

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PROVISTA POR LA JUNTA
ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DEL BARRIO ASCILLA BAJO DE LA
PARROQUIA SAN JOSÉ DE MINAS.**

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

HOLGER ISRAEL CEVALLOS PAREDES

isracevas@hotmail.com

YESENIA LIZBETH MOLINA MIER

lizmolina97@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO GUERRA, MSc.

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ing. MARÍA BELÉN ALDÁS, MSc.

maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, marzo de 2020

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado por Holger Israel Cevallos Paredes y Yesenia Lizbeth Molina Mier, bajo nuestra supervisión.

Ing. Santiago Guerra MSc.

Ing. María Belén Aldás, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Holger Israel Cevallos Paredes y Yesenia Lizbeth Molina Mier, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado 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".

Holger Israel Cevallos Paredes

Yesenia Lizbeth Molina Mier

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que de una u otra manera me han acompañado en este camino.

A mis padres Holger y Cecilia, pilares fundamentales que me brindaron su apoyo, comprensión y amor para que este logro pueda cumplirse a pesar de los problemas que surgieron en el camino. Mi logro es logro de ustedes.

Mis hermanos Pablo y Lucia, con quienes compartí más de cerca esta etapa universitaria y quienes me apoyaron en todo momento dentro del hogar que tuvimos que formar lejos de nuestra ciudad de origen sin nuestros padres. ¡Logramos el objetivo ñaños!

Israel C.

Dedico este proyecto a mi familia el pilar fundamental de mi vida y mí motor, a mis padres Ximena y Marcelo quienes con esfuerzo y sacrificio han ayudado a que me sea posible concluir con esta etapa estudiantil, siempre brindándome su apoyo incondicional y amor.

A mis hermanas Mayra y Geovanna mi ejemplo a seguir y mi motivación, siempre aconsejándome para que cada día sea mejor. ¡Sin duda alguna este es un logro de todos los amo!

Yesenia Lizbeth

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la fortaleza diaria que me brindo en esta etapa.

A mi familia, familiares y demás personas que con su amor y cariño supieron apoyarme en mi época universitaria.

Mis profesores de la ESFOT, quienes además de docentes fueron amigos que me brindaron su apoyo. En especial al Ing. Santiago Guerra y la Ing. María Belén Aldas quienes supieron ayudarnos y brindarnos todos sus conocimientos a lo largo de la realización de este trabajo. Al personal del CICAM quienes me ayudaron a fortalecer mis conocimientos y llevarlos a la práctica, especialmente a mi mentor en el laboratorio Jairo.

A los Maitos, mi grupo de amigos universitarios, sin ustedes esta etapa de mi vida no hubiera sido la misma. A mis amigos de La Concordia, los hermanos que el destino puso en mi camino.

A Yesenia, quien en esta última parte de mi etapa universitaria, supo apoyarme y sacar lo mejor de mí, henos aquí Mailob!

Israel C.

Agradezco a Dios por regalarme la dicha de tener una familia tan buena que en todo momento me ha brindado su apoyo y amor. A mis padres y hermanas el pilar fundamental de mi vida quienes han estado junto a mí en toda mi vida estudiantil aconsejándome y motivándome para conseguir alcanzar mis metas.

A mis sobrinos Emily, Jonathan, Ismael y Nicolás por quienes me esfuerzo día con día por ser la mejor y así ser un ejemplo para ellos.

A mi abuelita mi querida “Mamita Chela” quien siempre ha estado para mi cuidándome, brindándome su amor y apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que conocí y con las cuales compartí a lo largo de la carrera, en especial a mis queridas amigas Valeria y Adriana por brindarme su sincera amistad siempre estando para mí aconsejándome y apoyándome en las buenas y las malas. Que

esta amistad perdure por muchos años las adoro amigas. A Israel por todo el apoyo y paciencia en la realización de este proyecto sin el apoyo mutuo no lo habríamos logrado, por muchos logros más juntos amor.

Finalmente sin duda alguna agradezco a mi querida ESFOT a mis profesores que supieron impartirme los conocimientos adecuados para crear esta pasión que siento hoy en día por mi carrera, en especial quiero expresar mis más grandes agradecimientos al Ing. Santiago Guerra y a la Ing. María Belén Aldas por su apoyo incondicional a lo largo de la realización de este proyecto.

Yesenia Lizbeth

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Justificación del tema.....	5
1.3 Objetivo general.....	6
1.4 Objetivos específicos	6
1.5 Alcance	6
1.6 Marco teórico	6
1.6.1 El agua y su importancia.....	6
1.6.2 El agua en Ecuador	7
1.6.3 Contaminación del agua.....	8
1.6.4 Calidad del agua.....	9
1.6.5 Parámetros físicos, químicos y biológicos del Agua	9
1.6.6 Parámetros Físicos	10
1.6.7 Parámetros Químicos	12
1.6.8 Parámetros Biológicos	17
1.6.9 Muestreo	18
1.6.10 Normativa aplicada	20
1.6.11 Sistema de abastecimiento del agua potable.....	21
2. METODOLOGÍA	25
2.1 Parroquia San José de Minas	25
2.1.1 Características del Lugar	26
2.2 Establecimiento de los puntos de monitoreo	29
2.2.1 Punto 1 “Vertiente El Girón”	29
2.2.2 Punto 2 “Tanque de Captación”	30
2.2.3 Punto 3 “Tanque de Desinfección”	32
2.2.4 Punto 4 “Casa Inicial (primera casa donde se distribuye el agua)”	33
2.2.5 Punto 5 “Casa Inicial tramo norte”	34
2.2.6 Punto 6 “Casa final tramo norte”	34
2.2.7 Punto 7 “Casa Inicial tramo sur”	34
2.2.8 Punto 8 “Casa final tramo sur”	34
2.2.9 Ubicación por GPS	34
2.3 Medición de parámetros <i>In-Situ</i>	36

