2(y_o))^{2/3} (n)} = \frac{(0.32 \text{ m} * 0.10 \text{ m})^{5/3} (0.007)^{1/2}}{(0.32 \text{ m} + 2(0.10))^{2/3} (0.027)} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 15 \text{ l/s}$$

2.5.2 Medición por el método del vertedero triangular

El dato obtenido de altura del nivel del agua h , así como las dimensiones del vertedero fueron determinados en campo junto con el trabajo de muestreo del agua. En la figura 37 se detallan las dimensiones del vertedero triangular utilizado a la entrada de los filtros grava, primera etapa del tratamiento del barrio Aglla.

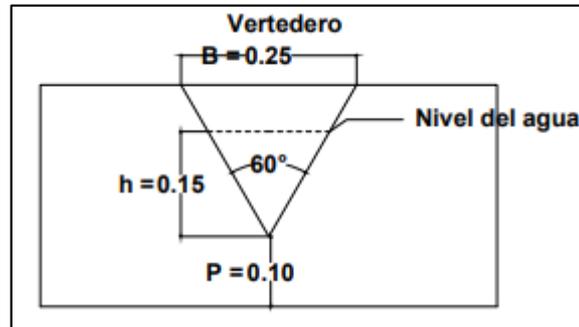


Figura 37. Dimensiones vertedero triangular.

Fuente: (Los autores, 2020)

Para la determinación del caudal se tomaron las Ecuaciones 6 y 3 respectivamente.

Con la Ecuación 6 de Heyndrick, se calculó el coeficiente de descarga del vertedero triangular, ya que esta ecuación se utiliza para ángulos con una abertura de 60°.

Datos:

$$h = 0.15 \text{ m}$$

$$B = 0.25 \text{ m}$$

$$P = 0.10 \text{ m}$$

$$C_d = [0.5775 + 0.214 h^{1.25}] \left[1 + \left(\frac{h^2}{B(h+P)} \right)^2 \right]$$

$$C_d = [0.5775 + 0.214 \times 0.15^{1.25}] \left[1 + \left(\frac{0.15^2}{0.25(0.15+0.10)} \right)^2 \right] = 0.675$$

Con el dato calculado del coeficiente de descarga se determinó el caudal en m^3/s , a partir de la Ecuación 3.

Datos:

$$C_d = 0.675$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$h = 0.15 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan \theta / 2 h^{5/2}$$

$$Q = \frac{8}{15} \times 0.675 \sqrt{2(9.81)} \tan 60/2 \times 0.15^{5/2} = 0.00802 \text{ m}^3/\text{s} = 8.02 \text{ l/s}$$

El caudal de 8.02 l/s ingresa al filtro grueso ascendente por capas, de la primera fase del tratamiento del agua del barrio Aglla, según el cálculo realizado en el vertedero triangular.

2.5.3 Medición con el equipo caudalímetro ultrasónico

El caudalímetro ultrasónico que se utilizó es el medidor de tiempo de tránsito. Las mediciones se realizaron en las tuberías de ingreso a la primera etapa de tratamiento de los filtros lentos, conducción hacia el tanque de almacenamiento, luego de la primera desinfección y antes de ingresar a la segunda etapa de tratamiento.

Para la medición con el equipo se utilizó un gel conductor, así como también en función de los diámetros de las tuberías del sistema se eligieron los sensores y accesorios de medición.

En el equipo se ingresaron los datos del material de la tubería y el diámetro, se obtuvo la distancia de separación entre los dos sensores ultrasónicos. Los dos transductores o sensores se colocaron a esta distancia, se consideró también la dirección del flujo para la ubicación de estos, siendo el un sensor como emisor de color rojo y el otro sensor como receptor de color azul, además, se añadió gel conductor en cada uno y se sujetaron con unas correas para alcanzar la medición ultrasónica. Finalmente se obtuvieron los resultados de velocidad y flujo volumétrico.

Los valores del caudal que se adquirieron fueron los siguientes, como se muestra en la Figura 35, sin embargo, a causa de la emergencia sanitaria, no se realizó otra visita de campo para la medición del caudal a la salida de la planta clorificadora, por falta de movilización, salvaguardando la integridad de los implicados.



Figura 38. Medición con el caudalímetro ultrasónico.

Fuente: (Los autores, 2020)

2.6 Determinación de la Demanda de Caudales en el Sistema

2.6.1 Pérdidas en el sistema de abastecimiento

Para la determinación de las pérdidas en el sistema de abastecimiento se aplicó la Ecuación 19, donde se utilizó los valores registrados en la medición del caudal por el equipo caudalímetro.

$$\%P = \frac{\text{Caudal que ingresa al STAP} - \text{Caudal de distribución}}{\text{Caudal que ingresa al STAP}}$$

Ecuación 19. Porcentaje de Pérdidas

(López R. , 2004)

$$\% P = \frac{8.60 \frac{1}{s} - 5.10 \frac{1}{s}}{8.60 \frac{1}{s}} * 100 = 40.7\%$$

2.6.2 Cálculo de la dotación total de agua

El cálculo de la dotación bruta se desarrolló a partir de la dotación neta de 160 (l/hab.d), que menciona la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito para parroquias rurales. De la misma forma, se utilizó el valor del porcentaje de pérdidas máximo permitido por la EPMAPS que es del 25% para parroquias rurales, debido a que el valor del porcentaje de pérdidas que se obtuvo en el sistema de abastecimiento supera al valor máximo permitido.

De manera que se reemplazó en la Ecuación 11 de dotación bruta y se desarrolló lo siguiente:

Datos:

- Dotación neta = 160 (l/hab.d) (EPMAPS, 2011)
- Caudal que ingresa a los filtros lentos= 8.60 (l/s)
- Caudal consumido = 5.10 (l/s)
- %Pérdidas = 25%

Desarrollo:

$$\%P = \text{Dotación Bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \%P} = \frac{160 \frac{\text{l}}{\text{hab. d}}}{1 - 25\%} = 213 \frac{\text{l}}{\text{hab. d}}$$

La dotación total de agua de la comunidad es de 213 (l/hab.d).

2.7 Determinación de la Población Futura

Los datos de la población de Aglla de la parroquia Checa de los últimos tres censos realizados por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos, se lo obtuvieron mediante la plataforma del INEC en el centro de soporte de tickets.

Tabla 13. Censo de Población y vivienda correspondiente del 2001 al 2010.

AÑO	Población
1990	396
2001	662
2010	1215

Fuente: (INEC, 2020)

Además, el presente estudio de la población actual y futura de Aglla, se lo determinó en base a los censos realizados por el INEC y se calculó las proyecciones de población futura hasta el año 2028, dado que el período de diseño del sistema de abastecimiento de agua potable de Aglla, opera desde el año 1998 y según la normativa vigente, determinada por la EPMAPS, el período de diseño para un sistema de abastecimiento de agua potable es de 30 años.

2.7.1 Cálculo de la población

De acuerdo con los siguientes métodos de cálculo se obtuvieron las proyecciones de población. Se aplicó el análisis de sensibilidad para los métodos lineal y geométrico.

- Método Lineal

Se utilizó la Ecuación 5 para el determinar la tasa de crecimiento lineal. Se aplicó el análisis de sensibilidad tomando en cuenta los censos intermedios de la población.

$$k_{2010-2020} = \frac{1215 - 396}{2010 - 1990} = 40.95 \text{ hab/año}$$

Datos:

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$P_{ci} = 396 \text{ hab}$$

$$T_{ci} = 1990$$

$$k_{2010-2001} = \frac{1215 - 662}{2010 - 2001} = 61.44 \text{ hab/año}$$

Datos:

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab.}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$P_{ci} = 662 \text{ hab.}$$

$$T_{ci} = 2001$$

Para la proyección de la población se aplicó la Ecuación 6. Se emplearon las dos tasas de crecimiento calculadas anteriormente.

$$P_{2020} = 1215 + 40.95 (2020 - 2010)$$

$$P_{2020} = 1625 \text{ hab.}$$

Datos:

$$k = 40.95 \text{ hab/año}$$

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$T_f = 2020, 2025, 2028$$

$$P_{2020} = 1215 + 61.44 (2020 - 2010)$$

$$P_{2020} = 1829 \text{ hab.}$$

Datos:

$$k = 61.44 \text{ hab/año}$$

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$T_f = 2020, 2025, 2028$$

De manera similar se continúan los cálculos, conservando constante el censo final, se proyectaron las poblaciones para los años 2020, 2025 y 2028.

Se realizó el promedio para cada año proyectado donde se obtuvieron los siguientes resultados, como se observa en la Tabla 14.

Tabla 14. Proyección de la población futura por el método lineal.

Año	Pci	k	2020	2025	2028
1990	396	40.95	1625	1829	1952
2001	662	61.44	1829	2137	2321
Promedio Total		51.20	1727	1983	2137

Fuente:(Los autores, 2020)

- Método Geométrico

Se desarrolló la Ecuación 7 para determinar la tasa de crecimiento geométrico. De igual forma, se tomaron en cuenta los censos intermedios de la población.

$$r_{2010-1990} = \left[\left(\frac{1215}{396} \right)^{\frac{1}{2010-1990}} - 1 \right] = 0.0577$$

Datos:

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$P_{ci} = 396 \text{ hab}$$

$$T_{ci} = 1990$$

$$r_{2010-2001} = \left[\left(\frac{1215}{662} \right)^{\frac{1}{2010-2001}} - 1 \right] = 0.0698$$

Datos:

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$P_{ci} = 662 \text{ hab}$$

$$T_{ci} = 2001$$

Para la proyección de la población se aplicó la Ecuación 8. Se utilizaron las dos tasas de crecimiento determinadas.

$$P_{2020} = 1215(1 + 0.0577)^{2020-2010}$$

$$P_{2020} = 2129 \text{ hab.}$$

Datos:

$$r = 0.0577$$

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$Tf = 2020, 2025, 2028$$

$$P_{2020} = 1215(1 + 0.0698)^{2020-2010}$$

$$P_{2020} = 2386 \text{ hab.}$$

Datos:

$$r = 0.0698$$

$$P_{uc} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{uc} = 2010$$

$$Tf = 2020, 2025, 2028$$

De manera similar se continúan los cálculos, conservando constante el censo final y variando el censo inicial, se proyectaron las poblaciones para los años 2020, 2025 y 2028.

Se realizó el promedio para cada año proyectado donde se obtuvieron los siguientes resultados, como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Proyección de la población futura por el método geométrico.

Año	Pci	r	2020	2025	2028
1990	396	0.06	2129	2818	3335
2001	662	0.07	2386	3343	4093
Promedio Total		0.0638	2258	3081	3714

Fuente: (Los autores, 2020)

- Método Logarítmico

Se empleó la Ecuación 9 para el cálculo de las tasas de crecimiento logarítmico.

$$kg_{2001-1990} = \frac{\ln(662) - \ln(396)}{2001 - 1990} = 0.0467$$

Datos:

$$P_{cp} = 662 \text{ hab}$$

$$T_{cp} = 2001$$

$$P_{ca} = 396 \text{ hab}$$

$$T_{ca} = 1990$$

$$kg_{2010-2001} = \frac{\ln(1215) - \ln(662)}{2010 - 2001} = 0.0675$$

Datos:

$$P_{cp} = 1215 \text{ hab}$$

$$T_{cp} = 2010$$

$$P_{ca} = 662 \text{ hab}$$

$$T_{ca} = 2001$$

Se realizó el promedio de las tasas de crecimiento calculadas.

$$kgT = \frac{0.0467 + 0.0675}{2} = 0.0571$$

Las proyecciones de la población se desarrollaron a partir de la Ecuación 10.

$$P_{2020} = 396 * e^{0.0571(2020-1990)}$$

$$P_{2020} = 2196 \text{ hab}$$

Datos:

$$kgT = 0.0571$$

$$P_{ci} = 396 \text{ hab}$$

$$T_{ci} = 1990$$

$$Tf = 2020, 2025, 2028$$

De manera similar se continuaron los cálculos, conservando constante el censo inicial. Se proyectaron las poblaciones para los años 2020, 2025 y 2028, como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Proyección de la población futura por el método logarítmico.

Años	Kg	2020	2025	2028
2001-1990	0.0467	2196	2921	3468
2010-2001	0.0675			
Promedio	0.0571			

Fuente: (Los autores, 2020)

2.8 Determinación de la Demanda de Agua de la Población

Los resultados de las proyecciones poblacionales de los métodos desarrollados se tomó en cuenta el método geométrico, debido al crecimiento de la población de las proyecciones realizadas. Para el desarrollo de las demandas de agua actual y futura.

Para la estimación del caudal de diseño, se trabajó con 3 tipos de demandas de agua:

- Caudal medio diario

Se aplicó la Ecuación 12 de demanda doméstica, que muestra el caudal promedio obtenido de un año de registro, se desarrolló lo siguiente:

Datos:

$$d_{bruta} = 213 \left(\frac{1}{hab} \cdot d \right)$$

$$P_{2020} = 2258 \text{ (hab)}$$

$$Q_{md} = \frac{213 \left(\frac{1}{hab} \cdot d \right) * 2258 \text{ (hab)}}{\frac{1d}{86400 \text{ s}}}$$

$$Q_{md} = 5.58/s$$

El caudal medio diario es de 5.58 (l/s).

- Caudal máximo diario

Se aplicó la Ecuación 13 de demanda máxima diaria, que constituye el día de mayor consumo en el año, se desarrolló lo siguiente:

Datos:

$$k_1 = \text{Coeficiente } 1.4 \text{ en parroquias rurales (EPMAPS, 2008).}$$

$$Q_{md} = 5.08 \text{ (l/s)}$$

$$QMD = 1.4 * 5.58$$

$$QMD = 7.81 \text{ l/s}$$

El caudal máximo diario es de 7.81 (l/s).

- Caudal máximo horario

Se aplicó la Ecuación 14 de demanda máxima horaria, que se representa en una hora durante un año completo, se desarrolló lo siguiente:

Datos:

$k_2 =$ Coeficiente 2.0-2.3 (SENAGUA, 2012)

$$Q_{md} = 5.08 \text{ (l/s)}$$

$$QMH = 2.3 * 5.58$$

$$QMH = 12.82 \text{ l/s}$$

El caudal máximo horario es de 12.82 (l/s).

Para la proyección de consumo se realizó, con una pérdida del caudal de 25 % y una dotación neta de 160 l/hab.d recomendada por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito.

Se determinaron las siguientes demandas de agua hasta el año 2028, ver Tabla 17.

Tabla 17. Proyección del consumo de agua del barrio Aglla

Año	Población	Dotación Neta	Pérdidas	Dotación bruta (l/had.d)	Caudal Medio Diario (l/s)	K1	Caudal Máximo Diario (l/s)	K2	Caudal Máximo Horario (l/s)
			(Q)						
2020	2258	160	25%	213	5,58	1,4	7,81	2,3	12,82
2025	3081	160	25%	213	7,61	1,4	10,65	2,3	17,50
2028	3714	160	25%	213	9,17	1,4	12,84	2,3	21,09

Fuente: (Los autores,2020)

2.9 Volumen del Tanque de Almacenamiento

Para el cálculo del volumen de regulación al no tener datos sobre las variaciones horarias de consumo de la población de Aglla se consideró lo es estipulado en la “Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”. La cual indica que para poblaciones menores a 5000 habitantes se calcula la capacidad de regulación a partir del 30% la demanda media diaria al final del periodo de diseño.

Además, se determinó el volumen de regulación que se necesita para el año 2020, con ello se verificó si la capacidad de almacenamiento actual es suficiente o necesita de alguna ampliación.

Se calculó el volumen de regulación, aplicando la Ecuación 20 tanto para la demanda media diaria del 2020 como para la del 2028.

$$V = 30\% * Q_{md}$$

Ecuación 20. Volumen de regulación para poblaciones menores a 5000 hab.

(SENAGUA, 2012)

Volumen de regulación 2020:

$$V = 0.30 * \frac{5.58 \frac{l}{s}}{s} * \frac{1 m^3}{1000 l} * \frac{86400 s}{1 día} = 144.63 m^3/día$$

$$\text{Volumen de regulación} = 145 m^3$$

Volumen de regulación 2028:

$$V = 0.30 * \frac{9.17 \frac{l}{s}}{s} * \frac{1 m^3}{1000 l} * \frac{86400 s}{1 día} = 237.70 m^3/día$$

$$\text{Volumen de regulación} = 238 m^3$$

Cabe mencionar, que los volúmenes de protección contra incendios y de emergencia no se calcularon, ya que la SENAGUA indica que no se debe considerar la determinación de estos volúmenes para poblaciones futuras con menos de 5000 habitantes.

Al no considerar los volúmenes de protección contra incendios y de emergencia se asumió como volumen total de almacenamiento el volumen de regulación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de la Calidad del Agua

Los resultados de los análisis del agua se detallan en las Tablas 18 y 19 respectivamente. Cabe indicar, que los datos obtenidos se encuentran separados en muestras de agua cruda y agua potable con el fin de determinar si el tratamiento de potabilización que se realiza es el correcto por medio del AM 097 A, Tabla 1 del TULSMA que determina la calidad del agua cruda y de la norma INEN 1108:2020 que indica los requisitos del agua para consumo humano.

Ciertos resultados han sido bajo el límite de cuantificación del laboratorio "CICAM". Además, las hojas de los resultados de las ocho muestras analizadas se localizan en el Anexo VII.

En la Tabla 18 se presentan los valores registrados en campo y laboratorio de las muestras de agua cruda.

Tabla 18. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos muestras de agua cruda.

	Parámetros	Muestras	P1	P2	P3	P4
Laboratorio	Coliformes Totales NMP/100 ml		<1,1			
	Coliformes Fecales NMP/100 ml		<1,1			
	Color real u Pt-Co		19		25	27
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) mg/l		<2		<2	
	Demanda química de oxígeno (DQO) mg/l		<10		<10	
	Dureza cálcica mg/l		13		13	
	Dureza total mg/l		23		25	
	Fosfatos (PO ₄ ³⁻) mg/l		<0,10		0,15	
	Hierro Total mg/l		0,67		0,44	
	Manganeso mg/l		<0,050		<0,050	
	Nitratos (NO ₃ ⁻) mg/l		<3,3		<3,3	
	Nitritos (NO ₂ ⁻) mg/l		<0,06		<0,06	
	Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃) mg/l		0,12		0,19	

Continúa en la siguiente página

	Sólidos suspendidos mg/l	<100	<100	<100	<100
	Sólidos totales disueltos mg/l	70	88	92	82
Campo	Conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$		82	84	85
	Oxígeno disuelto mg/l		5,6	5,72	5,19
	% Oxígeno SAT		75,11	76,11	70,79
	Potencial hidrógeno (pH)		6,97	7,57	7,37
	Temperatura °C		10,17	9,82	12,25
	Turbidez NTU		7,81	7,62	3,97

Fuente: (Centro de Investigación y Control Ambiental)

En la Tabla 19 se presentan los valores registrados en campo y laboratorio de las muestras de agua potable.

Tabla 19. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos muestras de agua potable.

	Parámetros	Muestras	P5	P6	P7	P8
Laboratorio	Cloro libre residual mg/l		<0,20	0,96	0,88	0,82
	Coliformes Totales NMP/100 ml		<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	Coliformes Fecales NMP/100 ml		<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	Color aparente u Pt-Co			45	42	38
	Color real u Pt-Co			26		
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) mg/l			<2		
	Demanda química de oxígeno (DQO) mg/l			<10		
	Dureza cálcica mg/l				18	
	Dureza total mg/l				33	
	Fosfatos (PO ₄ ³⁻) mg/l				0,11	
	Hierro Total mg/l				0,27	

Continúa en la siguiente página

	Manganeso mg/l		<0,050		
	Nitratos (NO ³⁻) mg/l		<3,3		
	Nitritos (NO ²⁻) mg/l		<0,06		
	Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃) mg/l		0,08		
	Sólidos suspendidos mg/l		<100		
	Sólidos totales disueltos mg/l		108		
Campo	Conductividad µs/cm	109	99	105	128
	Oxígeno disuelto mg/l	5,17	4,95	5,12	5,51
	% Oxígeno SAT	70,06	66,53	70,27	82,55
	Potencial hidrógeno (pH)	7,43	7,48	7,44	7,86
	Temperatura °C	12,03	12,98	13,96	19,67
	Turbidez NTU	3,75	4,02	3,84	3,87

Fuente: (Centro de Investigación y Control Ambiental)

Conductividad y Temperatura

En la figura 39 se detallan los resultados conseguidos en campo para los parámetros conductividad y temperatura

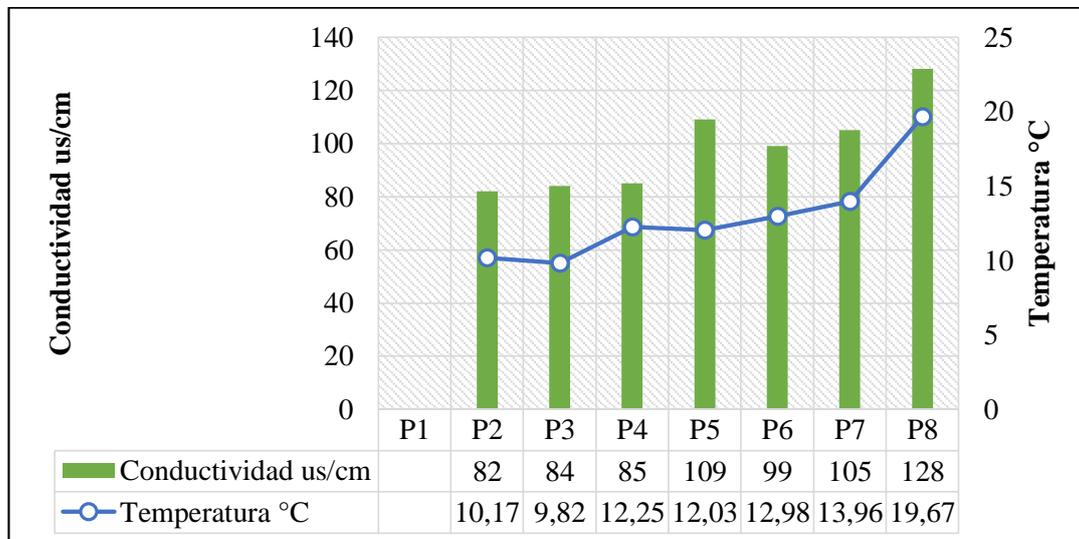


Figura 39. Resultados conductividad y temperatura.

Fuente: (Los autores, 2020)

Los resultados de la figura 38 demuestran que la conductividad del agua aumenta progresivamente desde la muestra P2 hasta la muestra P8, es decir, que cada muestra incrementa la concentración de electrolitos en el agua a causa de las sustancias disueltas como son los compuestos alcalinos, carbonatos y cloruros.

Se aprecia que existe un incremento considerable de conductividad desde la muestra P3 que pertenece a la muestra que ingresa a los procesos de filtración FGAC y FLA respecto a la muestra P5 que corresponde a una muestra de agua potable tomada en el tanque de almacenamiento. De la misma manera hay una alteración de la conductividad entre la muestra P6 que hace referencia a la salida de la planta clorificadora hasta la muestra P8 que pertenece a la última conexión domiciliaria.

Estos incrementos se deberían a la desinfección del agua con hipoclorito de sodio y calcio, además, de la temperatura del agua, lo cual demuestra que la conductividad y la temperatura son directamente proporcionales mientras la temperatura del agua aumenta la conductividad eléctrica también lo hace, debido a la facilidad de los compuestos disueltos en el agua a transformarse en electrolitos a temperaturas altas.

Las normativa ecuatoriana INEN 1108:2020 y el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1 no establecen límites máximos permisibles de la conductividad, sin embargo, normativas internacionales, como el caso de Colombia en su resolución 2115 del 2007 indica que el valor máximo permisible de conductividad, debe ser menor o igual a 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, mientras que el Consejo de la Unión Europea sobre calidad de agua establece en 1998 un límite máximo de 2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ vigente hasta la actualidad, lo cual demuestra que los resultados obtenidos de este parámetro son bajos y cumplen con límites máximos permisibles de estas normativas.

Conductividad y Sólidos Totales Disueltos

En la figura 40 se visualizan la relación entre los parámetros conductividad y sólidos totales disueltos.

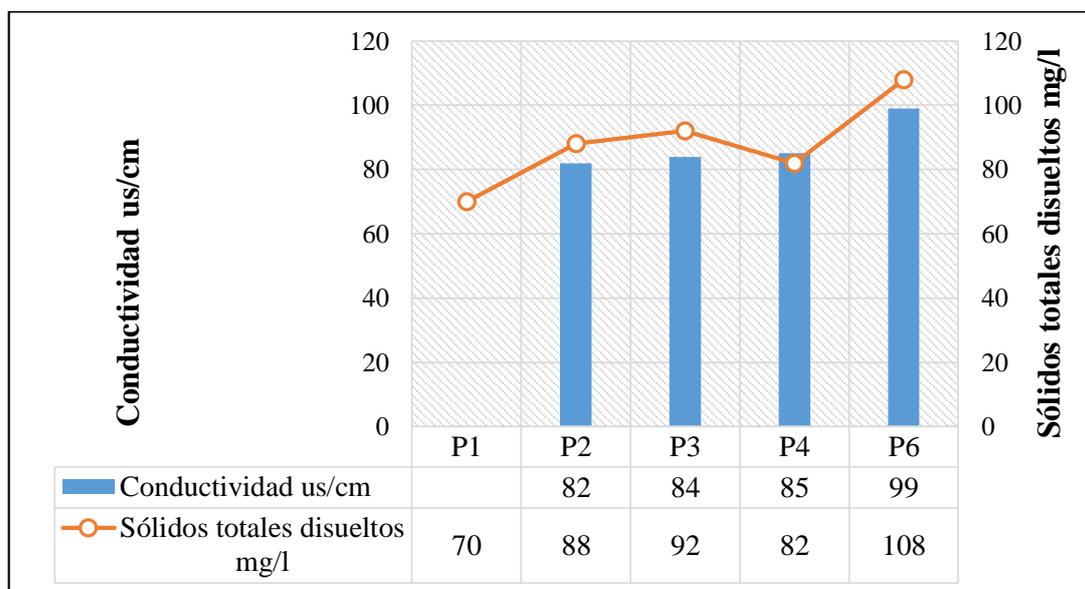


Figura 40. Relación conductividad y sólidos totales disueltos.

Fuente: (Los autores,2020)

Los resultados de conductividad determinados en campo y de los ensayos de laboratorio de sólidos totales disueltos arrojan valores similares, debido a que el parámetro de la conductividad eléctrica, determina un resultado aproximado de concentración de los sólidos totales disueltos en una muestra de agua. Como se aprecia en la figura 39, los resultados de sólidos totales disueltos y de la conductividad eléctrica se relacionan proporcionalmente, es decir, mientras mayor es la conductividad en el agua existirá mayor concentración de sólidos totales disueltos y viceversa si disminuye la conductividad la concentración de sólidos totales disueltos también lo hará.

Turbidez

En la figura 41 se presentan los resultados de la medición *in situ* del parámetro Turbidez.

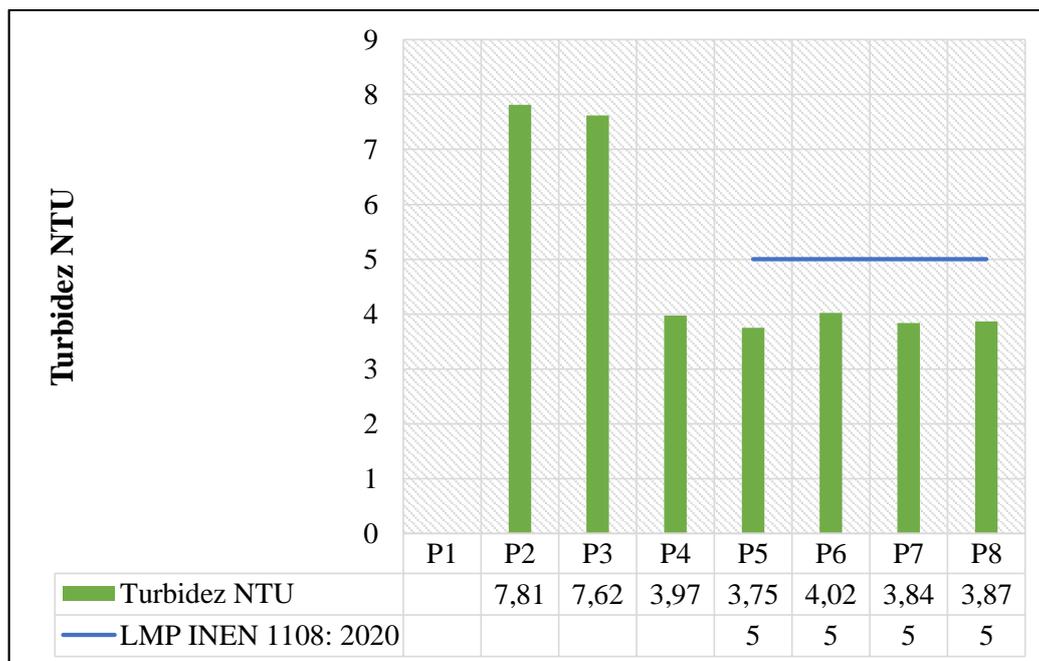


Figura 41. Resultados turbidez.

Fuente: (Los autores,2020)

Los resultados obtenidos del parámetro turbidez indican que las muestras P2, P3 y P4 se encuentran dentro de los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, que da un valor máximo de 100 NTU. Los bajos valores de turbidez en el agua cruda se deben a la poca presencia de material y partículas en suspensión en la fuente. Por otra parte, las muestras P5, P6, P7 y P8 cumplen con la norma INEN 1108:2020 de requisitos del agua para consumo humano, ya que los valores obtenidos de turbidez se encuentran por debajo del valor máximo admisible de esta norma la cual es de 5 NTU.

Se aprecia que este parámetro va disminuyendo paulatinamente, debido a los procesos de pretratamiento y de filtración FGAC y FLA. Sin embargo, la muestra P6 que presenta un pequeño incremento de turbidez que se relaciona directamente con la Planta Clorificadora, ubicada en un tramo de la red de distribución del agua, la cual efectúa filtración rápida y desinfección con hipoclorito de calcio al agua. Esto indica inconvenientes en la operación o el mantenimiento de este componente de tratamiento adicional.

Turbidez y Sólidos Suspendidos

La relación entre los parámetros turbidez y sólidos suspendidos se aprecia en la figura 42.

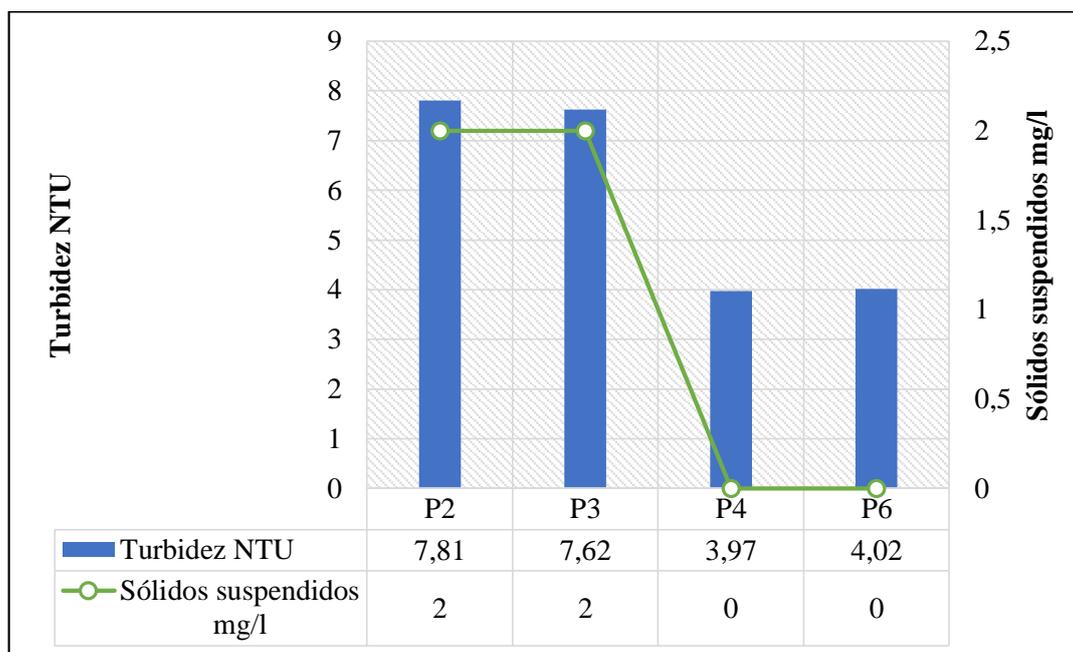


Figura 42. Relación turbidez y sólidos suspendidos.

Fuente: (Los autores,2020)

Los sólidos suspendidos no se encuentran dentro de los criterios de la calidad del agua para consumo humano, sin embargo, es un parámetro que permite determinar la cantidad de partículas y material en suspensión en una muestra de agua. Los resultados indican que la concentración de sólidos suspendidos es baja incluso llegando a los 0 mg/l para las muestras P4 y P6, esta reducción de concentración se debería a los procesos de filtración lenta y rápida.

Se observa que la relación entre la turbidez y los sólidos suspendidos es directamente proporcional, ya que al existir mayor cantidad de materia suspendida en el agua, la turbidez aumenta y si hay un decremento de material en suspensión en el agua la turbidez tiende a disminuir.

Sin embargo, los resultados de estos parámetros demuestran concentraciones bajas que se hallan dentro de los límites máximos permisibles en el caso de la turbidez. Esto indicaría que no existe alguna alteración a la calidad del agua del barrio Aglla por parte de los parámetros turbidez y sólidos suspendidos.

Color aparente

En la figura 43 se detallan los resultados del parámetro color aparente.

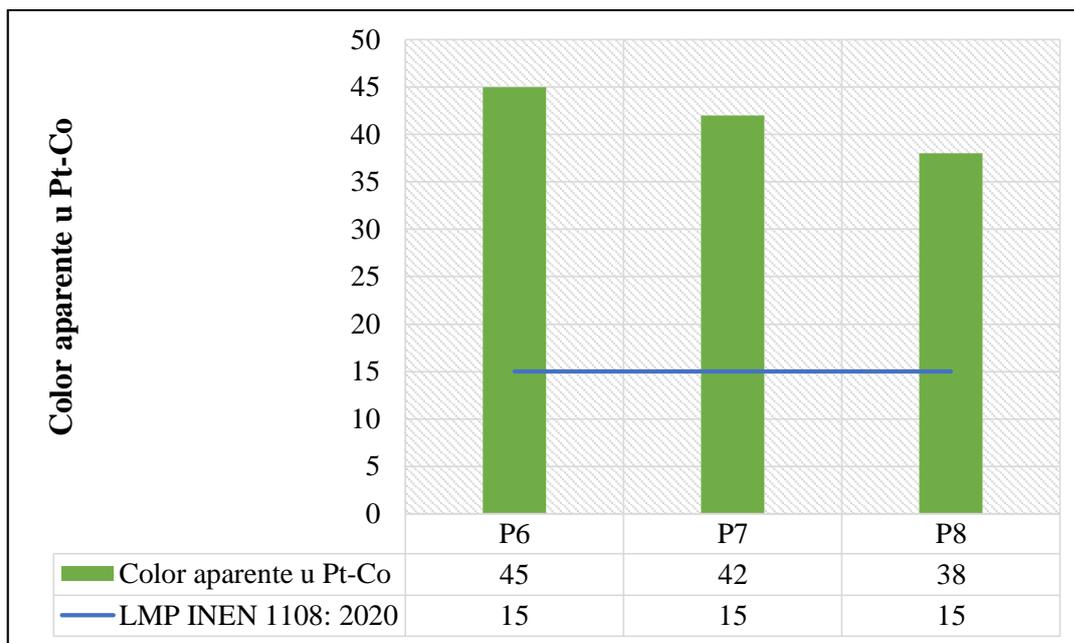


Figura 43. Resultados color aparente.

Fuente: (Los autores, 2020)

Los resultados obtenidos de color aparente de las muestras P6, P7 y P8 no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la norma INEN 1108:2020 de agua potable, la cual establece 15 u Pt-Co como valor máximo, estos resultados se relacionan con los obtenidos de sólidos disueltos y suspendidos, dado que son la principal razón de que el color aparente aumente en el agua.

Por esto se determina que los procesos de filtración FGAC, FLA y el filtro rápido ubicado dentro de la planta clorificadora del sistema de tratamiento no son suficientes para que la concentración de color aparente se encuentre por debajo del límite máximo permisible de la norma INEN 1108:2020.

Además, cabe mencionar que uno de los factores que aporta el color en el agua son los ácidos húmicos y fúlvicos que son fracciones de las sustancias húmicas que se producen y acumulan en el agua natural, estas sustancias sufren cambios químicos durante los procesos de desinfección que producen subproductos nocivos para la salud humana.

Para evitar el riesgo de generación de subproductos de la desinfección según indica (Hanna Instruments, 2019) es importante añadir tratamientos adicionales previos a la desinfección como son: carbón activo, ozono y radiación.

Color real

Los resultados del parámetro color real se detallan en la figura 44.

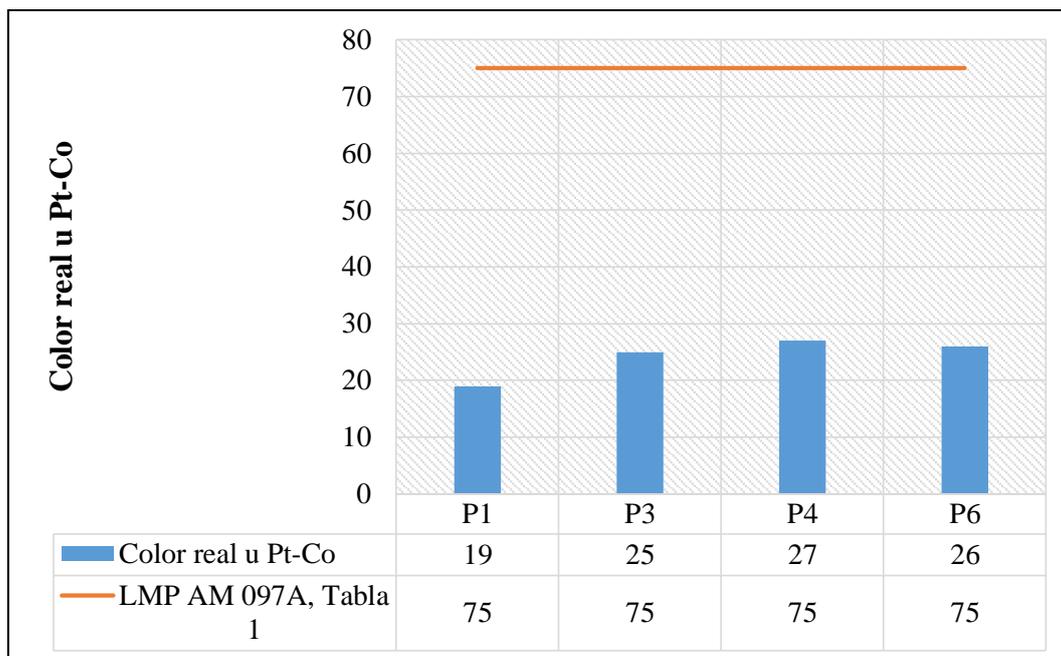


Figura 44. Resultados color real.

Fuente: (Los autores, 2020)

Como se aprecia, los resultados obtenidos de color real, demuestran que las muestras P1, P3, P4 y P6 cumplen con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, el cual determina como valor máximo 75 u Pt-Co. Se observa que la muestra P6, señala un valor de 26 u Pt-Co para color real, mientras que para color aparente se obtuvo un valor de 45 u Pt-Co como lo señala la figura 42. Esto significa que las sustancias que aportan el color al agua, se encuentran de forma soluble para el caso de esta muestra.

Las muestras analizadas tienden a incrementar su color real, esto se debe a que los procesos de filtración FGAC, FLA y del filtro rápido de la planta clorificadora tienen una inadecuada limpieza y mantenimiento, lo que a su vez provoca el incremento de sustancias solubles en el agua.

Oxígeno disuelto

La figura 45 detalla los resultados de determinación en campo del parámetro oxígeno disuelto.

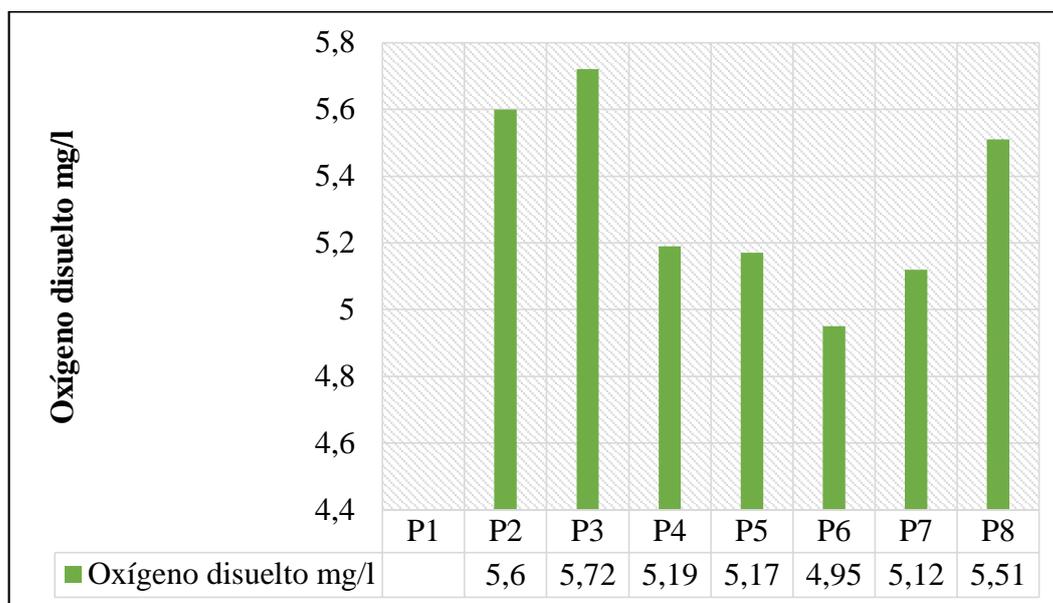


Figura 45. Resultados oxígeno disuelto.

Fuente: *(Los autores,2020)*

Los resultados del parámetro oxígeno disuelto expuestos en la figura 44, demuestran valores que varían mínimamente desde los 4,95 mg/l hasta los 5,51 mg/l. Estas cantidades de oxígeno disuelto se deberían a la variabilidad de la altitud así como la temperatura del ambiente. Los resultados de oxígeno disuelto para las muestras P2, P3 y P8 indican la escasez de microorganismos y de materia orgánica en el agua, dado que estos dos factores son la principal causa de reducción del oxígeno disuelto debido a la respiración de las bacterias que oxidan la materia orgánica presente.

La muestra P3 que corresponde a la salida de la bifurcación, tiene la mayor concentración de oxígeno disuelto, esto se debe a que la temperatura del agua de esta muestra fue la más baja de todas, puesto que a menor temperatura mayor es la concentración de oxígeno disuelto en el agua, además de que existe mayor transferencia del ambiente al agua debido a que esta recorre por un canal de hormigón que divide el caudal para dos comunidades.