2.3.1	Medición de Temperatura	38
2.3.2	Medición de Conductividad	38
2.3.3	Medición de Salinidad	38
2.3.4	Medición de Turbiedad	39
2.3.5	Medición de pH	39
2.3.6	Medición de Oxígeno Disuelto	40
2.3.7	Medición de Cloro Residual	40
2.4	Recolección, preservación y transporte de muestras	40
2.4.1	Recolección de las muestras	41
2.4.2	Preservación de las muestras	45
2.4.3	Transporte de las muestras	47
2.5	Análisis de los parámetros en laboratorio	47
2.5.1	Medición de Coliformes Totales	47
2.5.2	Medición de Coliformes Fecales	51
2.5.3	Medición de Dureza	53
2.5.4	Medición de DBO ₅	54
2.5.5	Medición de DQO	56
2.5.6	Medición de Oxígeno Disuelto	57
2.5.7	Medición de Sólidos Disueltos y Suspendidos Totales	60
2.5.8	Medición de Hierro Total	62
2.5.9	Medición de Cloruros	63
2.5.10	Medición de Color Real	64
2.5.11	Medición de Cobre	65
2.5.12	Medición de Nitritos	65
2.5.13	Medición de Nitratos	65
2.5.14	Medición de Manganeseo	66
2.5.15	Medición de Fosfatos	66
2.6	Comparación de resultados con respecto a la norma vigente	67
2.7	Análisis del proceso de potabilización existente	67
2.8	Determinación de la dosis adecuada de cloro mediante el método yodométrico 72	
2.9	Propuesta de Mejora de Mantenimiento del Sistema y Proceso de Desinfección 77	
2.10	Determinación del Índice de Calidad del Agua ICA en el Punto 1 “Vertiente” 78	
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
3.1	Recorrido puntos GPS	81

3.2	Evaluación de parámetros analizados	81
3.3	Evaluación de resultados obtenidos en el método yodométrico para la demanda de cloro	102
3.4	Evaluación del resultado del Índice de Calidad del Agua en el Punto 1 “Vertiente el Girón”	105
3.5	Comparación de resultados con respecto a la normativa vigente	107
3.6	Propuesta de mejora de Mantenimiento del Sistema y Proceso de Desinfección 112	
3.7	Socialización de Resultados.....	113
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
4.1	Conclusiones.....	114
4.2	Recomendaciones	116
5	BIBLIOGRAFÍA.....	117
6	ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.
1.	INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.	OBJETIVO GENERAL	¡Error! Marcador no definido.
3.	ALCANCE.....	¡Error! Marcador no definido.
4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	¡Error! Marcador no definido.
4.1	Agua Potable.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2	Desinfección	¡Error! Marcador no definido.
4.3	Conexión Domiciliaria.....	¡Error! Marcador no definido.
4.4	Fugas.....	¡Error! Marcador no definido.
4.5	Red de Distribución	¡Error! Marcador no definido.
4.6	Tanque de Almacenamiento	¡Error! Marcador no definido.
4.7	Mantenimiento	¡Error! Marcador no definido.
	• Mantenimiento preventivo:.....	¡Error! Marcador no definido.
	• Mantenimiento correctivo:.....	¡Error! Marcador no definido.
4.8	Manual de Mantenimiento	¡Error! Marcador no definido.
5.	GENERALIDADES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO;	¡Error! Marcador no definido.
6.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN;	¡Error! Marcador no definido.
7.	PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	¡Error! Marcador no definido.
8.	DESARROLLO DE MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS Y LAVADO DE LOS TANQUES	¡Error! Marcador no definido.
9.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA;	¡Error! Marcador no definido.

9.1	Captación	; Error! Marcador no definido.
9.2	Conducción	; Error! Marcador no definido.
9.3	Tanque de Desinfección.....	; Error! Marcador no definido.
9.4	Distribución	; Error! Marcador no definido.
10.	DESINFECCION DEL TANQUE DE CLORACIÓN;	Error! Marcador no definido.
11.	SEGUIMIENTO Y CONTROL	; Error! Marcador no definido.
12.	BIBLIOGRAFÍA	; Error! Marcador no definido.
13.	ANEXOS	; Error! Marcador no definido.
4.1	13.1 ANEXO I.....	; Error! Marcador no definido.
13.2	ANEXO II.....	; Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del agua según su grado de dureza	13
Tabla 2. Crecimiento Demográfico San José de Minas	27
Tabla 3. Descripción Puntos GPS.....	36
Tabla 4. Parámetros <i>in-situ</i>	37
Tabla 5. Preservación de acuerdo al análisis a realizar	46
Tabla 6. Tubos Positivos Coliformes Totales.....	50
Tabla 7. Tubos Positivos de Coliformes fecales	52
Tabla 8. Volumen de DBO ₅ en base a DQO	54
Tabla 9. Rango de DQO	56
Tabla 10. Solubilidad del oxígeno en agua a una presión de 1 atm y 0°C	59
Tabla 11. Ponderaciones de Parámetros	78
Tabla 12. Funciones para el Cálculo del Subíndice.....	79
Tabla 13. Estimación del Índice de Calidad del Agua	80
Tabla 14. Resultados Obtenidos por punto de muestreo	82
Tabla 15. Evaluación Cloro Libre Residual	102
Tabla 16. Evaluación ICA	106
Tabla 17. Escala de Valoración ICA	107
Tabla 18. Comparación de Resultados Obtenidos por punto de muestreo con INEN	108
Tabla 19. Comparación de Resultados Obtenidos por punto de muestreo	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caja colectora para captar aguas de vertientes.....	22
Figura 2. Mapa Base San José de Minas	26
Figura 3. Red Hidrológica San José de Minas.....	28
Figura 4. Vertiente El Girón	29
Figura 5. Captación	30
Figura 6. Tanque de captación.....	31
Figura 7. Salida de tubería del Tanque de Captación	32
Figura 8. Tanque de Desinfección	32
Figura 9. Salida de Tubería del Tanque de Desinfección.....	33
Figura 10. Puntos de referencia	34
Figura 11. Esquema Sistema de Distribución de Agua	35
Figura 12. Medición de Parámetros <i>In-Situ</i>	37
Figura 13. Medición Conductividad.....	38
Figura 14. Medición Turbiedad	39
Figura 15. Medición pH	39
Figura 16. Medición Cloro Residual	40
Figura 17. Toma de Muestras	42
Figura 18. Toma Muestras Físicas – Químicas	43
Figura 19. Toma Muestra Microbiológica.....	44
Figura 20. Preservación Muestra Oxígeno Disuelto.....	45
Figura 21. Coliformes Totales	50
Figura 22. Coliformes Fecales.....	52
Figura 23. Análisis Dureza	53
Figura 24. Análisis DBO ₅	55
Figura 25. Análisis DQO	57
Figura 26. Análisis Oxígeno Disuelto	58

Figura 27. Factor de Corrección de Saturación de Oxígeno.....	60
Figura 28. Análisis Sólidos Disueltos Totales.....	61
Figura 29. Análisis Hierro Total.....	63
Figura 30. Análisis Cloruros.....	63
Figura 31. Análisis Color Real	64
Figura 32. Análisis Nitratos.....	66
Figura 33. Análisis Fosfatos	67
Figura 34. Captación de Agua de la Vertiente.....	68
Figura 35. Tubería de Captación	68
Figura 36. Manguera de Conducción Expuesta.....	69
Figura 37. Tanque de Desinfección.....	70
Figura 38. Chimenea de Extracción de Gases	70
Figura 39. Mangueras de Distribución	71
Figura 40. Determinación de Dosificación.....	72
Figura 41. Titulación con Tiosulfato de Sodio.....	73
Figura 42: Valores de “k” en plantas con remoción del 95% al 99%	75
Figura 43: Valores de “k” en plantas con remoción del 90% al 95%	75
Figura 44: Valores de “k” en plantas con remoción menor al 90%	76
Figura 45. Recorrido GPS Puntos de Muestreo.....	81
Figura 46. Resultados Conductividad y Sólidos Disueltos Totales.....	84
Figura 47. Resultados Color Real.....	85
Figura 48. Resultados Turbiedad y Sólidos Suspendedos Totales.....	86
Figura 49. Resultados Temperatura.....	87
Figura 50. Resultados pH	88
Figura 51. Relación pH y Temperatura	89
Figura 52. Resultados Dureza.....	90
Figura 53. Resultados Cloruros	91
Figura 54. Resultados oxígeno disuelto.....	92

Figura 55. Comparación medición <i>in situ</i> y en laboratorio de oxígeno disuelto.....	93
Figura 56. Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto.....	93
Figura 57. Resultados Hierro Total	94
Figura 58. Resultados Fosfatos.....	95
Figura 59. Resultados Nitritos	96
Figura 60. Resultados Nitratos	97
Figura 61. Resultados Cobre	98
Figura 62. Resultados DBO ₅ y DQO.....	99
Figura 63. Resultados Coliformes Totales	100
Figura 64. Resultados Coliformes Fecales	101
Figura 65. Cloro libre residual vs Hipoclorito de calcio necesario	103
Figura 66. Exposición de Resultados ante la Comunidad	114

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo Coliformes Totales	50
Ecuación 2. Cálculo coliformes fecales.....	52
Ecuación 3 Cálculo de Dureza Total	53
Ecuación 4. Cálculo de DBO ₅	55
Ecuación 5. Cálculo Oxígeno Disuelto.....	58
Ecuación 6. Cálculo solidos disueltos totales.....	61
Ecuación 7. Cálculo solidos disueltos totales.....	62
Ecuación 8. Cálculo cloruros.....	64
Ecuación 9. Cálculo Cloro Residual.....	73
Ecuación 10. Cálculo Hipoclorito de calcio Añadido en mg/L.....	74
Ecuación 11. Calculo tiempo de retención	74
Ecuación 12. Cálculo cantidad de Ca(ClO) ₂	76
Ecuación 13. Cálculo del Volumen del Tanque	77
Ecuación 14. Cálculo del volumen adecuado del tanque	77
Ecuación 15. Cálculo del ICA NSF.....	80

RESUMEN

El presente proyecto pretende evaluar la calidad del agua de consumo humano de la Junta Administradora de Agua Potable del barrio Ascilla Bajo de la Parroquia San José de Minas, a partir de la evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la misma.

Para esto se inició con la realización de visitas guiadas con el objetivo de evaluar las condiciones en las que se encontraba el sistema y establecer los puntos a muestrear, una vez establecido esto se realizó el muestreo en ocho puntos: la vertiente, tanque de captación, tanque de desinfección, y cinco diferentes domicilios. En primera instancia se evaluaron los parámetros que por sus propiedades necesitan realizarse inmediatamente *In-situ*, para lo cual se emplearon los correspondientes equipos de campo aptos para este fin. Una vez concluido este paso se realizó el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de cada una de las muestras en laboratorio.

Los resultados obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI, Anexo I reformado, y la Norma INEN NTE 1108:2011, el cual establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano. Es así que se determinó que se cumple con los límites máximos permisibles en todos los parámetros a excepción de: Demanda Química de Oxígeno y Coliformes Fecales. Para lo cual se recomendó realizar un mantenimiento adecuado del sistema de abastecimiento acompañado de una correcta desinfección del agua.

A su vez se verificó el estado actual del sistema de conducción, procediendo a la elaboración de la Propuesta de Manual de Mantenimiento de las Estructuras y Mejora del Proceso de Desinfección al Sistema de Distribución de Agua para la Directiva de la Junta de Agua Potable del Barrio Ascilla Bajo.

Finalmente, en una asamblea ante la comunidad se realizó la socialización en la cual se presentó los resultados obtenidos, además de las propuestas tanto de mantenimiento como de mejora del proceso desinfección.

ABSTRACT

The present project wants to evaluate the quality of the water of human consumption of the Administratives of Potable Water of the Ascilla Bajo neighborhood of the San José de Minas, based on the evaluation of its physical, chemical and microbiological parameters.

For this, it began with guided tours with the objective of evaluating the conditions in which the system was located and establishing the points to be sampled, once this was established, sampling was done at eight points: the slope, storage tank, disinfection tank, and five different addresses. In the first instance, the parameters that, due to their properties, need to be carried out immediately On-site were evaluated, for which the corresponding field equipment suitable for this purpose was used. Once this step was completed, the analysis of physical, chemical and microbiological parameters of each of the laboratory samples was performed.

The results obtained were compared with the maximum permissible limits established by the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULSMA) Book VI, Annex I amended, and INEN Standard NTE 1108: 2011, which establishes the requirements that water must meet Potable for human consumption. Thus, it was determined that the maximum permissible limits are met in all parameters except for: Chemical Oxygen Demand and Fecal Coliforms. For which it is recommended to perform proper maintenance of the supply system accompanied by proper water disinfection.

At the same time, the current state of the conduction system was verified, proceeding with the preparation of the Proposal for the Maintenance of the Structures and Improvement of the Disinfection Process for the Water Distribution System for the Directive of the Neighborhood Ascilla Bajo.

Finally, in an assembly before the community the socialization was carried out in which the results obtained were presented, in addition to the proposals for both maintenance and improvement of the disinfection process

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Se estima que la demanda del agua aumente en 1% en todo el mundo, en especial en los países en vías de desarrollo, mientras que en Ecuador la demanda ha incrementado en un 16% a partir del año 2007 hasta el 2017

A diciembre de 2017, la ciudad de Quito encabezó el ranking de cobertura con un 99,27%, sin embargo, en cantones más pequeños la cobertura es menor, con un promedio del 55%, razón por la cual en vista de la necesidad de abastecerse de este líquido vital, varias comunidades han creado sus propias juntas de agua, las cuales se abastecen de fuentes hídricas naturales (EPMAPS, 2018).