Según (Monge, 2017), señala que el incremento de oxígeno disuelto en el agua también se provoca por el cambio de la pendiente de las líneas de conducción y distribución del agua, lo cual es veraz, ya que las muestras aumentan o disminuyen su valor de oxígeno

disuelto a lo largo del sistema de abastecimiento, igualmente que en condiciones de temperatura alta y de baja presión, el oxígeno se libera en mayor proporción.

En la figura 46 se detalla la relación entre la temperatura del agua y el porcentaje de oxígeno de saturación.

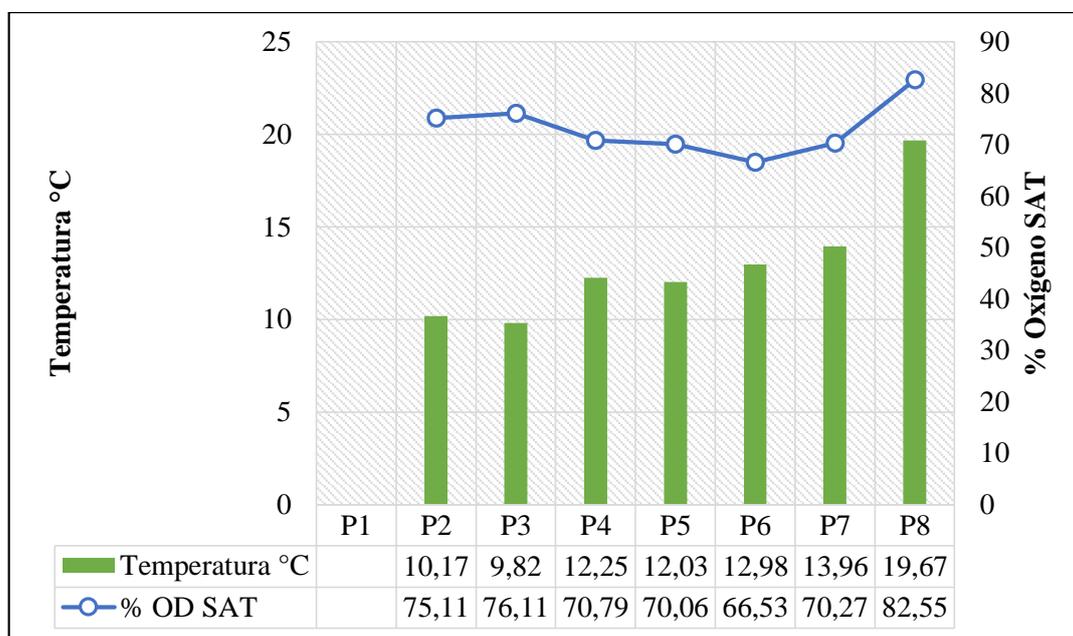


Figura 46. Relación temperatura y % Oxígeno de SAT.

Fuente: (Los autores,2020)

Como se aprecia en la figura 48, existe una relación indirectamente proporcional, es decir, si la temperatura del agua aumenta el porcentaje de oxígeno de saturación disminuye, a excepción de las muestras P7 y P8 donde claramente el porcentaje de oxígeno aumenta junto con la temperatura. Estas relaciones se deberían a que cada muestra de agua fue analizada en distinta elevación, presión atmosférica y temperatura.

El acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, no considera el oxígeno disuelto dentro de sus criterios de calidad de agua para consumo humano, anteriormente el Libro VI, Anexo I del TULSMA señalaba que el oxígeno disuelto no debía ser menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a los 6 mg/l. Lo cual demuestra claramente que las muestras P2, P3 y P4 no cumplen con este requerimiento, sin embargo, según lo expuesto por (Brenes & Molina, 2012) los valores obtenidos de porcentaje de saturación de oxígeno, se encuentran dentro los niveles aceptables de oxígeno disuelto para fuentes de agua natural, ya que estos valores se sitúan en el rango aceptable de 60 a 79% respectivamente.

Potencial Hidrógeno

En la figura 47 se especifican los resultados conseguidos de la medición *in situ* del parámetro potencial hidrógeno.

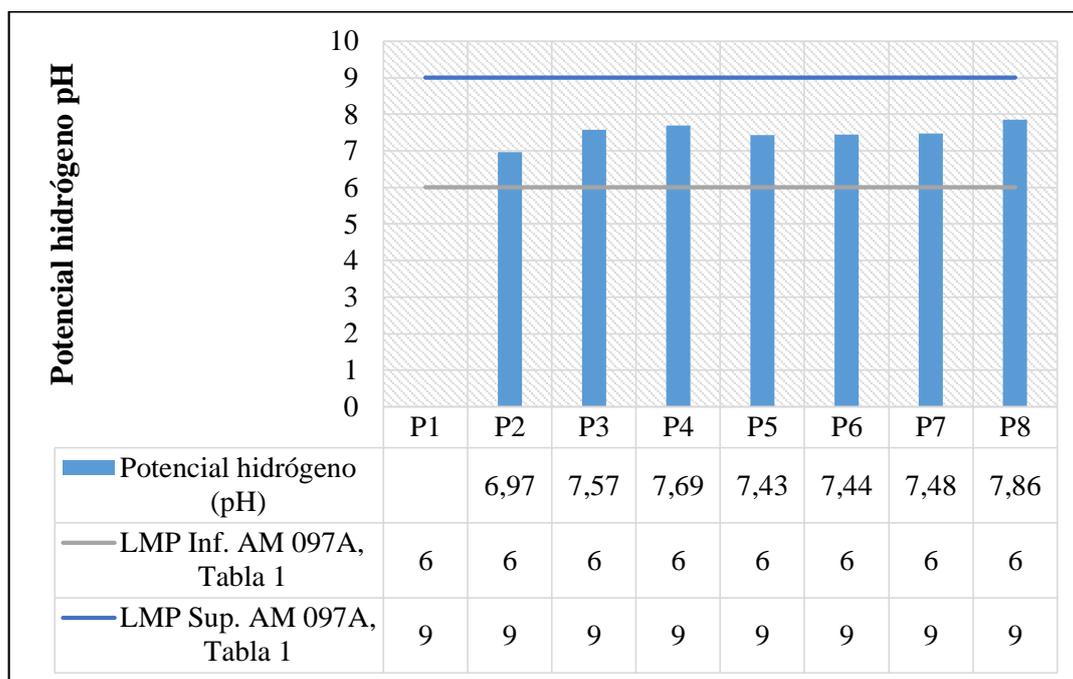


Figura 47. Resultados Potencial hidrógeno (pH).

Fuente: (Los autores,2020)

Los resultados de este parámetro demuestran que las muestras P2, P3 y P4 cumplen con el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, ya que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, 6 a 9.

Los valores de pH se encuentran en el rango de 6.97 a 7.86, lo cual indica que las muestras de agua varían de un pH casi neutro a un pH medianamente básico. Estos resultados son favorables, puesto que valores bajos de pH causan problemas de corrosividad y manchas en las tuberías, además, disminuyen la eficacia de los desinfectantes de cloro.

Por otra parte, la norma INEN 1108:2020 establece que el valor de pH debe situarse en el rango de 6.5 a 8.0. Esto demuestra que las muestras de agua tratada P5, P6, P7 y P8 también cumplen con este requerimiento. Mientras que (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015) afirma que el pH debe estar en el rango de 6.5 a 9, fundamentalmente porque estos valores de potencial hidrógeno mantienen la integridad de las tuberías y prolonga la vida útil de una red de distribución de agua

En la figura 48 se muestra la relación que existe entre el parámetro potencial hidrógeno pH y la temperatura del agua.

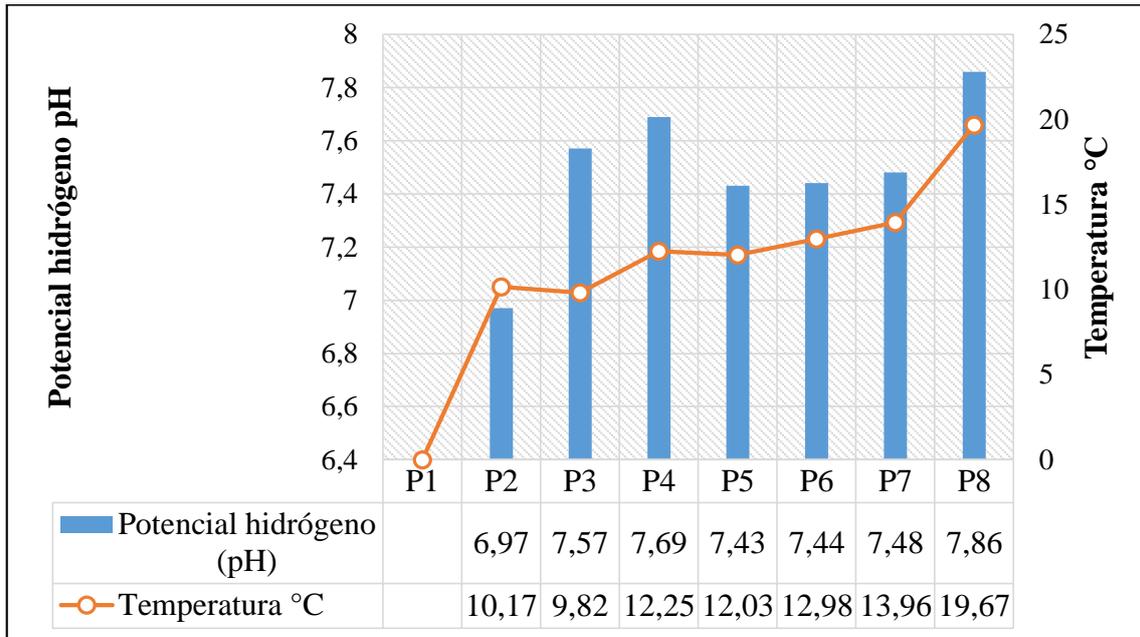


Figura 48. Relación Potencial hidrógeno (pH) y temperatura.

Fuente: (Los autores,2020)

Como se aprecia el pH y la temperatura tienen una relación directamente proporcional, es decir, al haber un incremento de temperatura en el agua, el pH también aumenta su valor. No obstante, (Lozano-Rivas, 2013) indica que si la temperatura aumenta el pH decrece debido al incremento de vibraciones moleculares en el agua las cuales forman más iones de hidrógeno que ocasionan la disminución de potencial hidrógeno.

Otro factor, que produce el incremento de potencial hidrógeno son los materiales de los lechos filtrantes de los procesos de filtración del sistema de tratamiento de Aglla, ya que la arena y grava aportan pequeñas cantidades de alcalinidad al agua.

Dureza total

A continuación, en la figura 49 se detallan los resultados adquiridos para el parámetro dureza total.

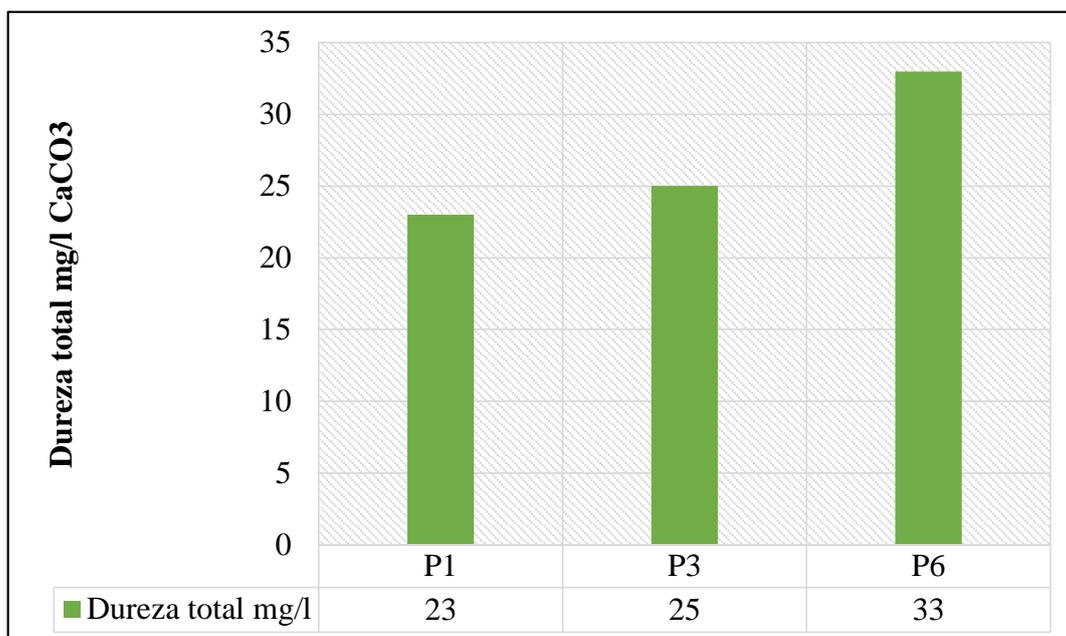


Figura 49. Resultados Dureza Total.

Fuente: (Los autores,2020)

La concentración de la dureza total en los puntos analizados se encuentra en el rango de 23 a 33 mg/l CaCO_3 , razón por la cual el agua que ingieren en esta localidad se considera como blanda. Según la clasificación de la OMS, el agua es blanda si la concentración de la dureza está dentro del rango de 0 a 60 mg/l CaCO_3 . Estos resultados también demuestran la poca presencia de minerales disueltos en el agua como son las sales de magnesio y calcio.

El TULSMA antes de su reforma consideraba la dureza dentro de sus criterios de calidad de agua para consumo humano, el cual señalaba que el valor máximo permisible era de 300 mg/l CaCO_3 . Por su parte las normativas europeas permiten valores de dureza de hasta 500 mg/l CaCO_3 , mientras que la OMS señala como valor de concentración máxima deseable de hasta 100 mg/l CaCO_3 (World Health Organization, 2017).

Tomando como referencia los valores máximos permisibles de las normativas anteriormente señaladas, se llega a la determinación que las muestras P1, P3 y P6 cumplen con todas estas, puesto que los valores obtenidos en el análisis están muy por debajo de lo sugerido, sin embargo, el incremento de la concentración de la dureza en las muestras de agua analizadas se debería a la limpieza y mantenimiento de los lechos filtrantes de los procesos FGAC, FLA y Planta Clorificadora, además que los filtros

FGAC y FLA no están diseñados para disminuir la concentración de la dureza en el agua.

Dureza cálcica

En la figura 50 se aprecia los resultados del parámetro dureza cálcica.

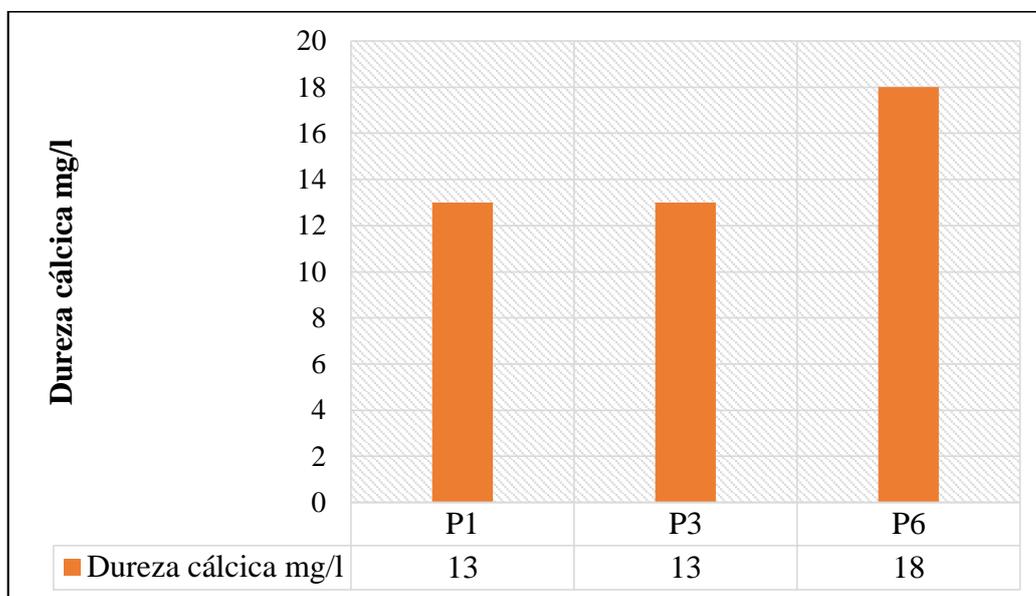


Figura 50. Resultados Dureza cálcica.

Fuente: (Los autores,2020)

Los resultados demuestran que la dureza del agua en las muestras P1, P3 y P6 está dada por la cantidad del mineral del calcio disuelto en el agua, esto se debería a la conducción del agua que en su mayoría es por zanjas, la cual atraviesa por suelos y pastos donde probablemente existe mayor cantidad de calcio que de magnesio presente, igualmente los resultados de dureza cálcica indican que el agua no produce incrustaciones en las tuberías de las redes de conducción y distribución, así como no complica la disolución de detergentes.

Cloro libre residual

Los resultados de cloro libre residual se aprecian en la figura 51.

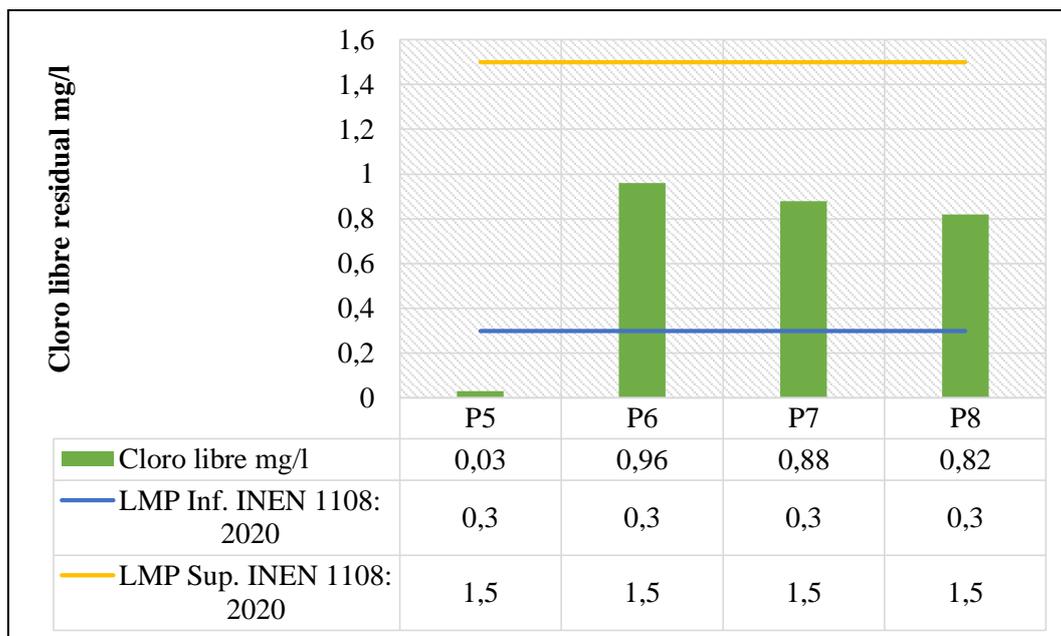


Figura 51. Resultados Cloro libre residual.

Fuente: (Los autores,2020)

Se identifica que los valores obtenidos en el análisis cumple con los límites permisibles de la norma INEN 1108:2020, la cual señala el rango de concentración permisible de 0.3 a 1.5 mg/l, sin embargo, la muestra P5 presenta un valor que esta fuera del rango recomendado por la norma INEN 1108:2020, esto se debería a que la muestra fue tomada del tanque de almacenamiento donde el agua fue desinfectada con hipoclorito de sodio el día anterior a su toma, mientras que el desinfectante es preparado a diario por el equipo Clorid-SA.

La muestra P6 presenta la concentración más alta de cloro libre residual, puesto que esta muestra fue tomada en la mañana inmediatamente tras la preparación y dosificación del desinfectante de hipoclorito de calcio en la planta clorificadora, esto además, demuestra que el desinfectante hipoclorito de calcio añadido en el agua continúa eliminando microorganismos patógenos en las redes de distribución, ya que se aprecia que las muestras P7 y P8 que pertenecen a los domicilios del sector presentan aún concentraciones de cloro libre residual, lo que significa que la mayoría de los microorganismos peligrosos presentes en el agua fueron eliminados y por lo tanto es seguro consumir esta agua.

Según (Quirós, 2005), sugiere que las redes de distribución del agua deben mantener pequeñas concentraciones de cloro libre residual, es decir desde los procesos de desinfección hasta las acometidas de los consumidores con el propósito de mejorar la eficacia de desinfección del agua. Las muestras de agua analizadas cumplen con este requerimiento, ya que existen concentraciones de cloro libre residual a lo largo de las redes de distribución, lo cual garantiza la desinfección total del agua antes de su consumo.

Hierro total y Manganeseo

Los resultados de los parámetros de hierro total y manganeseo se detallan en la figura 52.