Regularmente los recursos hídricos se obtienen de aguas superficiales o de aguas subterráneas. El uso de las mismas depende de varios factores, siendo el principal la disponibilidad de cada recurso. Normalmente las aguas superficiales ofrecen cantidades mayores de agua a corto plazo, mientras que las subterráneas son un recurso más constante, al menos, a mediano plazo (Cirelli, 2012).

Las fuentes naturales, como las vertientes, se encuentran expuestas a varias fuentes de contaminación, tal que es el caso de las aguas subterráneas, las cuales se ven afectadas debido a impurezas naturales originadas por el material geológico en el cual se moviliza el agua como hierro, cobre y cloruros (Lenntech BV, 2016). De igual forma existe la posibilidad de contaminación microbiológica de las aguas subterráneas originadas por la propagación de bacterias o virus introducidos por medio de infiltración en la tierra, provenientes de vertidos de productos fecales de origen humano o animal cuyos efectos son enfermedades gastrointestinales en los usuarios de esta agua (IGME, 1985).

A 80 kilómetros de Quito, aproximadamente a dos horas, se encuentra la parroquia San José de Minas, al límite con la provincia de Imbabura. Su población se asienta a 2480 metros sobre el nivel del mar (Collaguazo, 2015). Cuenta con alrededor de 33 barrios, de los cuales el 63,50% de las familias que habitan en toda la parroquia reciben agua potable a partir de la red pública,

siendo el 93,50% correspondiente al centro del poblado de San José de Minas, mientras que el 28,60% restante de la población se abastece ya sea de ríos, vertientes, acequias o canales, un 3,30% por pozo y únicamente un 0,40% por medio de carros repartidores (Tumipamba, 2016)

A 10 kilómetros del centro de San José de Minas, se encuentra el barrio Ascilla Bajo, el cual se encuentra conformado por alrededor de 20 familias, quienes poseen un promedio de 3 hectáreas de terreno cada una en las cuales se asientan sus casas y cultivos. Adicionalmente, tienen como principal fuente de ingresos económicos la producción agrícola y la cría de ganado bobino, avícola y porcino (Tumipamba, 2016).

Debido a la lejanía del barrio Ascilla Bajo del centro de la ciudad, la red pública de agua potable no logra abastecer a la población de este sector, razón por la cual se capta agua de una vertiente ubicada 30 minutos a pie, montaña arriba. Cabe mencionar que el agua de esta vertiente se encuentra concesionada a un caudal de 0.63 L/s para el consumo de barrio como se muestra en el Anexo IV, pero en la actualidad el caudal es menor al citado en dichos documentos. Ésta agua únicamente recibe un proceso de cloración previa a la distribución hacia la población, proceso que se realiza de manera empírica por parte de los administradores de la Junta de agua (S. Ruiz, comunicación personal, 2019).

Esta comunidad se encuentra habitada en su mayoría por personas de avanzada edad, quienes podrían contraer enfermedades de origen hídrico debido a la falta de estudios realizados en la zona que certifiquen que el agua que consumen es de buena calidad, asegurando así la salud de la comunidad (S. Ruiz, comunicación personal, 2019).

Los adultos mayores son sujetos susceptibles a contraer enfermedades de origen hídrico por el consumo de agua que no posee las condiciones idóneas para considerarse como ser potable (GTZ. PROAPAC, 2008)

Una adecuada operación y mantenimiento del sistema contribuye a cumplir con estándares de calidad y por lo tanto, a la satisfacción de las familias usuarias del sistema, la falta de estas operaciones resulta en problemas de conducción de líquido vital a la comunidad como lo son contaminación por falta de limpieza en las estructuras y fugas y roturas de tuberías, lo cual se ve

reflejado en la disminución de caudal en los domicilios y cambios en las propiedades del agua (Arteaga & AGUATUYA, 2012).

1.2 Justificación del tema

Según la Organización Mundial de la Salud la calidad del agua potable es un tema de gran interés, ya que el agua es considerada como el recurso esencial para la vida y todas las personas deberían de disponer de un suministro satisfactorio (OMS, 2012). En julio del 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua (ONU, 2010).

La calidad de agua y la salud humana se encuentran estrechamente relacionadas, ya que éstas se consideran esenciales en la prevención de enfermedades hídricas y en el mejoramiento de la calidad de vida (Charron, 2012).

Se considera tanto al aprovisionamiento de agua potable y la evacuación de las excretas como dos de las prioridades máximas en la atención a las comunidades las cuales se encuentran en situaciones de calamidad y subdesarrollo. Por lo cual, el brindar una solución a estas necesidades básicas se considera como un beneficio inmediato hacia la población, ya que así se mejoran las condiciones de salubridad y a su vez se presentan mayores posibilidades de desarrollo humano (Rebollo Ferreiro & Loeches Garrido, 2008).

Realizar una correcta desinfección evita la transmisión de enfermedades causadas por la propagación de microorganismos patógenos, para lo cual existen distintas formas de desinfección como lo son: el cloro libre, dióxido de cloro, ozono y radiación UV. Cada uno de los desinfectantes que se emplean comúnmente tiene sus ventajas e inconvenientes en función de su costo, eficacia, estabilidad, facilidad con que se aplique y formación de productos secundarios de la desinfección (González et al., 2006).

El cloro es el desinfectante utilizado con mayor frecuencia debido a su eficiencia y costo económico, además de que su dosificación resulta ser sencilla de aplicar (Lopez, 1990).

Todo sistema de distribución de agua para asegurar una correcta conducción debe contar un mantenimiento adecuado de sus estructuras con el fin de proporcionar una dotación de agua

adecuada y de excelente calidad, es por eso que un Manual de Mantenimiento permitirá explicar las principales tareas del operador para manejar y mantener el sistema en condiciones óptimas (Arteaga & AGUATUYA, 2012).

1.3 Objetivo general

Evaluar la calidad de agua para consumo humano de la Junta Administradora de Agua Potable del barrio Ascilla Bajo de la Parroquia San José de Minas.

1.4 Objetivos específicos

1. Determinar la calidad del agua mediante la constatación de los valores de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua cruda y de consumo con los límites máximos permisibles establecidos en las normativas correspondientes y la valoración del Índice de Calidad del Agua (ICA).
2. Proponer un manual de mantenimiento de las estructuras y mejora del proceso de desinfección al sistema de distribución de agua para la directiva de la Junta Administradora de Agua Potable del barrio Ascilla Bajo.
3. Socializar los resultados obtenidos y el manual de mantenimiento con los habitantes del barrio Ascilla Bajo.