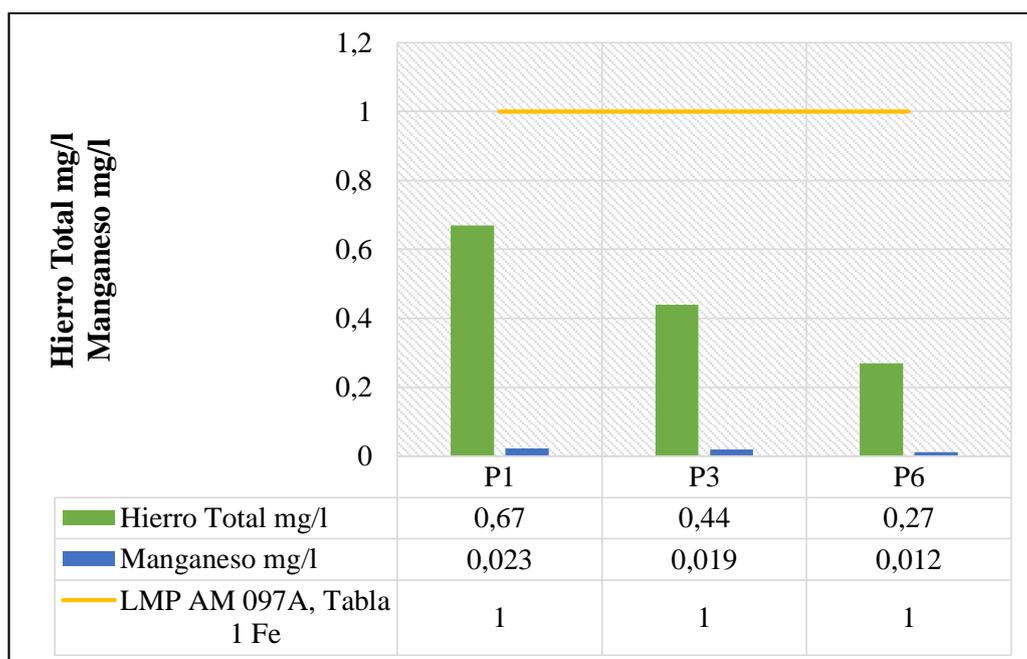


Figura 52. Resultados hierro total y manganeseo.

Fuente: (Los autores, 2020)

Los resultados de hierro total son relativamente bajos respecto al Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, el cual establece que la concentración de hierro en el agua debe ser de máximo de 1 mg/l. De igual forma los resultados de manganeseo se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la norma INEN 1108:2011 la cual considera que la concentración de manganeseo en el agua debe estar por debajo de 0.4 mg/l, razón por la cual las muestras analizadas cumplen con los requerimientos de hierro y manganeseo establecidos en estas normativas.

Las bajas concentraciones de hierro y manganeso en el agua, son un claro indicativo que estos elementos se encuentran en sus formas más estables no solubles, lo cual confirma la presencia de oxígeno y la inexistencia de condiciones anaerobias en el agua.

Estos resultados son favorables pues, al tener poca existencia de hierro y manganeso en el agua, se evitan obstrucciones en las tuberías y la acumulación de residuos en los tanques de presión generados por estos elementos, lo cual impide la reducción de la presión del agua en el sistema de tratamiento. Además, los valores obtenidos indican que las bacterias que se alimentan del hierro y manganeso son mínimas, debido a las bajas concentraciones de estos parámetros lo cual favorece los procesos de desinfección evitando que el agua tenga un sabor, olor y color indeseable antes de su consumo.

Nitrógeno Amoniacal

Los resultados del parámetro nitrógeno amoniacal se detallan en la figura 53.

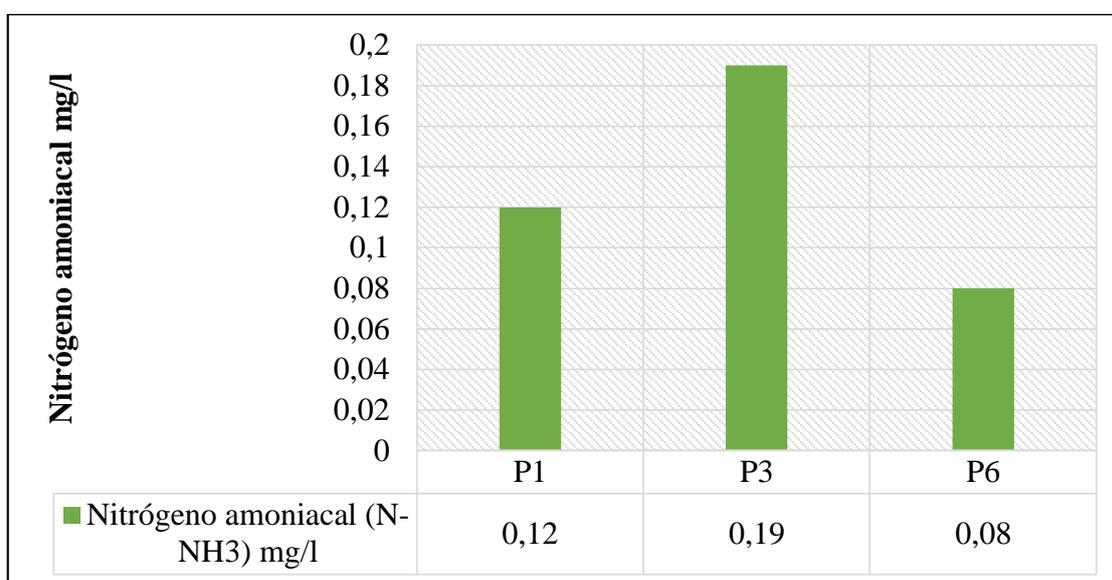


Figura 53. Resultados nitrógeno amoniacal.

Fuente: (Los autores, 2020)

El parámetro nitrógeno amoniacal no está considerado en el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, sin embargo, antes de la reforma del TULSMA este parámetro se consideraba dentro de los criterios de calidad de agua para consumo humano, el cual señalaba un límite máximo permisible de 1 mg/l de N-NH₃, por otra parte la normativa de calidad de agua para consumo humano mexicana sugiere un valor máximo permisible de hasta 0.50 mg/l de N-NH₃.

Al tomar como referencia los valores máximos permisibles de estas normativas, se concluye que los resultados obtenidos de nitrógeno amoniacal, cumplen con los límites máximos, puesto que las concentraciones de las muestras P1, P3 y P6 son bajas respecto a lo recomendado. La baja concentración de nitrógeno amoniacal en las muestras se debe claramente a la poca presencia de materia orgánica, degradada en el agua.

Nitratos y Nitritos

Los resultados de nitratos y nitritos se detallan en la figura 54.

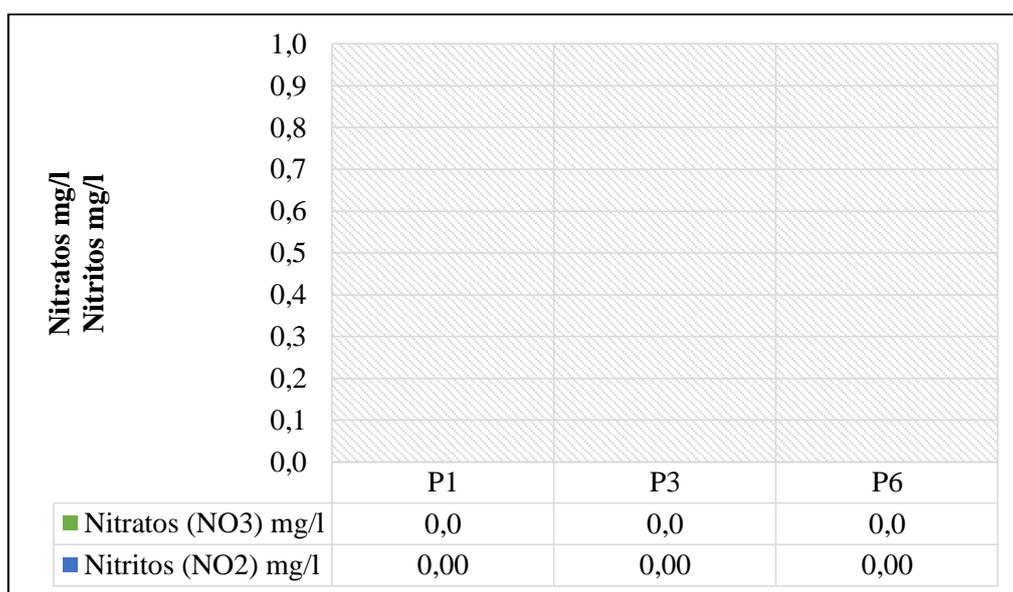


Figura 54. Resultados nitratos y nitritos.

Fuente: (Los autores, 2020)

El Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, y la norma INEN 1108:2020 señalan valores máximos admisibles del parámetro nitratos de 50 mg/l, al tomar como referencia estos valores se llega a la determinación que las muestras de agua P1, P3 y P6 cumplen con las normas expuestas, puesto que los resultados de nitratos obtenidos en el laboratorio detallan un valor de 0 mg/l, enfatizando en que los resultados obtenidos en el laboratorio se encuentran bajo el límite de cuantificación < 3.3 mg/l, como se muestra en las Tablas 17 y 18.

Para el caso de nitritos la normativa INEN 1108:2020 recomienda que el límite máximo permisible de este parámetro no debe exceder los 3 mg/l, mientras que el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, señala que la concentración de nitritos no deber ser mayor a 0.2 mg/l, por otra parte, los resultados de nitritos de las muestras P1, P3 y P6 señalan el valor de 0 mg/l, recalando en que los resultados obtenidos en el laboratorio se

encuentran bajo el límite de cuantificación <0.06 mg/l, como se indica en las Tablas 17 y 18. Sin embargo, se demuestra que el agua cumple con los parámetros de nitritos y nitratos, dado que los resultados cumplen con los límites máximos permisibles de las normas anteriormente señaladas.

Los resultados de nitratos y nitritos indican que el agua tiene baja cantidad de materia orgánica disuelta, además, de que las actividades pecuarias y agrícolas del sector no infringen en el aumento de la concentración de estos parámetros, dado que en las zonas rurales estas actividades son las responsables de aumentar los niveles de nitrógeno orgánico en el agua. Por otra parte, (Schmidt P et al., 2017), en su investigación indican que las bajas concentraciones de nitratos y nitritos en el agua evitan la generación de problemas en la salud humana, lo cual demostraría que el agua de la comunidad de Aglla al carecer de estos parámetros puede ser consumida normalmente sin que exista el riesgo a la salud de sus habitantes, por parte de estos compuestos.

Fosfatos

En la figura 55 se detalla los resultados del parámetro fosfatos.

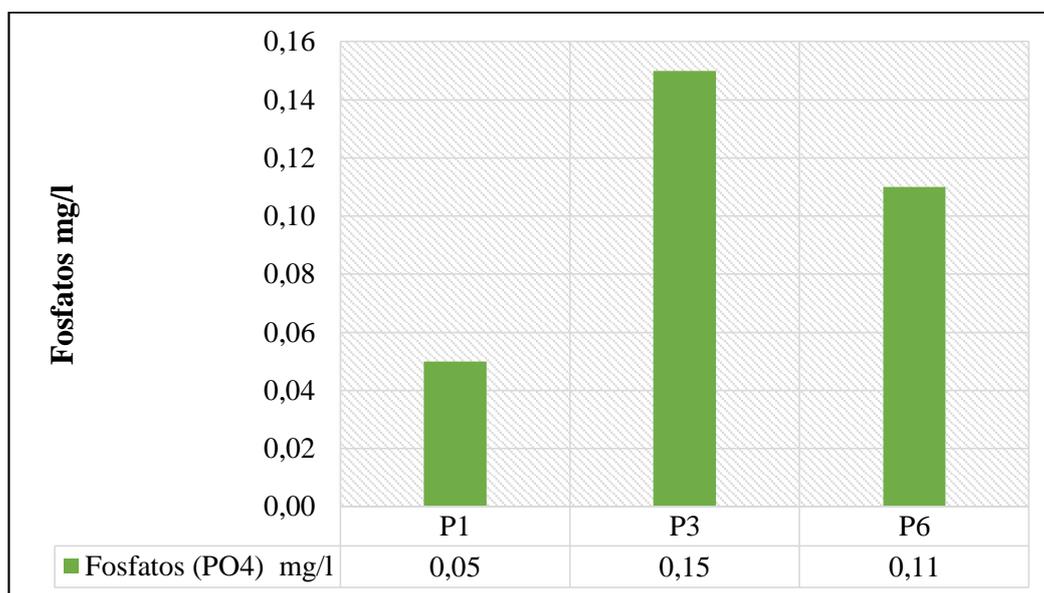


Figura 55. Resultados fosfatos.

Fuente: (Los autores, 2020)

El parámetro fosfatos no se encuentra establecido dentro de los criterios de calidad de agua de consumo humano del Acuerdo 097-A Tabla 1, ni de la norma INEN 1108:2020, no obstante, es un parámetro de interés, debido a que afecta en la contaminación del agua cruda.

Los resultados indican que la concentración de fosfatos se encuentra en el rango de 0.10 a 0.15 mg/, lo cual es aceptable, puesto que no se presentan valores considerablemente altos que afecten la calidad del agua de manera significativa, claramente se aprecia que las actividades agrícolas y pecuarias del sector no infringen en el incremento de fosfatos en el agua. Además, los valores obtenidos de concentración de fosfatos impiden el crecimiento de las algas lo cual evita la generación de la eutrofización en el agua.

Coliformes totales y fecales

El valor obtenido de coliformes totales y fecales en todas las muestras analizadas fue <1,1 NMP/100 ml.

La expresión < 1,1 NMP/100 ml corresponde a la ausencia de coliformes (INEN 1108, 2020), de manera que se utilizó 10 tubos de 10 ml donde ninguno fue positivo, lo cual significa que los ensayos por técnica de fermentación por tubos múltiples para la determinación del NMP en todas las muestras analizadas resultaron negativos.

El Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, establece como límite máximo permisible 1000 NMP/100 ml para coliformes fecales, con lo cual se determina que la muestra P1 cumple con este requerimiento, puesto que corresponde a una muestra de agua cruda, mientras que las muestras P5 a la P8 que pertenecen a muestras de agua potable la norma INEN 1108:2020 en su versión más actual establece que el límite permisible de coliformes fecales debe ser la ausencia, es decir <1,1 NMP/100 ml, por consecuencia las muestras de agua tratada cumplen con el requisito microbiológico de coliformes fecales de aquella norma.

Estos resultados indican que el agua carece de microorganismos del grupo coliforme desde su fuente de origen lo que quiere decir que la calidad de las fuentes de agua de esta localidad es buena y apropiada para el consumo humano, así como la eficiencia de los procesos de desinfección que estarían eliminando los microorganismos patógenos del agua.

Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Los resultados del análisis de los parámetros DQO se detallan en la figura 56.

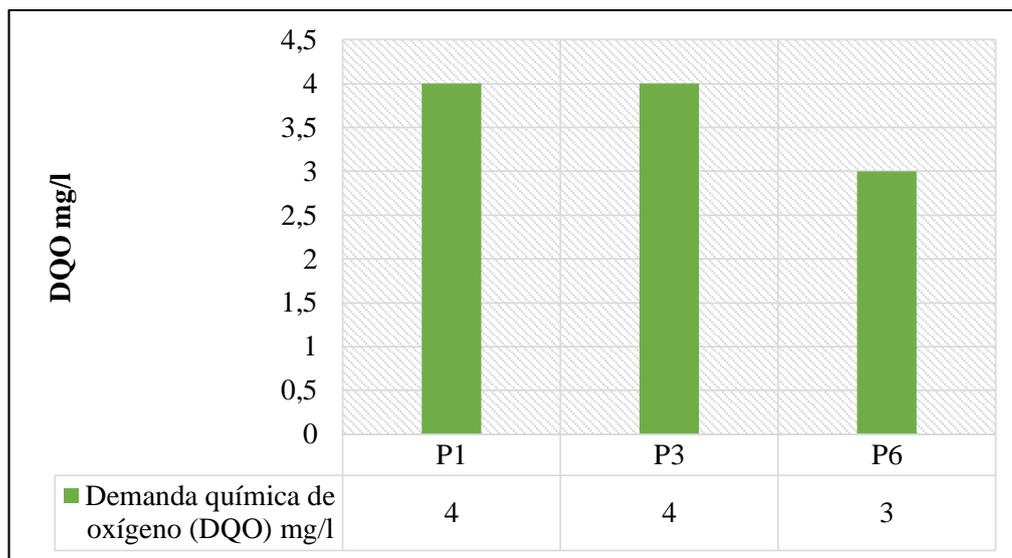


Figura 56. Resultados DQO.

Fuente: (Los autores, 2020)

Para el caso de DQO, el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1 establece una concentración < 4 mg/l como valor máximo admisible, sin embargo, los resultados del laboratorio señalan una concentración de DQO que varía entre de 4 a 3 mg/l en las muestras P1, P3 y P6 respectivamente, lo que significa que los resultados de este parámetro están dentro del límite máximo permisible del Acuerdo 097-A Tabla 1, no obstante la concentración de DQO no es tan elevada para alterar significativamente la calidad de las fuentes de agua, además los resultados de nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos demuestran que la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua es relativamente baja.

Cuando los valores de DQO son menores o iguales a 4 mg/l el laboratorio reporta directamente el valor de DBO₅ de < 2 mg/l, razón por la cual los resultados de las muestras P1, P3 y P6 indican el valor respectivo < 2 mg/l. Esto demuestra que las muestras analizadas se encuentran dentro del límite máximo permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, el cual señala que la concentración de DBO₅ debe ser menor que 2 mg/l. Esto significa que las sustancias orgánicas disueltas en las muestras de agua son muy bajas o simplemente no se degradan biológicamente, ya que los ensayos de microbiología demostraron la poca presencia de microorganismos del grupo coliforme en el agua.

3.2 Análisis de Resultados con las Normativas Vigentes

Los resultados obtenidos *in situ* y laboratorio fueron comparados con el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1 (Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico), con la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 1108: 2020) de requisitos del agua potable y con algunos criterios de calidad del agua de organismos internacionales.

En la Tabla 20 se aprecia una comparación de criterios de calidad del agua para consumo humano, entre las normativas ecuatorianas vigentes y algunos organismos internacionales.

Tabla 20. Criterios de calidad del agua para consumo humano.

Parámetros	NTE INEN 1108:2020	Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 1	EPA	OMS
Oxígeno disuelto (% Saturación)	-	-	-	-
Nitritos (mg/l)	3	50	10	50
Nitratos (mg/l)	50	50	10	50
Coliformes totales (NMP/100ml)	-	-	-	-
Coliformes fecales (NMP/100ml)	Ausencia	1000	-	-
Temperatura (°C)	-	-	-	-
pH	6,5 - 8,0	6 – 9	6,5 - 8,5	6,5 - 9,2
Dureza (mg/l)	-	-	-	500
Cloruros (mg/l)	-	-	-	250
Hierro (mg/l)	-	1	0,3	1
Manganeso (mg/l)	-	-	0,05	0,4
Sulfatos (mg/l)	-	500	-	-
Color (u Pt-Co)	15	75	15	-
Turbidez (NTU)	5	100	-	5

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015) (INEN 1108, 2020) (Mite et al., 2016) (World Health Organization, 2006)

3.2.1 Análisis con el Acuerdo Ministerial 097-A 2015

A continuación, en la Tabla 21 se detallan los parámetros que se encuentran dentro o fuera de los límites máximos permisibles señalados en el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1 de las muestras P1, P2, P3 y P4 respectivamente.

Tabla 21. Resultados comparados con el Acuerdo Ministerial 097-A 2015.

Parámetros / Muestras	P1	P2	P3	P4	LMP Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 1	Observación
Coliformes Fecales NMP/100 ml	<1,1				1000	Cumple
Color real u Pt-Co	19		25	27	75	Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) mg/l	<2		<2		<2	Cumple
Demanda química de oxígeno (DQO) mg/l	4		4		<4	Cumple
Hierro Total mg/l	0,67		0,44		1,0	Cumple
Nitratos (NO ³⁻) mg/l	0,0		0,0		50	Cumple
Nitritos (NO ²⁻) mg/l	0,00		0,00		0,2	Cumple
Potencial hidrógeno (pH)	-----	6,97	7,57	7,37	6 – 9	Cumple
Turbidez NTU	-----	7,81	7,62	3,97	100	Cumple

Fuente: (Centro de Investigación y Control Ambiental) (Ministerio del Ambiente, 2015)

Los resultados obtenidos *in situ* y en el laboratorio del Centro de Investigación y Control Ambiental “CICAM”, al ser comparados con los criterios de calidad del Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, demuestran que la mayoría de estos se encuentran por debajo de los valores máximos permisibles a excepción de los resultados del parámetro DQO que se encuentran en el límite el criterio de calidad < 4mg/l. Sin embargo, la concentración de este parámetro no es tan elevada como para afectar considerablemente la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua, además, los resultados de DBO₅, OD y Nitrógeno Amoniacal indican que el agua tiene bajas cantidades de materia orgánica disuelta, así como de microorganismos.

Esto demostraría que las fuentes de agua no sufren de contaminación directa a causa de las actividades agrícolas o pecuarias del sector, a pesar de que la mayoría de la

conducción del agua desde su fuente de origen se realiza por medio de zanjas. Con lo cual se afirmaría que las fuentes de agua que se emplean para abastecer a la población del barrio de Aglla tienen buena calidad y pueden ser tratadas para el consumo humano según lo descrito en el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1.

3.2.2 Análisis con la norma INEN 1108:2020

En la Tabla 22 se detallan los parámetros que se encuentran dentro o fuera de los límites máximos permisibles indicados en la norma INEN 1108:2020 de las muestras P5, P6, P7 y P8 respectivamente.

Tabla 22. Resultados comparados con la Norma INEN 1108:2020.