1.5 Alcance

Este trabajo pretende brindar una solución a la problemática del barrio Ascilla Bajo ubicado en la parroquia San José de Minas. Para lo mencionado se plantea determinar la calidad de agua de abastecimiento para consumo humano mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y así precisar si necesita un tratamiento extra previo a su distribución o si el proceso de desinfección que se realiza en la actualidad a través del uso de hipoclorito de calcio es suficiente en el tanque de reserva del sistema de distribución de agua con el que cuenta el barrio.

1.6 Marco teórico

1.6.1 El agua y su importancia

El agua es uno de los recursos indispensables para la vida, usada por los seres humanos, con el fin de solventar sus actividades básicas como lo son: consumo y uso doméstico, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, maricultura, agricultura, navegación, transporte acuático, entre otras. Se encuentra disponible en: los océanos, la atmósfera, lagos, ríos, glaciares y aguas subterráneas. Sin embargo, a pesar de contar con varias fuentes hídricas, en su mayoría éstas no son aptas para el consumo humano como el agua de los océanos, debido a la salinidad que presenta, y someterlas a un tratamiento con el fin de que sean aptas para el consumo humano resulta sumamente costoso (Sierra Ramírez, 2011).

Entre las fuentes hídricas se encuentran las aguas subterráneas, originadas del agua lluvia infiltrada a través del subsuelo hacia los acuíferos. Éstas pueden ser captadas mediante nacientes, pozos, galerías filtrantes y manantiales. En general se encuentran expuestas a varios contaminantes como: partículas orgánicas, inorgánicas, microorganismos, pesticidas, entre otros; es conocido que estas aguas son consideradas de excelente calidad ya que al circular por las diferentes capas del manto freático, el suelo tiene la capacidad de retener varios de los contaminantes antes mencionados mejorando así su calidad, no obstante es recomendable la desinfección de las mismas ya que así garantizamos la prevención de enfermedades de origen hídrico (Lampoglia et al., 2008).

Las aguas superficiales son aquellas provenientes de fuentes de agua dulce como son lagunas, lagos, ríos, arroyos entre otros. Al encontrarse expuestas al ambiente, éstas resultan ser susceptibles a la contaminación, razón por la cual es recomendable evaluar su calidad previo a su uso (Sierra Ramírez, 2011).

1.6.2 El agua en Ecuador

La Secretaria Nacional del Agua, menciona en el diagnóstico de la información estadística del agua de 2012 que en el Ecuador el abastecimiento de líquido vital se realiza tanto por medio de fuentes superficiales como de fuentes subterráneas, sin embargo la mayoría de la población es abastecida por aguas subterráneas debido a su accesibilidad. Sea cualquiera el caso, éstas son usadas tanto para consumo como para la realización de diferentes actividades productivas, como el riego (CEPAL, 2012).

Según la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) se estableció que el consumo predominante de líquido vital en el país se da en la agricultura ya que esta representa un 80% del caudal utilizado, seguido por el uso doméstico con un 13% y la industria con un 7% (CEPAL, 2012).

Ecuador es considerado el país con mayor consumo de agua potable de América Latina, debido al consumo excesivo y al desperdicio del recurso por parte de la población, motivo por el cual se requiere alrededor de 237 L/hab/día para solventar esta demanda. Teniendo en cuenta que el promedio de los demás países latinoamericanos la dotación es de 169 L/hab/día (Sorgato, 2015).

Existen distintas entidades encargadas del control y del abastecimiento de las mismas. En el área urbana el manejo del abastecimiento de agua potable se realiza por medio de las Municipalidades y Empresas de Agua Potable, cuyos directivos principales son renovados con el cambio de las autoridades municipales en la mayor parte de los casos, mientras que en el área rural además de las entidades antes mencionadas anteriormente, se le adiciona la formación de Juntas de agua que se encuentran encargadas del manejo de sus fuentes hídricas (Galárraga Sánchez, 2000).

1.6.3 Contaminación del agua

La contaminación del agua consiste en la alteración de las propiedades iniciales que esta posee, existen varios tipos de contaminación entre los que se tiene:

- Antropogénica: Se trata de toda aquella contaminación generada por la producción de residuos de origen doméstico y público, mediante la descarga de inodoros, el lavado de ropa, el uso en duchas, limpieza, entre otros.
- Industrial: originada por las descargas provenientes de actividades que impliquen la transformación de los recursos naturales en bienes de consumo.
- Agropecuarias: producidas por las descargas de desechos originados por la crianza de ganado y a su vez por los residuos de la producción agrícola como agroquímicos y nutrientes, que por medio de la escorrentía se dirigen hacia los cuerpos receptores.
- Naturales: producidas por el arrastre de materia orgánica y excretas de animales silvestres, mediante la escorrentía de origen pluvial, a su vez puede ser producida como consecuencia de la erosión del suelo ya que esta da origen a la formación de productos orgánicos (Ramos Olmos, 2003).

Se consideran varios tipos de contaminación de las fuentes hídricas, entre los cuales están:

- Contaminación del agua subterránea: producida mediante la infiltración de los contaminantes por las diferentes capas del suelo hasta llegar al acuífero, una vez concluido su viaje, por medio del movimiento y de las dispersiones se produce que los contaminantes lleguen a la salida del agua, ya sea en los pozos, ojos de agua, manantiales, entre otros (CEPAL, 2012).
- Contaminación de los recursos hídricos superficiales: causada por la generación de residuos de origen municipal, industrial, por residuos de la agricultura, la crianza de animales, la minería, el petróleo y otros desperdicios sólidos urbanos, en conjunto, que por descargas llegan a ser parte de los cuerpos hídricos. Esta contaminación produce efectos negativos para la salud de la población (CEPAL, 2012).

1.6.4 Calidad del agua

Se basa en el análisis de las características físicas, químicas y biológicas del agua con el fin de garantizar que ésta se encuentre en excelentes condiciones para los usos que se le pretenda otorgar. La calidad presenta variaciones, las cuales pueden ser causadas tanto por factores externos e internos, como lo es la contaminación (Sierra Ramírez, 2011).

La contaminación del agua es un factor sumamente importante cuando se habla de calidad del agua, debido a que ésta produce serios problemas con el uso de este recurso ya que causa daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas e interferencias sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, entre otras. La determinación de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas a partir del análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos, o ya sea mediante la utilización de un Índice de Calidad del Agua (Sierra Ramírez, 2011).

1.6.5 Parámetros físicos, químicos y biológicos del Agua

Con el fin de establecer las condiciones en las que se encuentra una fuente de agua y asegurar su calidad es necesario medir ciertos parámetros los cuales están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Para esto existen varios métodos para sus mediciones que son estandarizados y establecidos por el “Standard Methods for Water and Wastewater Examination 1998”; el uso del

mismo se realiza con el fin de unificar los criterios y los métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio (Sierra Ramírez, 2011).

1.6.6 Parámetros Físicos

Se consideran como parámetros físicos a aquellos que tienen la posibilidad de modificar las condiciones organolépticas del agua (Sierra Ramírez, 2011).

Color

El color del agua se presenta principalmente por la presencia de materia orgánica, en su mayoría materia húmica, la cual está compuesta por ácidos fúlvico y húmico, que producen un color amarillento en el agua. De igual forma la presencia de partículas suspendidas en especial las de tamaño coloidal como son las arcillas, las algas, el hierro y los óxidos de magnesio, las cuales dan color al agua (Chacón Chaquea, 2016).

El color real producido por los sólidos disueltos, es aquel que posee el agua una vez que se han removido las partículas causantes de turbiedad. Es decir es aquel que presenta la muestra una vez que ha sido filtrada (Sierra Ramírez, 2011).

El color aparente proporcionado por los sólidos suspendidos, es el color que posee el agua debido a la presencia de partículas que producen turbiedad. En palabras simples es el color que presenta el agua sin someterse a ningún proceso de filtración (Sierra Ramírez, 2011).

La presencia de color en el agua puede causar distintos problemas, el principal es la afección a la estética del recurso, además debido a que el color verdadero es causado por sustancias orgánicas las cuales demandan cloro, producen que se minimice la eficiencia del mismo, reduciendo así la eficiencia de desinfección (Campos Gómez, 2000).

Turbiedad

La turbiedad en el agua se produce debido a la presencia de material suspendido y coloidal, materia orgánica e inorgánica, y otros microorganismos microscópicos. La turbiedad es una propiedad óptica que produce la dispersión y la absorción de la luz en lugar de su transmisión. Al existir materia suspendida se afectan las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión.

Las partículas compuestas por materiales que absorben la luz en concentraciones significativas producen interferencias al momento de su medición (Chacón Chaquea, 2016).

Para la medición de turbiedad se utiliza el método Nefelométrico, el cual consiste en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbiedad. El equipo empleado es un Turbidímetro (nefelómetro), el cual ofrece la lectura directa de turbiedad en unidades Nefelométricas de turbiedad (NTU) (Severiche et al., 2013).

Conductividad

La conductividad consiste en la capacidad que posee una sustancia para transportar una corriente eléctrica, ésta depende de varios factores como: presencia de iones, concentración total y relativa, movilidad y valencia. Uno de los factores más influyentes en la medición de la conductividad es la temperatura. Su unidad de medida se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$, se realiza por medio del método electrométrico y se realiza mediante el Conductímetro (Chacón Chaquea, 2016).

Salinidad

Las sales son disociadas en el agua como cationes y aniones, estas partículas son cargadas eléctricamente, lo que permite la conducción de la electricidad. Su medición se realiza mediante un medidor de conductancia y su unidad de medida es ppt (Chacón Chaquea, 2016).

Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes ya que la biota presente en el agua depende de forma directa de ésta. La temperatura posee incidencia directa o indirecta con las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en el agua, así mismo con la solubilidad de los gases. Al existir cambios en la temperatura se presenta un cambio en la cantidad de nutrientes y gases solubles, entre ellos el más importante el oxígeno. Es así que a mayor temperatura se acelera la disolución de los sólidos, sin embargo disminuye la solubilidad de los gases por lo cual no se produce la oxidación de los elementos orgánicos (Campos Gómez, 2000).

Su medición se puede realizar por medio de cualquier equipo portátil como: el Conductímetro, oxímetro, pH metro o sonda multiparamétrica. Su unidad de medida son los grados centígrados (°C) (Severiche et al., 2013).

Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales consisten en las sustancias que permanecen después de someter al agua a un proceso de filtración y evaporación, bajo condiciones específicas. Éstos se determinan mediante la realización de una diferencia de pesos entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales (Severiche et al., 2013).

Los efectos más notables de los sólidos disueltos en el agua se evidencian en la disminución de su calidad, ya que poseen propiedades cancerígenas o tóxicas debido a la combinación de estos con otros elementos (Campos Gómez, 2000).

Así también la materia disuelta en el agua, posee efectos negativos en su calidad, ya que afecta su estética, lo cual evita el consumo de la misma (Chacón Chaquea, 2016).

Sólidos Suspendidos Totales

Son todas aquellas sustancias que se encuentran suspendidas en el agua y que no decantan de forma natural, éstos hacen referencia a la materia orgánica e inorgánica particulada existente en el agua. La presencia de sólidos en suspensión se encuentra estrechamente relacionada con la turbidez y el color del agua (Chacón Chaquea, 2016).

1.6.7 Parámetros Químicos

Los parámetros químicos son aquellos que se encuentran relacionados con la capacidad del agua de disolver diversas sustancias, éstos resultan un tanto complicados de analizar, por lo que es necesario que su análisis se realice en un laboratorio.

Potencial Hidrógeno (pH)

El pH es un parámetro que mide la concentración de iones hidrógeno presentes en el agua, éste se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin embargo esto no quiere decir que mida la alcalinidad total ni la acidez total. Éste se ve afectado por la

temperatura ya que cuando la temperatura aumenta el pH disminuye y viceversa (Chacón Chaquea, 2016).

Dureza

Se define a la dureza como la suma de las concentraciones de iones de calcio y magnesio presentes en el agua. Se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes lo cual hace que sea capaz de reaccionar con los jabones y formar precipitados esto resulta negativo ya que se da la formación de incrustaciones (Chacón Chaquea, 2016).

Como se muestra en la tabla 1 las aguas se clasifican según el grado de dureza en:

Tabla 1. Clasificación del agua según su grado de dureza

Fuente: (Chacón Chaquea, 2016)

Clasificación	Dureza (mg/L de CaCO₃)
Blandas	0-75
Moderadamente duras	75-150
Duras	150-300
Muy duras	>300

Cloruros

Los cloruros son aniones que se encuentran presentes en las aguas naturales, su concentración es variable siendo mayor cuando aumenta el contenido mineral del agua. Las altas concentraciones de cloruros dan al agua un sabor salado. El método Argentométrico es recomendado para la determinación de aguas relativamente claras (Chacón Chaquea, 2016).