Parámetros Muestras	P5	P6	P7	P8	LMP INEN 1108:2020	Observación
Cloro libre mg/l	0,03	0,96	0,88	0,82	0,3 a 1,5	Cumple
Coliformes Fecales NMP/100 ml	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	Ausencia	Cumple
Color aparente u Pt-Co		45	42	38	15	No cumple
Nitratos (NO ³⁻) mg/l		0,0			50	Cumple
Nitritos (NO ²⁻) mg/l		0,00			3	Cumple
Potencial hidrógeno (pH)	7,43	7,48	7,44	7,86	6,5 - 8,0	Cumple
Turbidez NTU	3,75	4,02	3,84	3,87	5	Cumple

Fuente: (Centro de Investigación y Control Ambiental) (INEN 1108, 2020)

Los resultados de los parámetros examinados al compararlos con la norma INEN 1108:2020, demuestran que la mayoría de estos cumplen con los límites máximos permisibles, excepto del parámetro de color aparente el cual señala valores mayores a los límites máximos admisibles indicados en esta norma. Las concentraciones elevadas de color aparente surgen, por los problemas de limpieza y mantenimiento de los tanques de filtración, además no son componentes suficientes para remover color en el agua, debido a la ausencia de procesos adicionales previos a la filtración y desinfección. Cabe señalar que este parámetro no afecta en sí la calidad del agua potable simplemente es la estética o el grado de transparencia que el agua puede llegar a tener antes de su consumo. Por lo que en general se determina que la calidad del agua potable del barrio Aglla, es buena y apta para el consumo humano, más aún si cumple con los

requerimientos microbiológicos de coliformes que son los promotores de enfermedades hídricas en los seres humanos.

3.3 Evaluación de la Infraestructura

Caudal

Los resultados de la medición de caudal se detallan en la figura 57.

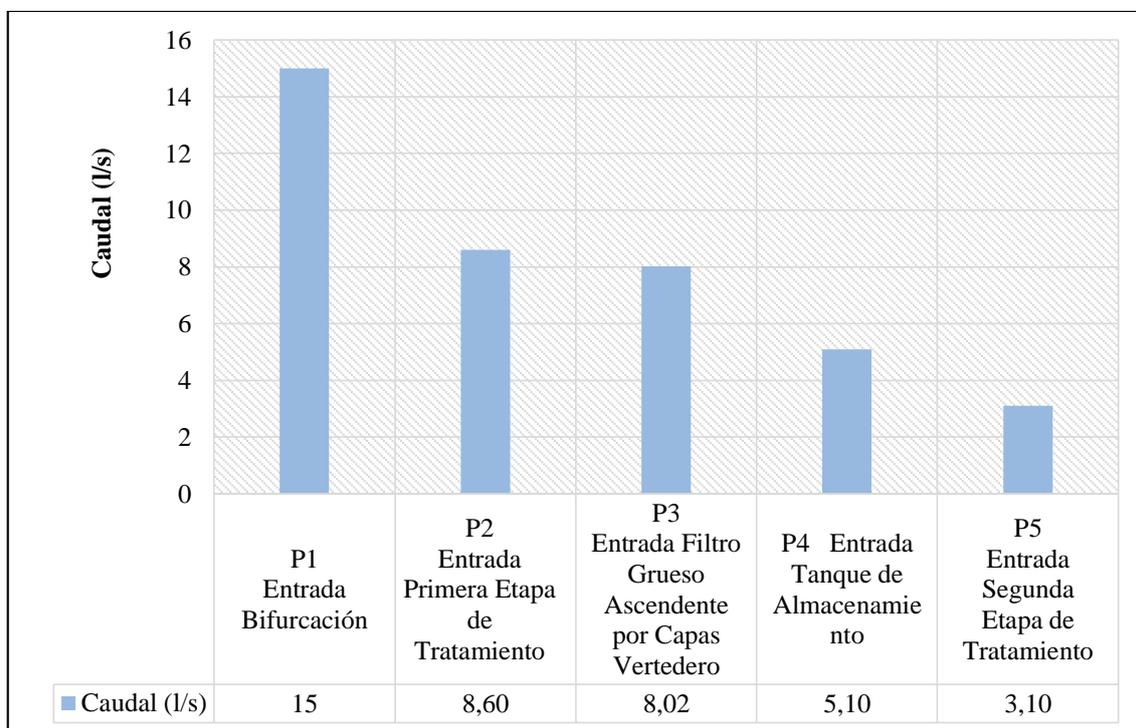


Figura 57. Resultados Caudal.

Fuente: (Los autores, 2020)

El caudal antes que se divida para las dos comunidades de Aglla y San Rafael es de 15 l/s, de modo que el gasto volumétrico que ingresa a la primera etapa de tratamiento de agua potable del barrio Aglla es de 8.60 l/s, la diferencia de caudal 6.4 l/s corresponde al caudal destinado para la comunidad de San Rafael.

En el sistema de tratamiento de agua potable del barrio Aglla, previo al ingreso del filtro grueso ascendente por capas se determinó el caudal sobre el vertedero triangular cuyo valor es de 8.02 l/s, similar al caudal que se midió en la tubería con el equipo del caudalímetro ultrasónico de 8.60 l/s, pero debido a la retención de cierta cantidad de agua en las capas sobrenadantes que se encuentran sobre los lechos filtrantes y la velocidad de filtración, se produce un efecto regulador en esta estructura, y se establece un caudal de 5.10 l/s a la entrada del tanque de almacenamiento. Además cabe mencionar, que en el sistema de abastecimiento de agua potable de Aglla existen

pérdidas del 40.7% según muestran los resultados. Este valor supera lo mencionado por la EPMAPS que determina un valor máximo de pérdidas del 25%.

El tanque de almacenamiento, constituye la reserva de agua tratada para la comunidad y regula el caudal que se debe distribuir, el caudal de distribución es de 5.10 l/s. Por otro lado, a lo largo de la red de distribución se encuentra la planta clorificadora, donde en la tubería de ingreso a esta unidad de tratamiento, se presenta un caudal de 3.10 l/s, debido a que en la red de distribución, se presentan tanques rompe presión en los que se encuentran la mayoría de las válvulas de control de nivel desgastadas y no existe una regulación de cierre automático del agua. El caudal que se desborda en los tanques rompe presión que se conduce mediante una tubería de desfogue es utilizada para el riego de plantas y consumo de animales.

En la Tabla 23 se observa las relaciones entre: La población actual y futura, caudal medio diario, caudal de distribución y el caudal total autorizado por la Secretaría del Agua “SENAGUA”.

Tabla 23. Resultados entre la población actual y futura de Aglla.

Año	Población (hab)	Q md (l/s)	Caudal de distribución (l/s)	Caudal total autorizado (l/s) Consumo Humano
2020	2258	5,58	5,10	2,336
2028	3714	9,17	5,10	2,336

Fuente: (SENAGUA, 2017)

La población de la comunidad de Aglla recibe actualmente un caudal de 5.10 l/s, sin embargo, del análisis de la población actual y futura, se determina que el caudal que requieren es de 5.58 l/s y se necesitará de 9.17 l/s para el año 2028, es decir, el déficit de agua que tienen actualmente es de 0.48 l/s y para un futuro de 4.07 l/s, de tal forma que el caudal de distribución no es suficiente para cubrir con el consumo de la población.

Por otra parte, el caudal total autorizado por la SENAGUA para consumo humano es de 2.336 l/s, de modo que el caudal que consume actualmente la población de Aglla, no cumple con lo establecido por la Secretaría del Agua.

- **Captación**

En la figura 58, se presenta las medidas de la estructura de la captación de tipo de toma lateral, cabe señalar que el esquema en planta y corte se lo consiguió mediante a la junta de agua de Aglla, en la que se muestra las dimensiones de la infraestructura en lo que se refiere al largo, ancho, altura total y profundidad de la captación.

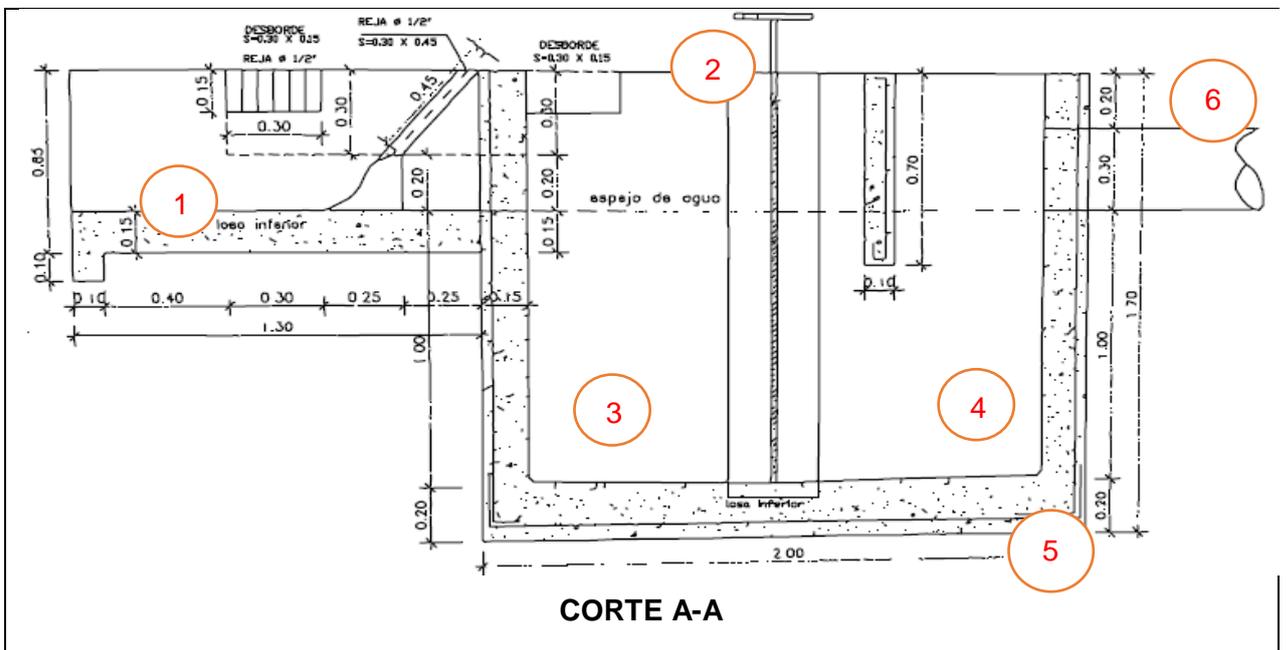
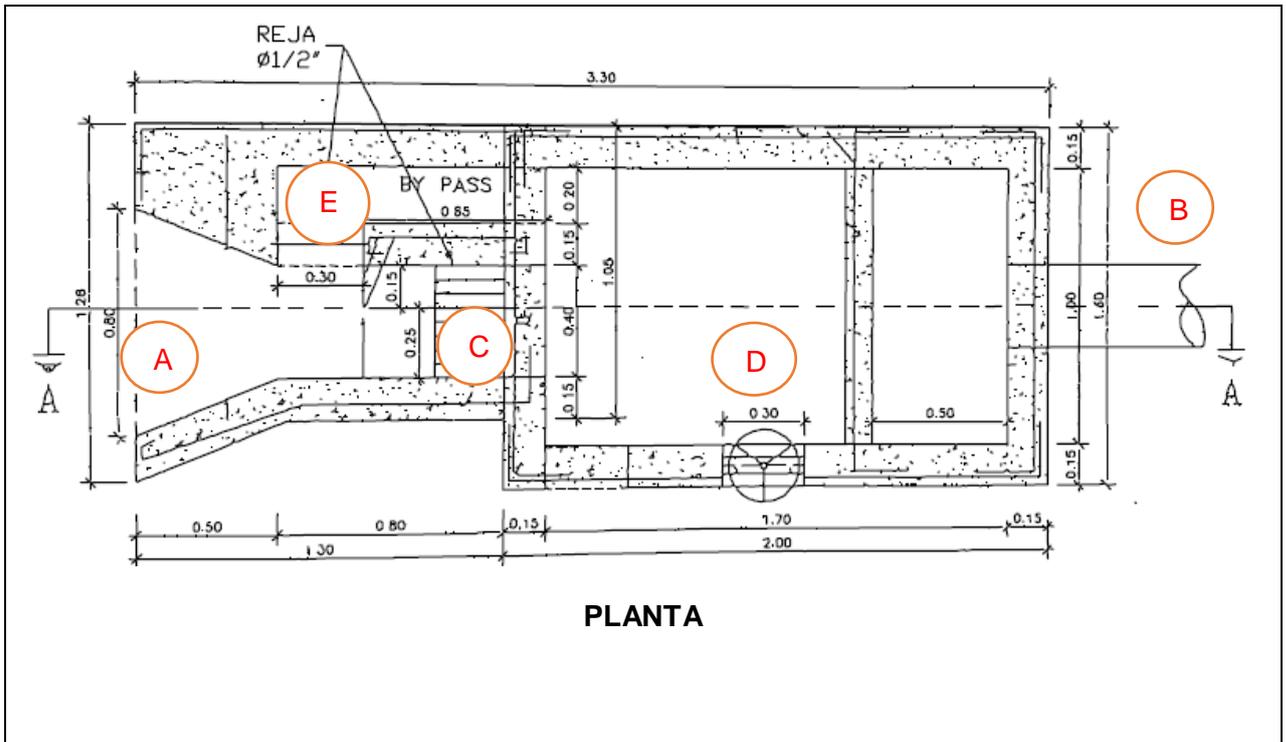


Figura 58. Vista en planta y corte captación.
Fuente: (Junta de Agua de Aglla, 2013)

Componentes de la infraestructura

Planta

- A. Transición de entrada
- B. Tubería de salida
- C. Reja
- D. Compuerta
- E. By-Pass

Corte A-A

1. Reja.
2. Compuerta
3. Desripiador
4. Tanque recolector
5. Estructura de concreto
6. Tubería de salida

La captación de agua que se utiliza en el barrio Aglla es del tipo toma lateral, en lo que respecta al diseño e infraestructura, que cumple con lo establecido por las fuentes bibliográficas de manera que cuenta con los elementos de: elevación del nivel del agua como el azud, control de sedimentos como la rejilla y desripiador, control del ingreso de agua como la compuerta y elementos estructurales como el muro de protección.

El elemento de control de sedimentos como el desripiador, si cumple con lo que indica la bibliografía técnica, ya que los sedimentos que lograron pasar la reja, se transportan por un canal de desfogue y se conecta nuevamente a la transición de entrada, cumpliendo con lo sugerido pues mediante este canal se lava periódicamente el material acumulado. También cabe mencionar que el desripiador, se lo construye dependiendo de las condiciones topográficas e hidráulicas.

Por otra parte, la estructura de la captación está realizada de hormigón.

Finalmente, este tipo de captación de toma lateral es la más empleada para captar el agua de un río de montaña, dadas las condiciones topográficas de la zona, el tipo de captación es el correspondiente para captar el agua de la vertiente de una montaña.

- **Canal de Aducción y Conducción**

En la figura 59, se presenta el perfil de conducción del barrio Aglla, realizado en base a los puntos GPS tomados en campo, excepto de la captación que se lo adquirió mediante la junta de agua de Aglla.

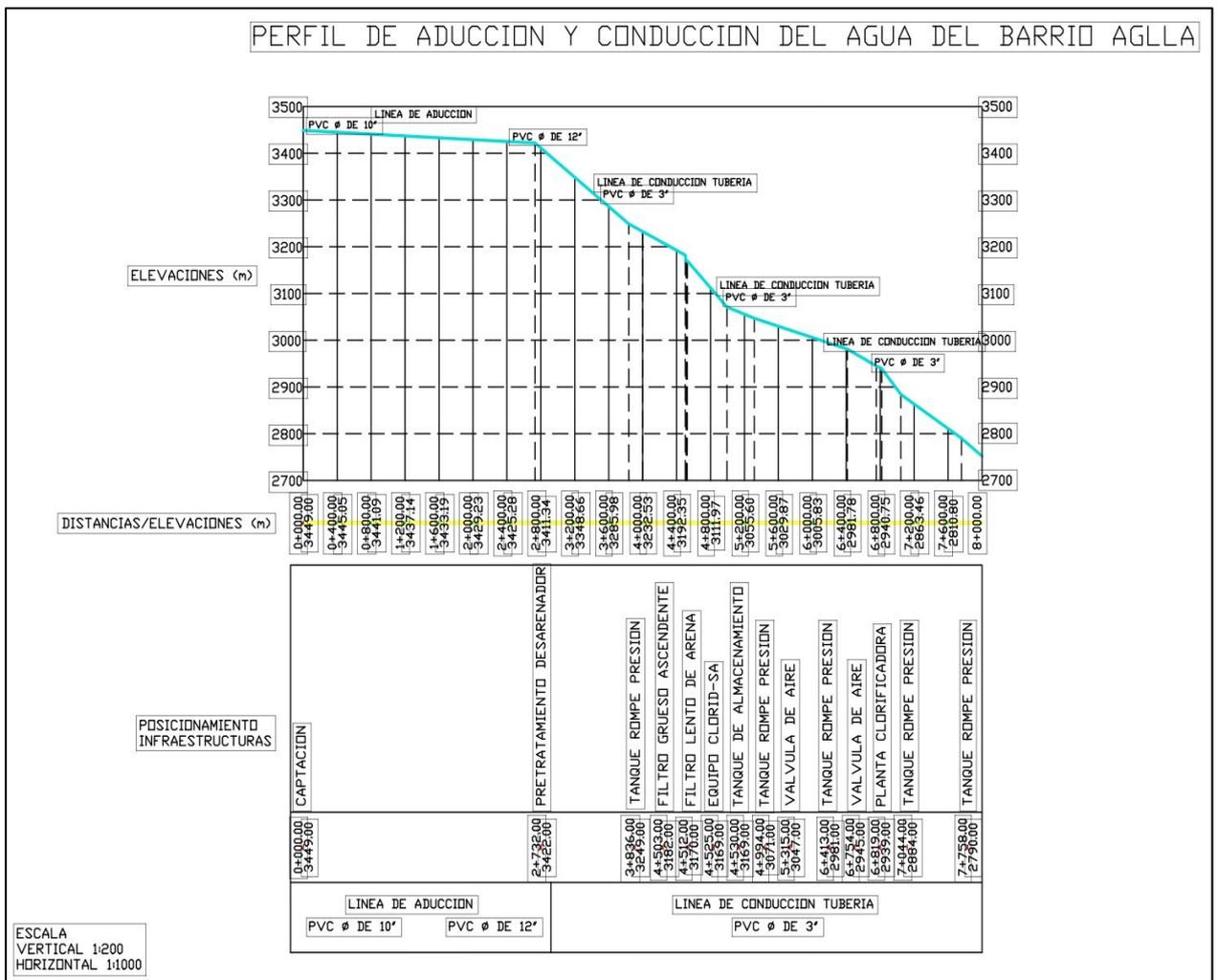


Figura 59. Perfil de aducción y conducción del barrio Aglla.

Fuente: (Los autores, 2020)

En el canal de aducción del barrio Aglla, existen tramos de canales abiertos y de tuberías desde la captación hasta el pretratamiento y desde esta estructura hacia el tanque de almacenamiento y a la red de distribución la conducción se realiza mediante tubería.

Cabe mencionar que los trayectos del canal abierto presentan diversas desventajas como lo menciona la bibliografía ya que, se producen pérdidas de agua por filtraciones y evaporación, perturbaciones en el canal por raíces de árboles o agujeros de roedores.

Además, el tipo de tuberías se encuentran dentro de las recomendaciones de conducción agua potable, debido a que el tipo de tuberías que se utiliza son de plástico de tipo PVC.

Por otra parte, los diámetros mínimos de la tubería que se localizan en la línea de conducción del barrio Aglla son de 10" y 12", que según lo indicado por la SENAGUA si se encuentra dentro de lo indicado en mantener un diámetro como mínimo de 1".

Componentes de la infraestructura

Planta

- A. Tubería de ingreso
- B. Estructura de concreto
- C. Cámara de presedimentación
- D. Rejas
- E. Canal de salida
- F. Caja de válvulas, válvula de compuerta
- G. Bifurcación
- H. Tubería de salida hacia la comunidad
- I. Tanque de recolección
- J. Caja de válvula de control, válvula de bola
- K. Caja de válvulas, válvula de compuerta

Corte A-A

- 1. Cámara de presedimentación
- 2. Canal de salida
- 3. Caja de válvulas, válvula de compuerta
- 4. Tanque cajón
- 5. Tanque de recolección
- 6. Caja de válvula de control, válvula de bola
- 7. Caja de válvulas, válvula de compuerta

La infraestructura de pretratamiento (presedimentador) que se realiza tanto para el barrio Aglla, como para el barrio San Rafael, cumple con su objetivo, ya que por acción de las fuerzas de gravedad se produce el depósito del material que acarrea el flujo; y por el incremento del recorrido que debe cumplir el flujo al ingresar en esta estructura se reduce la velocidad del caudal.

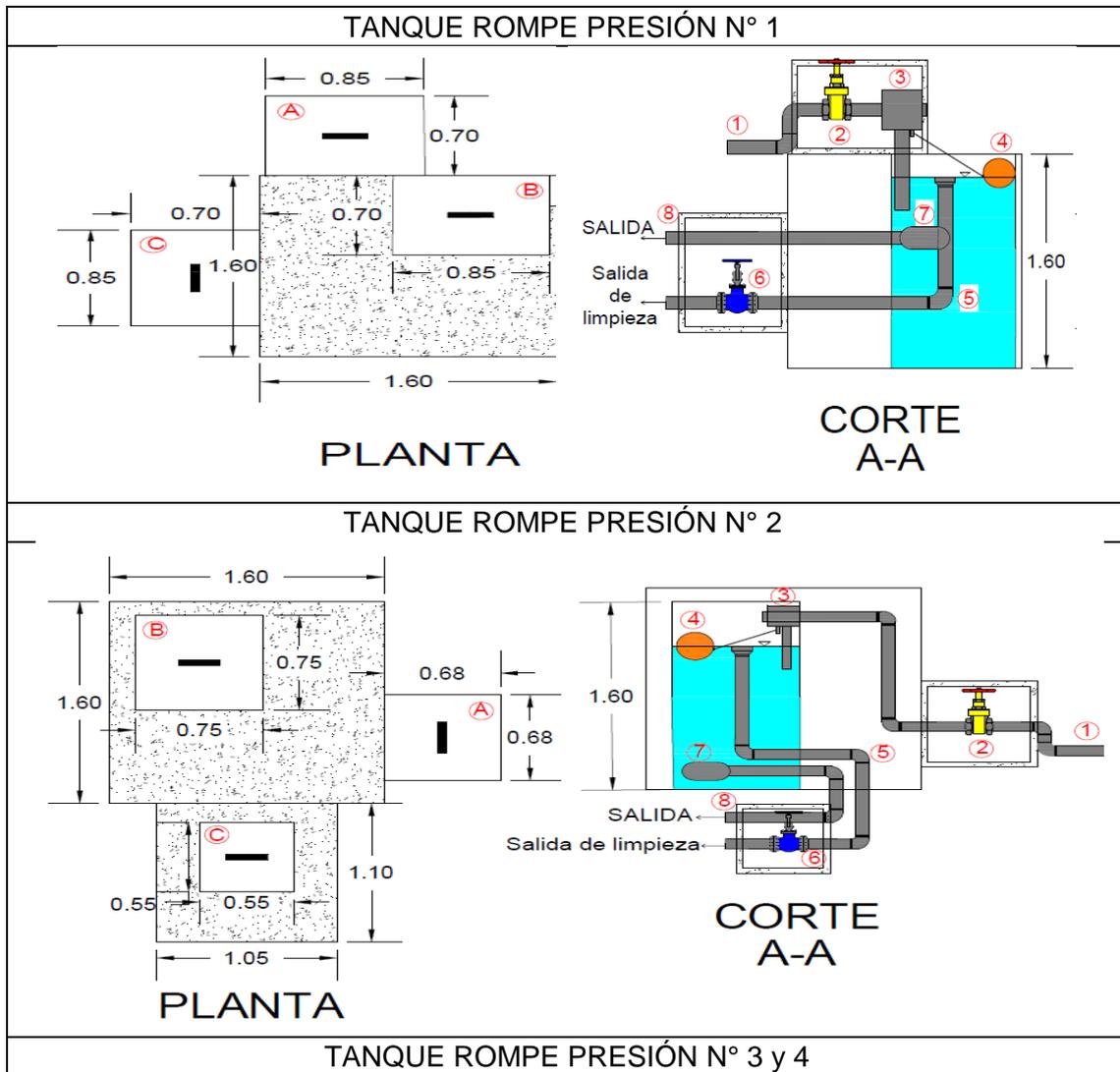
Además, los materiales de construcción del presedimentador están realizadas de hormigón.

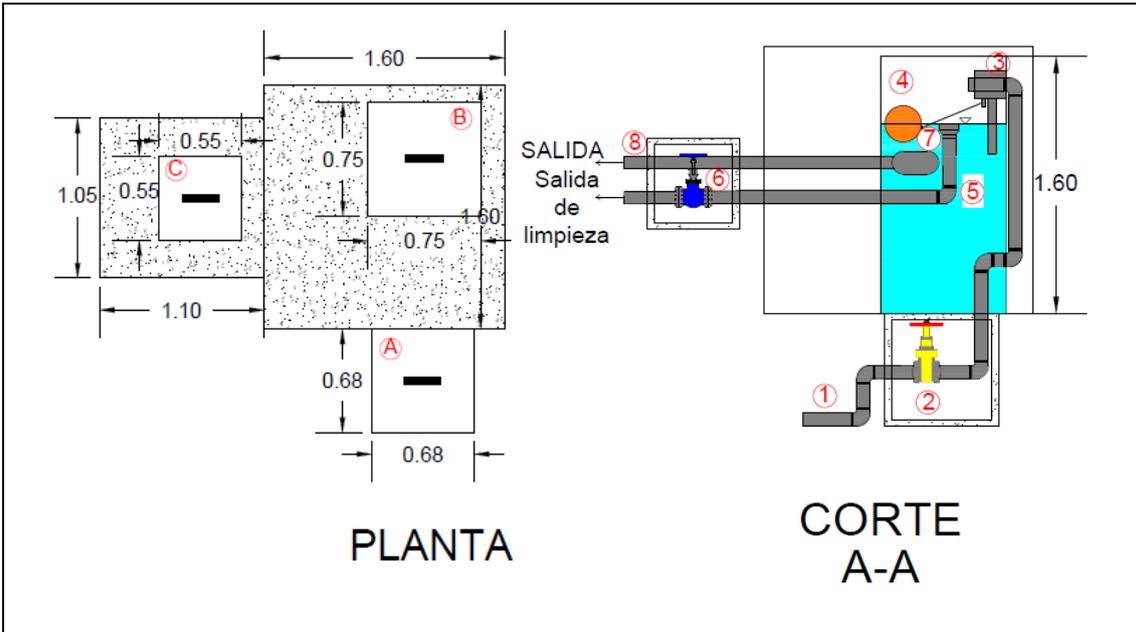
La profundidad del presedimentador es de 0.65 m, no cuenta con una zona para acumulación de sedimentos, por otro lado esta estructura cuenta con rejillas verticales que retiene material grueso. Sin embargo, la velocidad del presedimentador es de 0.48 m/s, que se encuentra dentro de lo que recomienda la bibliografía técnica.

Por otro lado, el presedimentador cuenta con cajas de válvulas, que cuentan con una válvula de compuerta para realizar la limpieza de la infraestructura del presedimentador, pues cuenta con válvulas de regulación de flujo, lo que facilita las tareas de operación y mantenimiento, mientras que, para la salida del caudal hacia las siguientes fases de tratamiento, se tiene una válvula de control.

- **Tanques Rompe Presión**

En la figura 61, se presenta las dimensiones de las estructuras de los cinco tanques rompe presión, cabe señalar que el esquema en planta y corte muestra las dimensiones de la infraestructura levantadas en la visita de campo en lo que se refiere al largo, ancho y altura total, así como también los accesorios que se encontraban dentro de la infraestructura.





TANQUE ROMPE PRESIÓN N° 5

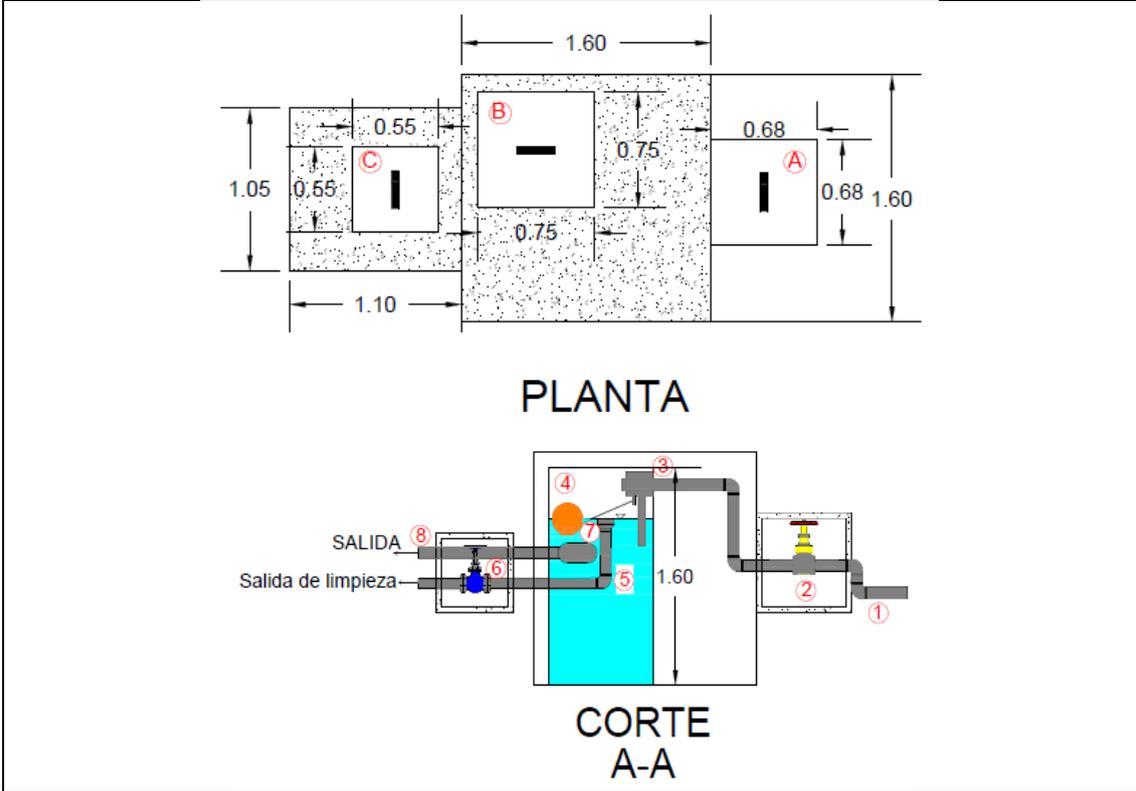


Figura 61. Vista en planta y corte tanques rompe presión.

Fuente: (Los autores, 2020)

Componentes de la infraestructura

Planta

- A. Válvula de compuerta
- B. Cámara rompe presión
- C. Caja de Desfogue

Corte A-A

- 1. Tubería de ingreso
- 2. Válvula de compuerta
- 3. Válvula flotadora
- 4. Boya
- 5. Tubería de desfogue
- 6. Válvula de bola
- 7. Canastilla
- 8. Tubería de salida

Los tanques rompe presión contruidos en el sistema de abastecimiento del barrio Aglla, cuentan con válvula flotadora, tubería de entrada, válvula de control, boya, canastilla, tubería de salida y tubería de rebose y limpieza. Sin embargo, no se tiene un cono rebose, pero si se realiza el mantenimiento de la cámara mediante la tubería de desfogue y la válvula de bola.

Además, los materiales de construcción de los tanques rompe presión, son de hormigón armado; y están ubicados a lo largo de la conducción cuando hay un considerable desnivel entre los reservorios y conexiones domiciliarias, igualmente los componentes que se hallan dentro de la infraestructura, se encuentra dentro de lo que recomienda la bibliografía técnica de diseño de las redes de distribución.

- **Filtro Grueso Ascendente por Capas (FGAC)**

En la figura 62, se presenta las dimensiones de la estructura del filtro grueso ascendente, cabe señalar que el esquema en planta muestra las dimensiones de la infraestructura levantada en la visita de campo en lo que se refiere al largo, ancho y altura total del filtro, mientras que el esquema de corte especialmente en la estructura interna se basa en las fuentes bibliográficas de diseño y construcción de este tipo de filtros.

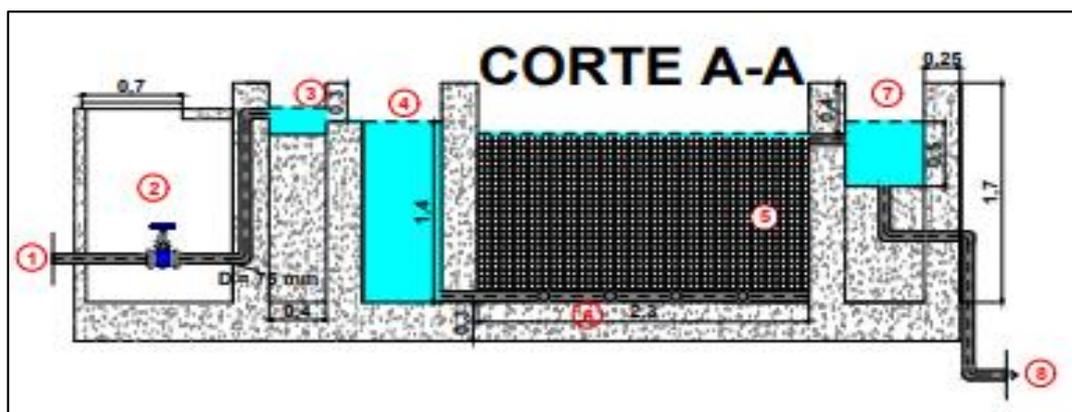
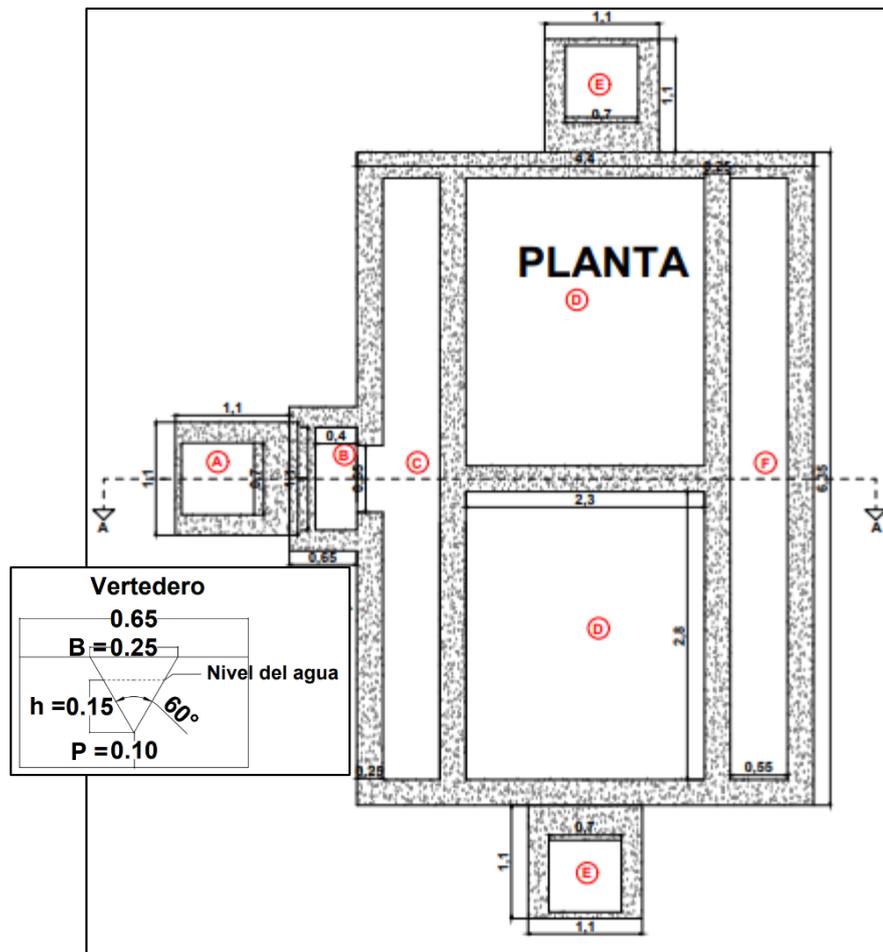


Figura 62. Vista en planta y corte filtro grueso ascendente por capas (FGAC).

Fuente: (Los autores, 2020)

Componentes de la infraestructura

Planta

- A. Caja de la válvula de apertura del agua al filtro grueso
- B. Vertedero de aforo
- C. Estructura de entrada

- D. Cámaras de filtración
- E. Cajas de las válvulas de desagüe
- F. Estructura de salida

Corte A-A

1. Tubería de ingreso del agua cruda
2. Válvula de bola de ingreso del agua al filtro grueso
3. Vertedero triangular
4. Estructura de ingreso del agua cruda a la cámara de filtración
5. Lecho filtrante
6. Sistema de drenaje
7. Estructura de salida del agua filtrada
8. Tubería de salida del agua filtrada al siguiente proceso de tratamiento

El proceso de filtración gruesa ascendente que forma parte del sistema de tratamiento cuenta con componentes como son: cámaras de filtración, lecho filtrante, estructuras de entrada y salida del agua, sistema de drenaje y accesorios de regulación y control.

Por otro lado, la estructura está realizada de hormigón, internamente del filtro cuenta con acabados de cerámica y la altura total es de 1.70 m, mientras que el exterior se identifican daños en los bordes de las paredes debido al envejecimiento del hormigón, ya que el sistema de tratamiento opera desde el año de 1998.

El número de capas del material grueso se encuentran distribuidas en orden decreciente, es decir la grava de tamaño mayor en el fondo y la grava de menor tamaño en la superficie. Se sugiere verificar una estratificación con un número de 5 capas con una altura de cada capa que oscila entre los 0.20 a 0.35m.

De la misma manera, el funcionamiento del sistema de drenaje, según lo observado en la visita de campo distribuye de forma uniforme el agua en toda el área del lecho filtrante lo que produce a su vez mayor cantidad de agua filtrada, mientras que para el lavado del lecho filtrante, el sistema distribuye el flujo del agua de lavado uniformemente permitiendo realizar una limpieza apropiada gracias a que la estructura cuenta con todas las válvulas de regulación de flujo del agua y con un vertedero de aforo, lo cual facilita en general las tareas de operación y mantenimiento.

Finalmente, la filtración gruesa se utiliza generalmente para tratar fuentes superficiales con un rango bajo e intermedio de la calidad del agua, especificado en la cantidad de coliformes fecales, color real y turbidez, razón por la cual se determina que la implementación del filtro grueso ascendente por capas como proceso de tratamiento,

fue el correcto, pues los análisis de laboratorio y campo demostraron que la fuente de agua tiene una calidad adecuada.

- **Filtro Lento de Arena (FLA)**

La figura 63, indica la infraestructura del filtro lento de arena. Las dimensiones de la estructura se basa en las recomendaciones bibliográficas de diseño y construcción de este tipo de filtros como son: el sistema de drenaje, lecho filtrante, dispositivos de regulación control y rebose del agua, cabe señalar que este sistema no cuenta con un vertedero de aforo que permita controlar el flujo del agua, sin embargo, el sistema de filtración tiene una válvula de ingreso al tanque de filtración, la cual regula el flujo del agua que procede de la filtración gruesa. Esto evita la sobrecarga del agua al tanque de filtración, con lo cual se impide que una altura sobrenadante de agua sea mayor a lo recomendado de 1.5 metros (UNATSABAR, 2005).

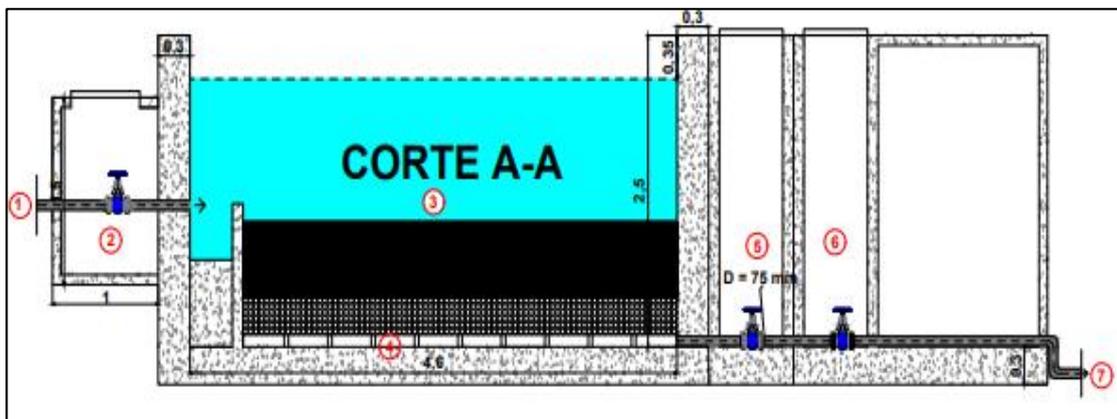
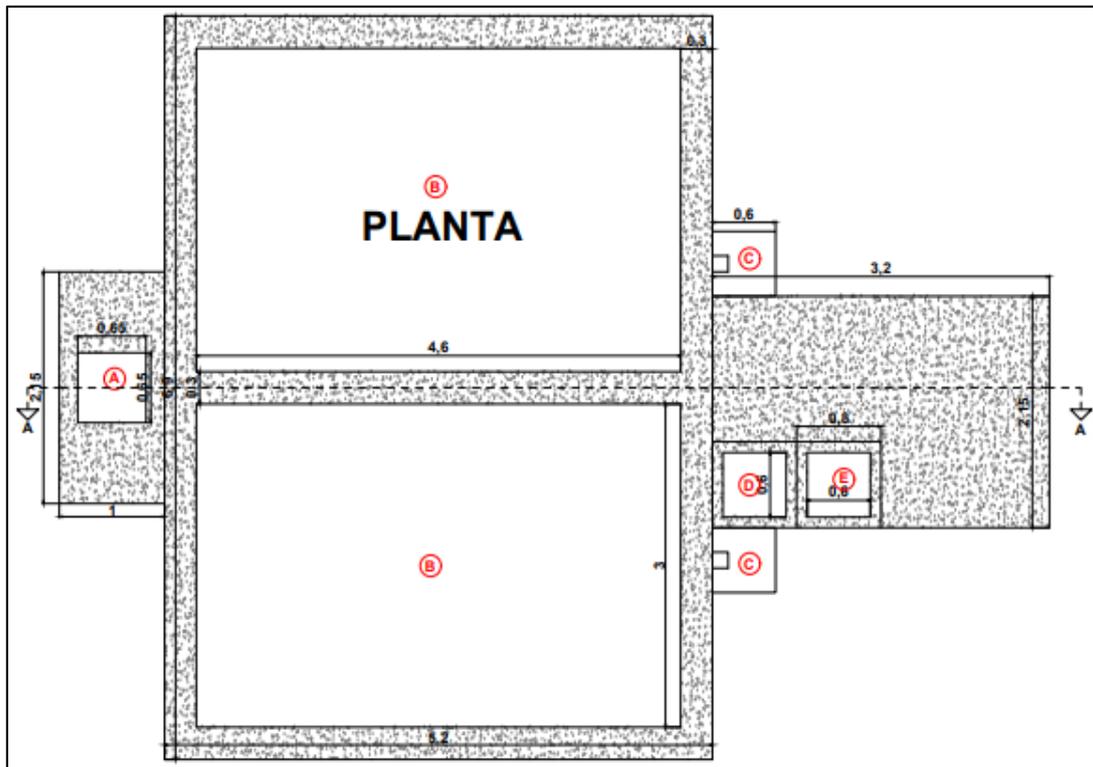


Figura 63. Vista en planta y corte filtro lento de arena (FLA).