Se encuentran en el agua natural debido a la presencia de éstos en los suelos y rocas. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales (ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A., 2012).

Cloro Residual

Consiste en la concentración de cloro presente en el agua una vez realizada la dosificación del mismo, en un tiempo de contacto necesario para realizar su acción oxidante, en el que se ha

consumido parte del mismo. Este se determina mediante la aplicación del método colorimétrico con el uso de ortotoluidina (Chacón Chaquea, 2016).

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto se considera necesario para la vida de los peces y otros organismos acuáticos. El oxígeno es soluble en el agua, sin embargo esto depende de varios factores como: la solubilidad, la temperatura, la salinidad, la turbulencia del agua y la presión atmosférica. Éste disminuye cuando aumenta la temperatura, la salinidad y cuando disminuye la presión atmosférica. Su determinación se realiza en laboratorio mediante el método Winkler (también llamado yodométrico) o *in situ* mediante electrometría (Severiche et al., 2013).

Los organismos aerobios consumen el oxígeno, lo que produce bajas concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de la saturación recomendada la cual no debe ser menor al 80 por ciento (Cortés Nodarse, 2015).

El porcentaje de saturación hace referencia a la cantidad de oxígeno disuelto presente en una muestra de agua, el cual se compara con la cantidad máxima que puede estar presente a la misma temperatura. Cuando un agua se encuentra saturada al 100% quiere decir que contiene la cantidad máxima de oxígeno (Cortés Nodarse, 2015).

Hierro

La presencia de hierro en el agua subterránea se da debido a la disolución de rocas, minerales y principalmente a óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos que contienen este metal (Chacón Chaquea, 2016).

Las aguas que presentan altos contenidos de este metal, al entrar en contacto con el aire, se puede precipitar, originando sólidos sedimentable y coloración de las aguas. Su presencia imposibilita el uso del agua en algunas actividades industriales y posibilita el crecimiento de las bacterias del hierro (Sierra Ramírez, 2011).

Las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de hierro ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen

tener más hierro produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos cuya eliminación y potabilización puede ser problemática (Espinoza Valencia, 2011).

El hierro se presenta en los suelos y minerales como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, así también se presenta como carbonato ferroso el cual es poco soluble (Sierra Ramírez, 2011). El agua subterránea contiene cantidades apreciables de CO_2 , producido por la oxidación bacteriana de la materia orgánica con la cual se encuentra en contacto, lo que puede disolver cantidades apreciables de carbonato ferroso. Cuando el hierro se encuentra presente en el suelo como compuestos férricos insolubles se presenta un gran problema ya que si existe oxígeno disuelto en el agua, la solubilidad de estas soluciones de hierro no ocurren, aun en presencia de suficiente CO_2 . Sin embargo en condiciones anaerobias el hierro férrico es reducido a hierro ferroso y la solución ocurre sin ninguna dificultad (Romero, 2009).

Manganeso

El manganeso se encuentra en grandes proporciones en las rocas metamórficas y sedimentarias, debido a que los minerales manganíferos son menos abundantes que los férricos se encuentran con mayor frecuencia en el agua subterránea, es así que sus concentraciones suelen ser entre 10 y 2 mg/L. Con el fin de eliminarlo del agua se realizan varios métodos entre ellos precipitación química, ajuste de pH y aireación (Chacón Chaquea, 2016).

El manganeso se encuentra principalmente en el suelo en forma de dióxido de manganeso, el cual es insoluble en aguas que contienen CO_2 , ya que en condiciones anaeróbicas el dióxido es reducido de una valencia +4 a +2 y se presenta su solución de igual forma como sucede como el hierro (Romero, 2009).

Relación hierro y manganeso

El hierro y el manganeso son parámetros que se encuentran estrechamente relacionados. Ambos son solubles en el agua por cambios en condiciones ambientales producidas por acción biológica. Las aguas subterráneas que contienen cantidades apreciables de hierro o manganeso carecen de oxígeno disuelto y poseen un alto contenido de CO_2 , el alto contenido de CO_2 indica que se ha producido oxidación bacteriana de la materia orgánica, mientras que la ausencia de oxígeno disuelto indica la existencia de condiciones anaeróbicas. El hierro y el manganeso se encuentran

presentes como Fe^{3+} y Mn^{4+} en sus formas más estables, sin embargo en medios anaerobios estos pasan a Fe^{++} y Mn^{++} . Que son los que causan problemas posteriores como tinciones en los accesorios de plomería, incrustaciones en las tuberías y dificultades en los sistemas de distribución, debido al crecimiento de bacterias de hierro y manganeso que ocasionan altas demandas de cloro (Romero, 2009).

Fosfatos

En las aguas naturales, el fósforo se presenta en su mayoría en forma de fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y fosfatos enlazados orgánicamente. Se encuentran en solución, en partículas o en cuerpos de los organismos acuáticos (Severiche et al., 2013).

Nitritos

Se consideran fácilmente oxidables a la forma de nitrato, en aguas superficiales crudas los nitritos se consideran como indicadores de contaminación. Debido a que el nitrito es formador de ácido nitroso en solución ácida, cuya mezcla con aminas secundarias forma las nitroso-aminas las cuales resultan cancerígenas se debe tener un cuidadoso control (Sierra Ramírez, 2011).

Nitratos

Los nitratos son uno de los contaminantes más frecuentes presentes en el agua subterránea estos son producidos principalmente por el uso de fertilizantes, sistemas sépticos y almacenamiento de estiércol, son arrastrados por la escorrentía y que acaban formando parte del agua subterránea. Su control en el agua de consumo es de suma importancia ya que puede causar metahemoglobina (color azul de la piel) en los infantes alimentados con leche preparada. La enfermedad es producida por reducción de los nitratos a nitritos dentro del sistema digestivo de estos niños (Severiche et al., 2013).

Cobre

El cobre se puede encontrar presente en las aguas de consumo ya sea por origen natural o antrópico. De manera antrópica generalmente es debido a que las cañerías se encuentran fabricadas por este material, lo que puede ocasionar problemas de sabor y color, además de

producir manchas en los artefactos sanitarios y la ropa durante el lavado, el problema más importante es que puede causar afecciones a la salud de las personas, ya que produce trastornos gastrointestinales (Sancha, 2002).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Consiste en la determinación del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua, se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar o estabilizar la materia orgánica. La determinación de la DBO conocida y aplicada es la DBO₅. Esta prueba se realiza incubando la muestra de agua en el laboratorio y al cabo de cinco días se mide el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, y los resultados se reportan en mg/L de oxígeno consumido (Sierra Ramírez, 2011).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO se utiliza para la determinación del contenido de materia orgánica degradada químicamente de una muestra de agua, para su determinación la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química y no microorganismos (Romero, 2009). Para la determinación de este parámetro se utiliza el dicromato de potasio el cual actúa como agente oxidante; este compuesto tiene la capacidad de oxidar la gran mayoría de sustancias orgánicas, además, es fácil de determinar su concentración antes y después de la prueba lo cual hace que se pueda calcular el oxígeno consumido (Sierra Ramírez, 2011).