Fuente: (Los autores, 2020)

Componentes de la estructura

Planta

- A. Caja de la válvula de ingreso al filtro
- B. Cámaras de filtración
- C. Tuberías de desagüe del sobrenadante
- D. Caja de la válvula de desagüe del filtro
- E. Caja de la válvula de apertura del agua filtrada

Corte A-A

1. Tubería de ingreso del agua procedente de la Filtración gruesa (FGAC)
2. Válvula mariposa de ingreso del agua al filtro de arena
3. Lecho filtrante
4. Sistema de drenaje
5. Válvula mariposa de desagüe del filtro
6. Válvula mariposa de apertura del agua filtrada
7. Tubería de salida del agua al siguiente proceso de tratamiento

La altura total del filtro determinado en campo fue de 2.50 m, la literatura técnica recomienda una profundidad entre el 1.80 y 2.10 m, lo cual indica el incumplimiento de este parámetro, sin embargo, el dimensionamiento de este tipo de filtros depende del caudal de agua cruda que se requiera para tratar la calidad de agua, así como de la cantidad de usuarios a abastecer.

La estructura está realizada en hormigón a pesar de que el sistema cuenta con varios años de operación la infraestructura en general se encuentra en buen estado. Esto se debe al mantenimiento que la infraestructura ha recibido desde el inicio de su operación.

El funcionamiento del sistema de drenaje del filtro lento de arena opera con normalidad, según lo observado en campo, pues capta de forma uniforme el agua que atraviesa por toda el área del lecho filtrante, mientras que para las tareas de limpieza el sistema de drenaje cuenta con válvulas de regulación de flujo, lo cual facilita las tareas de operación y mantenimiento en el filtro.

Este tipo de infraestructuras se utilizan en comunidades rurales, donde el agua cruda a tratarse no presenta altos impactos de contaminación que alteren de manera significativa su calidad. Esto indica que la implementación del filtro lento de arena como proceso de tratamiento fue apropiado, debido a los resultados de campo y laboratorio, los cuales demuestran que la fuente de agua que se utiliza para abastecer a la comunidad de Aglla presenta bajas concentraciones de los principales contaminantes que provocan el deterioro de la calidad del agua.

Determinación de la Eficiencia de los filtros lentos FGAC y FLA:

Mediante los resultados obtenidos de color real, turbidez y coliformes fecales a la entrada y salida del paso del agua por los procesos de filtración lenta, así como el agua tratada por todos los procesos de tratamiento incluida la planta clorificadora, se calculó la eficiencia de remoción de los filtros y del sistema de tratamiento, a partir de la Ecuación 18.

En la Tabla 24, se presenta la eficiencia de remoción de los filtros según los resultados de los parámetros determinados *in situ* y los análisis de laboratorio.

Tabla 24. Eficiencia de remoción filtros FGAC Y FLA.

Parámetros	Agua cruda	Agua tratada (Filtros FGAC Y FLA)	Eficiencia % (FGAC, FLA)	Agua tratada (Sistema)	Eficiencia % (Sistema)
Color real u Pt-Co	25	27	-8,0	26	-4,0
Turbidez NTU	7,62	3,97	47,9	4,02	47,2
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1,1	<1,1	-----	<1,1	-----

Fuente: (Galvis Castaño et al., 1995)

Como se observa en la eficiencia de remoción de color real en los filtros lentos es negativa con un -8.0%, superior a la de todo el sistema de tratamiento que fue del -4.0%, ya que existe un aumento de color real en el agua tratada. En la turbidez existe una eficiencia de remoción del 47.9% tras el paso del afluente por los procesos de FGAC y FLA, mientras que para todo el sistema de tratamiento es del 47.2%, estos porcentajes de remoción de turbidez son aceptables, debido a que valores bajos de turbidez en el agua natural, hacen que la remoción de partículas suspendidas en este tipo de filtros sea bastante baja.

Otro aspecto que ocasionaría tales resultados de eficiencia tanto para color real como turbidez, son las tareas de limpieza y operación tanto en filtro grueso ascendente por capas (FGAC) como en el filtro lento de arena (FLA), puesto que estas actividades se realizan a diario a pesar de las bajas cantidades de turbidez y color presentes en el agua cruda. Para el FLA se ejecuta el raspado diario de la capa superficial de la arena esta actividad provoca que este filtro reduzca sus eficiencias de remoción, ya que se impide que la capa biológica llamada *Schmutzdecke* se desarrolle por completo sobre la última capa del lecho filtrante de arena.

Según, (Ramírez-Medina, 2011), indica que el desarrollo de la capa biológica dura aproximadamente de 10 a 15 días y depende de la cantidad de nutrientes del agua cruda así como de la temperatura del lugar, donde se localiza el filtro generalmente se recomienda una temperatura no menor a los 10 °C y un agua cruda con contenido adecuado de nutrientes para un rápido desarrollo.

Por otra parte, (Blacio Ordoñez & Palacios Pérez, 2011) señalan al desarrollarse por completo la capa biológica sobre la última capa de arena se mejoraran las eficiencias remoción de partículas coloidales, microorganismos del grupo coliforme e incluso se

degradaran sustancias orgánicas solubles que provocan el color, el mal sabor y olor en el agua.

Es necesario que las tareas de operación y mantenimiento se ejecuten de manera planificada, debido a que estas actividades son las que determinan el desempeño y la eficiencia de cada componente de filtración. Cuando se elige un adecuado programa de operación y mantenimiento la calidad del afluente de agua va a mejorar notablemente lo cual garantiza el cumplimiento de los requisitos del agua destinada para consumo humano.

- **Equipo Clorid-SA**

En el sistema de desinfección modelo L-90, utiliza agua filtrada para su posterior tratamiento.

La cantidad de sal común que se usa al día es de 3 kg y es disuelta en 90 litros de agua, para este proceso se toma agua que ingresa al tanque, en un balde para el proceso de electrolisis. Después de un tiempo de 24 horas, se lava el equipo y se desconecta. Una vez realizado este proceso, se pasa al tanque dotado de electrodos la sal saturada y se enciende el transformador rectificador de 110 V para asegurarse de tener una perfecta mezcla, ya que mediante esta energía eléctrica se produce la cantidad de hipoclorito de sodio y la dosificación se realiza mediante una manguera.

Cuando el tanque se ha llenado, se espera 30 minutos, para su posterior distribución del cloro. Además, con este equipo se puede conceder de agua desinfectada a una comunidad de hasta 1875 habitantes que equivalen a 375.000 litros de agua al día, como lo menciona (Manual Clorid L-90, 2018).

Mantenimiento del tanque de tratamiento-almacenamiento:

- Limpieza del tanque de 90 litros del Sistema Clorid-SA, se realiza todos los días.
- Limpieza del tanque de tratamiento, se hace cada 15 días.
- Limpieza del transformador rectificador, se realiza cada 6 meses.

En caso de que no funcione el transformador rectificador, el operador de la planta absorbe la manguera dosificadora, para que pase el cloro mediante un tubo PVC, trasladándose hacia la parte inferior del tanque.

- **Tanque De Almacenamiento**

En la figura 64, se presenta las dimensiones de la infraestructura del tanque de almacenamiento, cabe señalar que el esquema en planta muestra las dimensiones de la infraestructura levantadas en la visita de campo en lo que se refiere al largo, ancho y altura total.

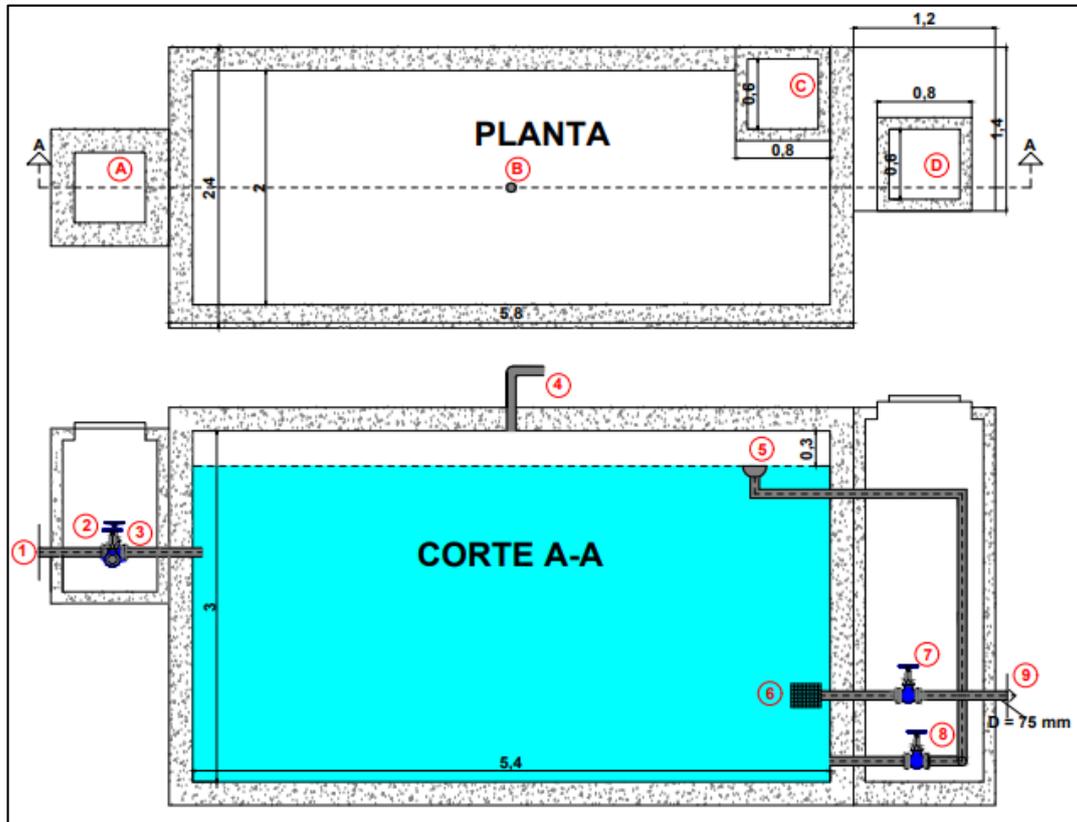


Figura 64. Vista en planta y corte tanque de almacenamiento.

Fuente: (Los autores, 2020)

Componentes de la infraestructura

Planta

- A. Caja de las válvulas de ingreso del agua clorada al tanque de almacenamiento y del paso directo del agua bypass a la red de distribución
- B. Tapa de acceso
- C. Caja de las válvulas de apertura del agua a la red de distribución y de desagüe

Corte A-A

- 1. Tubería de ingreso del agua proveniente de la desinfección
- 2. Válvula de bola de ingreso al tanque de almacenamiento
- 3. Válvula de bola para el paso directo del agua directo bypass

4. Tubería de drenaje del agua rebosada
5. Coladera del agua almacenada
6. Válvula de bola para el desagüe del agua
7. Válvula mariposa para la apertura del agua a la red de distribución.
8. Tubería de salida del agua a la red de distribución

La estructura interna como la infraestructura externa del tanque de almacenamiento es de hormigón con un revestimiento de concreto, el interior del tanque cuenta con una capa de pintura protección, la cual necesita de mantenimiento, sin embargo, en general los materiales utilizados para la construcción de la estructura e infraestructura se encuentran dentro de las recomendaciones de diseño y construcción.

Al finalizar el día el tanque de almacenamiento se vacía en su totalidad, debido a los consumos del agua de la población y del limitado volumen de reserva. En la noche el agua tratada se acumula hasta llenar nuevamente la capacidad del tanque de almacenamiento, con lo cual al inicio del día el agua es suficiente para cubrir con las demandas de la población.

Adicionalmente, el tanque de almacenamiento se localiza a una elevación de 3169 msnm y a una distancia de 2.30 km respecto al primer beneficiario del agua que se ubica a una cota de elevación de 2934 msnm, mientras que para el ultimo usuario localizado a una elevación de 2706 msnm existe una distancia de separación de 3.30 km, lo cual demuestra que la distribución del agua se realiza por gravedad debido a los desniveles de terreno que existen en esa zona, esto garantiza que el agua llegue con una presión suficiente a todos los puntos de la red de distribución.

Por otra parte, los componentes internos del tanque según lo determinado en campo son válvulas de regulación de flujo del agua tanto en la entrada y salida del agua, tubería y válvula para el desagüe del agua, así como el paso directo del agua bypass utilizado cuando el tanque de almacenamiento se encuentra en mantenimiento, dichos componentes se encuentran dentro de las consideraciones de las normativas de diseño y construcción.

Volumen de Almacenamiento

A continuación en la Tabla 25, se muestra los resultados del volumen de almacenamiento que requiere la población, en la cual se aplicó la Ecuación 20.

Tabla 25. Resultados del volumen de almacenamiento

Año	Volumen Total de Almacenamiento	Volumen Tanque de Almacenamiento	Volumen Faltante
2020	145 m ³	32.4 m ³	115 m ³
2028	238 m ³		205 m ³

Fuente: (Los autores, 2020)

El volumen del tanque de almacenamiento es de 32.4 m³, lo cual indica que la reserva de agua no es suficiente al comparar la capacidad del tanque de almacenamiento, con el volumen total de almacenamiento que requiere la población, ya que los resultados demuestran que para el año 2020 se necesita que el volumen del tanque sea de 145 m³, mientras que para el año 2028 donde el sistema de abastecimiento cumple con su periodo de diseño de 30 años se requerirá de un volumen de almacenamiento de 238 m³. Esto demuestra que hacen falta 205 m³ de almacenamiento para cubrir con los consumos de la población en los siguientes años.

- **Planta Clorificadora**

Este equipo de SEHICOCI (Sociedad Ecuatoriana de Hidráulica y Construcción) consta de un filtro rápido y un clorificador automático.

La preparación de la solución desinfectante se lo realiza con la disolución de 5 kg de hipoclorito de calcio granulado, en un tanque de 250 litros de agua. Se diluye el químico en un recipiente aparte y solamente se ingresa la solución en el tanque, ya que cualquier sedimento ocasionaría el taponamiento de la válvula de succión del dosificador.

El proceso del equipo es mediante la conducción del agua que atraviesa un filtro rápido compuesto de grava gruesa, fina y arena, en la que es dosificada por el agente desinfectante de hipoclorito de calcio, por medio de un dosificador de diafragma, en la que la línea de descarga del filtro se encuentra un sensor de flujo, que ordena que el dosificador inyecte el químico en el agua, cuando detecta el paso de este por la tubería.

Mantenimiento del equipo:

- El retro lavado del filtro rápido se lo realiza cada 24 horas de funcionamiento, por un tiempo de 10 minutos, hasta que el agua que en un inicio era turbia se torne

transparente. Cabe mencionar que los materiales filtrantes se lo rellenan de 4 a 5 años.

- La limpieza de la válvula de inyección del dosificador que está instalada en la tubería de descarga del filtro, se lo realiza cada mes de operación del sistema.

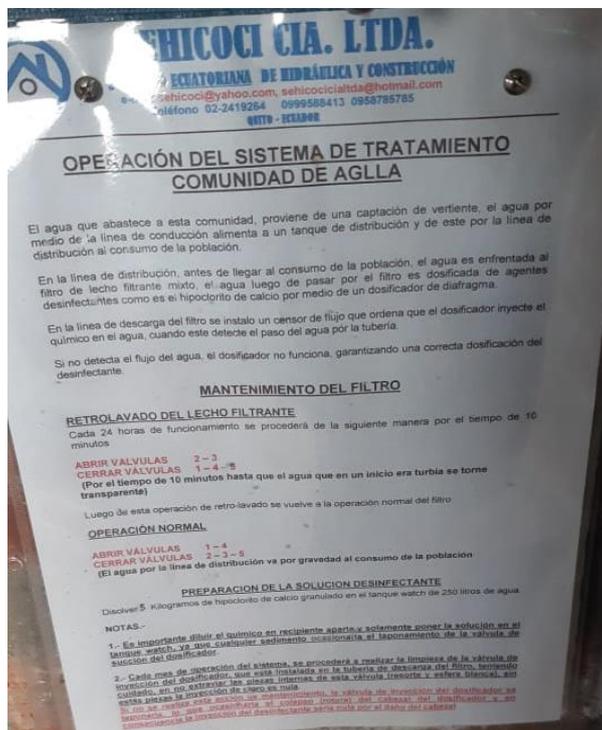


Figura 65. Hoja de mantenimiento del equipo Sehicoci.

Fuente: (Los autores, 2020)

Para establecer la eficiencia del filtro de la planta clorificadora, se aplicó la Ecuación 18, de manera que en la Tabla 26 se muestra los resultados de la eficiencia de los parámetros analizados.

Tabla 26. Determinación de la eficiencia de filtración de la planta clorificadora.

Parámetros	Tanque de almacenamiento	Agua tratada (Planta Clorificadora)	Eficiencia % (Planta Clorificadora)
Turbidez NTU	3,75	4,02	-7,2
Coliformes Fecales	< 1,1	< 1,1	-----

Fuente: (Galvis Castaño et al., 1995)

El proceso de filtración rápida del equipo SEHICOCI tiene una eficiencia de remoción de turbidez -7.2%, debido al aumento de turbidez a la salida del filtro, de manera que el retro lavado se hace cada 24 horas de funcionamiento, y según señala (CEPIS, 2005),

es necesario realizar el retro lavado cada mes, por el tiempo recomendado de 10 minutos, y se evitará que el medio se sature.

Cabe mencionar que este tipo de filtración rápida es adecuado, como lo indican, (Suárez, Jácome, & Ures, 2014) pues estos filtros se utiliza en función del tipo de agua que se va a tratar como es el caso de agua natural en función de los sólidos suspendidos, que se encuentra dentro de lo recomendado entre 40 a 200 ppm, de manera que los resultados obtenidos en el laboratorio se encuentra por debajo de 100 mg/l.

El sistema de tratamiento de agua potable del barrio Aglla, existe dos procesos de cloraciones hipoclorito de sodio y de calcio, de modo que la mayor concentración de cloro es del hipoclorito de calcio que se encuentra entre 65-70%, además que es más estable que el hipoclorito de sodio, como lo sugiere el (Ministerio de Salud, 2005), debido a que no se evapora y su concentración no disminuye en el agua cuando existe temperaturas altas o entra en contacto con el aire.

Sin embargo, altas concentraciones de cloro en el agua, podría afectar la salud, ya que los efectos tóxicos del hipoclorito de sodio y de calcio, puede ocasionar diversas lesiones corrosivas graves para la salud. Pero en base a los resultados de laboratorio del cloro libre residual, cumple con los límites máximos permisibles que menciona la normativa INEN 1108:2020.

Por otra parte, en la primera y segunda etapa de tratamiento, existen filtros lentos y rápidos, puesto que permiten retener partículas suspendidas y coloidales del agua, lo que se diferencia es la velocidad de filtración, ya que la filtración lenta de arena y la filtración gruesa ascendente en capas es realmente muy baja, al contrario de los filtros rápidos que su tiempo es más acelerado al atravesar los diversos lechos filtrantes.

Además, la formación de la película biológica en los filtros está compuesta por diferentes tipos de microorganismos que efectúan la función de filtración en superficie, pero también para eliminar materia orgánica disuelta y coliformes, en el caso de filtros lentos para que se forme está biopelícula, es preciso que pase un determinado intervalo de tiempo, designado maduración del filtro, a diferencia de los filtros rápidos que escasamente se forma una biopelícula y los procesos biológicos van a ser insuficientes y, si están, se van a tratar de eliminarlos, además, en estos sistemas se admiten la expulsión de partículas coloidales de difícil apartamiento en filtraciones superficiales.

3.4 Guía de Operación y Mantenimiento

La guía es en un documento que se aprecia en el Anexo IX el cual contiene las actividades de: monitoreo de la calidad del agua en el afluente y el efluente, en cierto intervalo de tiempo o cuando sea necesario, a través de planes de muestreo realizado en el levantamiento de datos sobre la calidad del agua así como los análisis físicos, químicos y microbiológicos que se recomiendan realizar, mediante las evaluaciones del catastro de la infraestructura física se implementaron propuestas de cambio o mejoras por medio de planes de limpieza dentro de las instalaciones del sistema de tratamiento, así mismo en base a los resultados adquiridos de la medición de caudales se propuso cambios en: tuberías, válvulas en la conducción, cajas de válvulas y tanques rompe presión, para que el caudal no se desperdicie y sea suficiente para proveer a la población de Aglla.

La guía tiene la finalidad de facilitar cada uno de las unidades de tratamiento, en la cual muestra de forma clara los procedimientos básicos y responsabilidades a ejecutar en la operación y mantenimiento para que de esta manera se obtenga una adecuada cantidad y calidad del servicio de agua, y garantice el periodo de diseño del sistema de tratamiento de agua potable.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- ✓ Los resultados de la caracterización del agua demuestran que los parámetros medidos en campo y analizados en laboratorio, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1, excepto la Demanda Química de Oxígeno, DQO, que se encuentra en el límite del criterio de calidad < 4mg/l.
- ✓ En los puntos de muestreo P1,P3, la concentración de la DQO, no es elevada como para afectar considerablemente la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua, además los resultados de DBO₅, oxígeno disuelto y nitrógeno amoniacal, indican que el agua tiene bajas cantidades de materia orgánica disuelta así como de microorganismos.
- ✓ Al comparar los resultados con los valores que establece la norma INEN 1108:2020 de requisitos del agua para consumo humano, se evidencia el incumplimiento del parámetro color aparente específicamente para las muestras P6, P7 y P8. La alteración del color aparente, técnicamente se deben a dos causas: los problemas de limpieza y mantenimiento de las unidades de filtración;

y el tipo de filtro implementado, poco recomendado en la literatura técnica para remover color en el agua.

- ✓ El caudal medio diario es suficiente para abastecer a la población actual del barrio Aglla, puesto que recibe 8.60 l/s, sin embargo, para el año 2028 no cubriría con el gasto volumétrico, ya que requerirá de 9.17 l/s.
- ✓ El caudal total autorizado que consume actualmente la población de Aglla y para un futuro, no cumple con lo establecido por la Secretaría del Agua.
- ✓ La diferencia de caudal se presenta en los filtros lentos debido a su efecto regulador, así como en los tanques reguladores de presión pues existe un desgaste de las válvulas de control de nivel, en la que provoca desbordes y no existe una regulación de cierre automático del caudal.
- ✓ El sistema de abastecimiento del barrio Aglla, no cuenta con todas las unidades de tratamiento necesarios para potabilizar el agua en una planta convencional, sin embargo, las infraestructuras de las unidades de tratamiento, cumplen con los componentes de diseño y construcción, pero presentan daños menores como son rupturas mínimas de concreto en los bordes de las paredes, pues el sistema lleva operando desde el año 1998, excepto en la segunda etapa de tratamiento que es una tecnología nueva.
- ✓ La aducción y conducción por tubería del barrio Aglla, cumple con lo establecido con respecto al tipo de material para conducir agua potable, la conducción es de PVC, así como los diámetros de la tubería de la línea de aducción y el diámetro nominal mínimo de los conductos de la red, igualmente la velocidad media en la tubería en los conductos de la red, si cumple, a diferencia de la línea de aducción, que no se encuentra dentro a lo indicado, puesto que depende de las características hidráulicas del sistema de abastecimiento.
- ✓ Adicionalmente, las válvulas de nivel, que se encuentran dentro de los tanques rompe presión se encuentran deteriorados, de manera que no permiten un cierre automático del flujo.
- ✓ Los procesos de filtración lenta y rápida, no son eficientes debido a la falta de una correcta limpieza y operación, que provoca el aumento en los valores de los siguientes parámetros: conductividad, color real, color aparente, dureza total y turbidez. Sin embargo, la variación de dichos parámetros no sobrepasan los límites permisibles determinados en las normas de calidad del agua cruda y potable, excepto del color aparente.
- ✓ El tanque de almacenamiento, ubicado después del equipo Clorid-S.A, no es suficiente para satisfacer con las demandas de agua de la población actual y futura, dado que tiene un volumen de 32.4 m³. Por otra parte, el sistema de

tratamiento contiene dos fases de desinfección la primera dada por el equipo Clorid-S.A. y la segunda ejecutada por la planta clorificadora ubicada en un tramo de la red de distribución. Esto demuestra que la localización del tanque no es de lo más factible, de tal forma que este debería tener cambios en lo que respecta a su localización y dimensiones.

- ✓ La operación adecuada de un sistema de tratamiento de agua, es fundamental para garantizar la producción de agua potable. Razón por la cual el operador tiene la responsabilidad de desarrollar todas las actividades de operación y asegurar la eficiencia del sistema de tratamiento.
- ✓ Por medio de la guía de operación y mantenimiento expuesta en el Anexo IX, se plantean mejoras en lo que respecta a la limpieza y el mantenimiento de las distintas infraestructuras del sistema de tratamiento; así como el monitoreo de la calidad del agua mediante un plan de muestreo.
- ✓ La socialización de los resultados obtenidos en este proyecto y de la guía de operación y mantenimiento con la directiva de la Junta de Agua del Barrio de Aglla, se llevó acabo por medio de la plataforma de Zoom, en este espacio se respondieron las dudas acerca de los resultados obtenidos en el proyecto, así como se expusieron las sugerencias y cambios que deben ser puestos en práctica en lo que respecta a la operación y mantenimiento para los diferentes componentes del sistema de tratamiento. Por otro lado, se dio a conocer las actividades de monitoreo en campo, así como, la recolección de muestras para su traslado al laboratorio. Al final de la reunión se llegó al acuerdo y compromiso por parte de los directivos de la junta de agua para seguir todo lo descrito en el documento de la guía.

4.2 Recomendaciones

- ✓ Cerrar la primera etapa de tratamiento: filtración FGAC, FLA y desinfección por el Equipo Clorid S-A, cuando cumpla su vida útil. Además, cabe señalar que la desinfección ejecutada por la planta clorificadora localizada en la segunda etapa de tratamiento se realiza con hipoclorito de calcio que es un desinfectante que tiene mayor porcentaje de cloro activo y es más estable que el hipoclorito de sodio que se utiliza en el Equipo Clorid, recalcando que la segunda etapa de tratamiento es una tecnología nueva.
- ✓ Realizar la limpieza y mantenimiento preventivo de los tanques de filtración lenta como se sugiere en la guía de operación y mantenimiento a fin de disminuir los parámetros de conductividad, color real, color aparente, dureza total y turbidez.
- ✓ Realizar cada mes el retro lavado en el filtro rápido de la planta clorificadora por el tiempo recomendado de 10 minutos, esto evitará que el medio se sature.
- ✓ Optimizar la configuración del filtro rápido e incrementar una capa adicional de carbón activado, previo a la desinfección con hipoclorito de calcio; y realizar una caracterización de calidad de agua en este punto para verificar si el color redujo su concentración. Caso contrario si no se observa cambio se recomienda incorporar un proceso de clarificación que es la coagulación y floculación.
- ✓ Cubrir las tuberías expuestas al ambiente con material excavado o tierra a una profundidad mínima de 60 cm por encima del lomo del tubo.
- ✓ Construir un tanque de almacenamiento que compense el volumen de regulación requerido, el cual es de 238 m³. El tanque puede ubicarse luego del proceso de tratamiento efectuado por la Planta Clorificadora, con lo cual se regularía el funcionamiento de esta unidad de tratamiento y el consumo de agua de la población.
- ✓ Identificar el caudal de salida de la planta clorificadora, que se entregará a la comunidad.
- ✓ Realizar inspecciones frecuentes a las infraestructuras y líneas de conducción, para realizar los mantenimientos preventivos o correctivos según corresponda, por ejemplo: las reparaciones de las infraestructuras que presentan daños en los bordes de las paredes, el cambio de accesorios en los tanques rompe presión y líneas de aducción y conducción.
- ✓ Seguir la guía de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de agua potable, donde se detallan: actividades, tiempos de ejecución y recursos, de la limpieza y mantenimiento de las infraestructuras, así como el monitoreo de la

calidad del agua, también los formatos para realizar tanto el mantenimiento, la dosificación del cloro y medición del caudal.

- ✓ Realizar periódicamente capacitaciones al operador sobre las buenas prácticas de manejo de plantas de tratamiento de agua potable de acuerdo con los manuales de operación y mantenimiento sugeridos por la EPMAPS o la guía escrita en este trabajo de titulación.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, F. (2015). Abastecimiento de Agua Potable para Comunidades Rurales. *Tesis*. Universidad Técnica de Machala, Machala.
- Angarita, R., & Melendez, M. (7 de Junio de 2012). Fuentes de abastecimiento. *Tesis de Ingeniería*. Universidad Santa María Núcleo Barinas. Obtenido de <https://es.slideshare.net/rafiky440/fuentes-de-abastecimiento>
- Blacio Ordoñez, D., & Palacios Pérez, J. (2011). *FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA, POSIBILIDADES DE USO DE FLA (FILTROS LENTOS DE ARENA) CON AGUA SUPERFICIAL DE NUESTRA REGIÓN*. [Thesis, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>
- Beat, S., & Dorothee, S. (2018). *Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios)*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29#:~:text=La%20captaci%C3%B3n%20de%20aguas%20superficiales,del%20recurso%20a%20una%20poblaci%C3%B>
- Brenes, G. C., & Molina, J. M. (2012). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Tecnología en Marcha*, 25(Extra 5), 37–44.
- Bridgewater, L. L., Baird, R. B., Eaton, A. D., Rice, E. W., American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd edition). American Public Health Association.
- Brousett-Minaya, M., Chambi Rodríguez, A., Mollocondo Turpo, M., Aguilar Atamari, L., & Lujano Laura, E. (2018). Evaluación Físico-Química y Microbiológica de Agua para Consumo Humano Puno—Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 15(15), 47–68.
- Camacho, Giles, Ortigón, Serrano, & Velázquez. (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP). Obtenido de http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/acym/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf
- Capservs Medios Comunicación Capacitación Servicios Cia. Ltda. (2015). Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Checa. Pichincha: SNI.

- CARE Internacional-Avina. (2012). Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 5. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Ecuador.
- Cardenas Leon, J. A. (2005). *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales*. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- CCNN. (Diciembre de 2015). *PROPIEDADES DEL AGUA*. Obtenido de <http://ccnn202.blogspot.com/2015/12/agua.html>
- CEPAL, N. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155.4>
- CEPIS. (2005). *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Obtenido de <http://www.bvsde.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/filtrarap1.html>
- Chacón Chaquea, M., & ProQuest. (2016). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA. <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/68990>
- CivilGeeks. (2018). *Cámaras rompe Presión para conducciones*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2018/03/05/camaras-rompe-presion-conducciones/>
- CivilGeeks. (2018). *Parámetros de Diseño para un Canal Desarenador*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2018/03/15/parametros-diseno-canal-desarenador/>
- Climate-Data. (11 de Mayo de 2020). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/checa-178131/>
- Corada, E. (6 de Noviembre de 2019). *Agua cruda: La moda de beber agua sin tratar, un riesgo para la salud*. Obtenido de <https://www.larazon.es/atusalud/alimentacion/agua-cruda-la-moda-de-beber-agua-sin-tratar-un-riesgo-para-la-salud-KD18829443/>
- Diaconía. (2017). *Administración, Operación y Mantenimiento del Sistema de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales*. Obtenido de https://issuu.com/diaconiacomunicaciones/docs/13manual_aom_con_ba_o_bi_odigestor
- Ecotodo. (5 de Abril de 2020). *Tipos De Océanos | Definición Y Clase De Océanos*. Obtenido de <https://ecotodo.com/tipos-de-oceanos-definicion-y-clase-de-oceanos/>
- EcuRED. (2016). *Agua Pluvial*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Agua_pluvial
- EIMA. (5 de Septiembre de 2019). *LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES*. Obtenido de <http://eimaformacion.com/la-importancia-de-las-aguas-superficiales/>
- EPMAPS. (2008). Norma de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMAAP-Q.

- EPMAPS. (Marzo de 2011). *Programa de Saneamiento Ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito (PSA)*. Obtenido de https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/plan_maestro_agua_potable.pdf
- FAO. (22 de Noviembre de 2013). Obtenido de <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/Environment.html>
- Fernández, A. (Diciembre de 2012). El agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva*, 25. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Galvis Castaño, G., Latorre Montenegro, J., & Visscher, J. T. (1999). *Filtración en múltiples etapas: Tecnología innovativa para el tratamiento de agua*.
- Galvis Castaño, G., Visscher, J. T., Fernades, J., & Beron, F. (1995). *ALTERNATIVAS DE PRETRATAMIENTO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA: Selección, Diseño, Operación y Mantenimiento*.
- Graziani, S. (Septiembre de 2020). *La importancia del agua*. Obtenido de <https://rpubs.com/sashagraziani/agua>
- Gutiérrez Luis. (1996). *TEORÍA DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES Y VOLÚMENES DE AGUA*. Madrid: ITGE.
- Hanna Instruments. (17 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad>
- Iagua. (16 de Mayo de 2017). *Las propiedades del agua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/mexico/conagua/17/05/16/propiedades-agua>
- Iagua. (4 de Septiembre de 2018). *La importancia del agua en el planeta y como cuidarla*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/imta/importancia-agua-planeta-y-como-cuidarla>
- INEC. (Agosto de 2020). *CENSOS DEL BARRIO AGLLA PARROQUIA CHECA*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/requerimientos-de-informacion/>
- INEC;UNICEF. (2018). *Agua,saneamiento e higiene: Medición de los ODS en Ecuador*. Quito: Carla Aguas.h20studio. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,_SANEAMIENTO_e_HIGIENE.pdf
- INEN 1108. (Abril de 2020). *AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/18RCGwTBz2lsWBbOayg_kMmDDjY1r98wa/viw

- INEN 2169. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS*. Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf>
- INEN 2176. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO*. Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf>
- Instituto Geográfico Militar. (27 de Mayo de 2019). *CARTAS TOPOGRÁFICA EL QUINCHE ESCALA 1:50.000, FORMATO SHP*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Instrumentación Dinámica. (4 de Diciembre de 2013). *Medidores de flujo ultrasónicos*. Obtenido de <http://instrumentaciondinamica2013.blogspot.com/2013/12/medidores-de-flujo-ultrasonicos.html>
- Izurieta, R., Campaña, A., Calles, J., Estévez, E., & Ochoa, T. (2017). *Calidad del Agua en las Américas Riegos y Oportunidades*. Obtenido de <https://www.ianas.org/images/books/wb09.pdf>
- Lenntech. (2012). *Agua desionizada/desmineralizada*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/aplicaciones/proceso/desmineralizada/agua-desionizada-desmineralizada.htm>
- López Cualla, R. A. (2004). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- López. (9 de Julio de 2018). *PORCENTAJE DE SATURACION DE OXIGENO EN AGUA*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/selobu/anuncios/porcentajedesaturaciondeoxigenoenagua>
- López, S. (11 de Agosto de 2012). *Porcentaje de saturación de oxígeno, corrección por presión*. Obtenido de <http://selobu.blogspot.com/2012/08/porcentaje-de-saturacion-de-oxigeno.html>
- Lozano, F. (2015). *CENTRALES DESRIPIADOR REJILLAS*. Obtenido de <https://pdfslide.net/documents/centrales-desripiador-rejillas-de-fernando-lozano.html>

- Lozano-Rivas, W. A. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua: Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. <http://www.digitaliapublishing.com/a/39191/>
- Lozano-Rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. <http://www.digitaliapublishing.com/a/40803/>
- MAE. (2014). *ESTRATEGIA NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA*. https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf
- Mantilla, E. (27 de Junio de 2012). *Hidráulica de Tuberías*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/DanielEduardoMantilla/13938949-capitulohidraulicadetuberias>
- Manual Clorid L-90. (2018). Obtenido de <https://docplayer.es/78950155-Clorid-generator-de-hipoclorito-de-sodio-en-situ-modelo-clorid-l-90-fuente-de-alimentacion-cliente-na-serie-ano-de-fabricacion-servicio.html>
- Martínez, R. (2009). *Ecuación de Manning*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/0902ricardom/Home/ecuacion-de-manning>
- Martinez-Romero, A., Ortega Sánchez, J. L., & Fonseca, K. (2015). *Análisis fisicoquímico y microbiológico cuenca Río Nazas, México Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en estaciones de la cuenca hidrológica del Río Nazas en Norte de México*. Editorial Académica Española. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2015022119616>
- McFarland, M. L., & Dozier, M. C. (2004). Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. *Cooperativa de Texas Extensión, El Sistema Universitario Texas A & M.*, 6.
- Méndez, Á. (25 de Noviembre de 2013). *Purificación del agua*. Obtenido de <https://quimica.laguia2000.com/general/purificacion-del-agua>
- Mimenza, O. (30 de Noviembre de 2018). *Las 15 propiedades físicas y químicas del agua*. Obtenido de <https://psicologiymente.com/miscelanea/propiedades-fisicas-quimicas-agua>
- Ministerio de Desarrollo Económico. (7 de Septiembre de 2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. En M. d. Económico. Bogotá.
- Ministerio de Salud. (2005). *Desinfección de sistemas, caracterización de fuentes de agua y cloración del agua para consumo humano*. Obtenido de

- https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/metas/taller_PI_meta35_2.pdf
- Ministerio del Ambiente. (4 de Noviembre de 2015). *EDICIÓN ESPECIAL N° 387 - Registro Oficial*. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Mite, R. B., Ochoa, L. S., Osorio, B. G., Suatunce, P., Ocampo, E. D., & Arevalo, L. C. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 9(20), 109–117. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>
- Monge, M. (2017). *El aire en las tuberías: Un problema que a veces es parte de la solución (I)*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/aire-tuberias-problema-que-veces-es-parte-solucion-i>
- Ojeda, M. (2015). Tratamiento de agua potable. España: Elearning S.L.
- OMS; UNICEF. (2007). La meta de los ODM relativa al agua potable y el saneamiento : el reto del decenio para zonas. OMS.
- Ordoñez, J. (2011). Aguas Subterráneas Acuíferos. *Cartilla Técnica*. Sociedad Geográfica de Lima, Lima.
- Ordoñez, J. (2011). Ciclo Hidrológico. *Cartilla Técnica*. Sociedad Geográfica de Lima, Lima.
- Orellana, J. (2005). *Conducción de las Aguas*. Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_07_Conduccion_de_las_Aguas.pdf
- Pérez, M., & Vicente, R. (2019). *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21725>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2013). *Agua*. Obtenido de <https://definicion.de/agua/>
- Pradana Pérez, J. Á., & García, J. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5810839>
- Programa Regional de Seguridad Alimentaria y Nutricional para Centroamérica Fase II. (21 de Marzo de 2012). *Ministerio de Ambiente pide el uso razonable del agua*. Obtenido de <https://www.sica.int/consulta/Noticia.aspx?Idn=67195&idm=1>
- Quirós, F. R. (2005). *Desinfección del agua con cloro y cloraminas*. 10.

- Ramaucsa. (2 de Enero de 2010). *TRATAMIENTO DE AGUA POR RAYOS ULTRAVIOLETA*. Obtenido de <http://agua-purificacion.blogspot.com/2010/01/tratamiento-de-agua-por-rayos.html>
- Ramírez-Medina, L. (2011). *FILTRACIÓN LENTA CON ARENA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN COMUNIDADES RURALES*. 8.
- Rivera, M. (Febrero de 2017). *Marco Juridico*. Obtenido de <https://diccionario.leyderecho.org/marco-juridico/>
- Rocha, A. (2003). *LA BOCATOMA, ESTRUCTURA CLAVE EN UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO HIDRAULICO*. Obtenido de http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/La_bocatoma.PDF
- Rocha, J. C. (2001). *Obras Hidráulicas I. Capítulo 4 Medición de Caudales (Aforos)*.
- Rodriguez, C. (26 de Septiembre de 2018). *Tipos de tuberías de agua según los materiales*. Obtenido de <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-tuberias-de-agua/>
- Rodriguez, C. (2 de Mayo de 2019). *LA COLUMNA DEL EXPERTO: La importancia del manejo sustentable del agua*. Obtenido de <https://www.riesgozero.info/areas-de-especialidad/ergonomia-y-psicosociologia/condiciones-de-trabajo/la-importancia-del-manejo-sustentable-del-agua/>
- Romero Rojas, J. A. (2009). *Calidad del agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Schmidt P, T., Sedaghat N, S., Rosel P, P., & Fierro T, J. (2017). Medición de nitratos y nitritos en agua y saliva de población rural precordillerana de la VIII región. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 72(2), 119–124. <https://doi.org/10.4067/S0718-48162012000200003>
- SENAGUA. (2012). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Obtenido de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf
- SENAGUA. (2014). *NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*. Obtenido de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_rural_para_estudios_y_disenos.pdf
- SENAGUA. (2017). *BOLETÍN DE LA ESTADÍSTICA SECTORIAL DEL AGUA*. Obtenido de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf

- Serrano, A., & Martínez, R. (2015). *GUÍA BÁSICA de control de calidad del agua*.
Obtenido de <https://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2015/09/Agua-CAS-revisar2.pdf>
- Socos, A. (30 de Enero de 2016). *Partes y funciones del sistema de agua potable*.
Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/12068305/>
- Solis-Garza, G., Villalba-Atondo, A. I., Nubes-Ortíz, G., Castillo-Alarcón, J. M. del, & Meraz-Acosta, F. A. (2011). FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTO EN EL RÍO SANTA CRUZ, SONORA, MÉXICO. *Biocencia*, 13(1), 3–9. <https://doi.org/10.18633/bt.v13i1.74>
- Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A. (10 de Octubre de 2015). *Sustancias contaminantes y sus efectos en la calidad del agua*. Obtenido de <http://www.smasa.net/sustancias-contaminantes-agua/>
- Sostenibilidad. (2020). *CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA*. Obtenido de <https://www.sostenibilidad.com/agua/causas-consecuencias-contaminacion-agua/>
- Suárez, J., Jácome, A., & Ures, P. (2014). *FILTRACIÓN EN MEDIO GRANULAR*. Inditex.
- Tecnotanques. (13 de Abril de 2016). *10 Pasos del proceso de purificación de agua*.
Obtenido de <https://tecnotanques.com/10-pasos-del-proceso-purificacion-agua/>
- TECPA. (17 de Abril de 2018). *Cloración en tratamientos de aguas*. Obtenido de <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>
- Torres Marin, G., Sosa Granados, R., Rodríguez Herrera, G., & Robles Martínez, F. (2009). *Ingeniería Revista Académica Ecología industrial y desarrollo sustentable*.
- UNATSABAR, C. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. En Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. OPS*.
- USAID. (2016). *Manual de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Agua Potable por Gravedad. Honduras: RILMAC*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/USAID%202016.%20Manual%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20agua%20por%20gravedad..pdf
- Vizcarra, J. (2010). *Planta de Tratamiento de Agua Potable*. Obtenido de https://archivosdiversos.weebly.com/uploads/2/1/7/6/21760126/modulo_8_agua_potable.pdf
- World Health Organization. (2006). *Guidelines for drinking-water quality: First addendum to the third edition, volume 1 : recommendations*.

World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality*.

Youbioit. (14 de Junio de 2017). *Qué es el ciclo del agua* Obtenido de <https://www.youbioit.com/es/article/18211/que-es-el-ciclo-del-agua>

6. ANEXOS