1.6.8 Parámetros Biológicos

Coliformes Totales

Son bacterias Gram negativas, que poseen capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares. La presencia de coliformes totales indica que el cuerpo de agua total ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o animales (Sierra Ramírez, 2011).

Coliformes Fecales

Considerado un indicador indirecto de la existencia de contaminación fecal con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que las coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y de los animales (Sierra Ramírez, 2011).

1.6.9 Muestreo

El muestreo se basa en la recolección de una parte representativa de agua que a su vez sea apta para ser transportada y para ser analizada. El que una muestra se encuentre en excelentes condiciones y se obtengan resultados válidos se depende de varios factores como son: el muestreador, el custodio y los analistas, así también de una correcta preservación, de un adecuado transporte y de un correcto análisis (Barreto, 2009).

Las muestras se clasifican en:

- Muestra puntal: consiste en una muestra individual tomada de forma aleatoria, ésta es representativa de un determinado momento.
- Muestra compuesta: es una mezcla de varias muestras puntuales tomadas en una misma fuente, éstas son tomadas en intervalos de tiempos diferentes, por periodos determinados.
- Muestra integrada: es aquella que se forma por la unión de varias muestras puntuales tomadas en distintos puntos simultáneamente o ya sea lo más cerca posible (Lozano Rivas, 2013).

Formas de muestreo

Las formas en las que se realizara el muestreo dependen del sitio en el que se realizará y además del tipo de fuente de la cual se obtendrá la muestra.

- **Muestreo en grifos:** generalmente esto se realiza con el fin de analizar parámetros microbiológicos por lo que es esencial mantener un ambiente estéril en todo momento, además se recomienda: eliminar cualquier elemento que se encuentre en la boca del grifo, flamear el grifo por algunos segundos, dejar correr el agua del grifo por al menos dos minutos, desinfectar manos y antebrazos del analista con alcohol, abrir el frasco boca abajo evitando respirar cerca de él (Lozano Rivas, 2013).

- **Muestreo de vertientes:** se debe seleccionar un sitio de fácil acceso a la fuente tomar la muestra en el inicio del cauce del agua, sumergir el frasco de forma horizontal en dirección al flujo de agua, la profundidad de la toma de muestra dependerá de las características de la fuente (Lozano Rivas, 2013).

Características ambientales

Una vez definida la fuente de agua que procederá a muestrear, se debe recaudar la mayor cantidad de información posible de la localidad con el fin de delimitar y caracterizar el área de estudio (Barreto, 2009).

Selección de puntos de muestreo

La selección de los puntos de muestreo es estratégica para conseguir un muestreo adecuado, en el caso del análisis de muestras para consumo humano, el punto de muestreo será en el lugar exacto de la captación de agua, de igual forma se realizará la toma de muestras en los puntos que se crean críticos para su posterior análisis (Barreto, 2009).

Rotulación de las muestras

La identificación de la muestra es importante ya que así se evita confusiones en el momento del análisis, por lo cual se recomienda etiquetarlas. Las etiquetas deben tener información de importancia como: código de la muestra, fecha y hora de recolección, tipo de agua, lugar de recolección, nombre del recolector y la preservación realizada (Barreto, 2009).

Toma de muestras

Como primer punto, es importante el equipo de seguridad como guantes, mandil, y mascarilla de ser necesario, para así asegurar que no exista contaminación cruzada. De igual forma, los frascos en los que se tomará la muestra se deben encontrar esterilizados y previamente etiquetados. Para la toma de la muestra es importante realizarla en dirección opuesta al flujo de la fuente de agua, en el caso de los ríos se toma primero aguas abajo y después aguas arriba. Se debe homogenizar el frasco por tres ocasiones, el llenado dependerá del parámetro que se vaya a realizar (Barreto, 2009).

Preservación

El objetivo de la preservación de las muestras es retardar los cambios químicos y biológicos que continúan después de que la muestra se toma de su fuente. Para lo cual existen varios tipos de preservación entre ellos tenemos: la temperatura, ácido sulfúrico y con ácido nítrico, esto dependerá del análisis que se pretenda realizar (Barreto, 2009).

Almacenamiento, transporte y entrega

Al almacenarlas se debe revisar que los recipientes estén correctamente sellados para evitar posibles derrames, y transportadas de forma que se evite la pérdida de las mismas y que conserven las propiedades necesarias para su correcta conservación. Las muestras se deben entregar al laboratorio lo más antes posible después de recolectadas, en el transcurso de 24 horas como máximo (Barreto, 2009).

1.6.10 Normativa aplicada

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)

El Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente es un instrumento legal que reúne todas las leyes relacionadas a la protección de los recursos naturales.

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo I, reformada por el “**Acuerdo Ministerial 097-A**” en el 2015, se encuentra dictado bajo el amparo del Código Orgánico Ambiental (COA) y se somete a las disposiciones del mismo, esto es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Esta normativa en su Tabla 1 establece los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico (Ministerio Del Ambiente Del Ecuador, 2015).

Norma técnica INEN 1108:2011

La norma técnica INEN 1108:2011 se aplica de abastecimiento público y privado, a través de redes de distribución y tanqueros, en ésta se establecen los requisitos que debe cumplir el agua potable para ser considera como de consumo humano, es así que toma en cuenta: características

físico-químicas, sustancias inorgánicas y orgánicas, radioactivos, pesticidas, residuos de desinfectantes, subproductos de desinfección y requisitos microbiológicos (INEN, 2011).

1.6.11 Sistema de abastecimiento del agua potable

Un sistema de abastecimiento de agua tiene como finalidad, proporcionar a los habitantes de una población, agua en cantidad y calidad adecuada para satisfacer sus necesidades. Por más simple que éste sea consta de los siguientes elementos: captación, conducción, almacenamiento y distribución (Rodríguez Ruiz, 2001).

Fuente de Abastecimiento

Se puede tratar de: ríos, lagos, embalses, agua de lluvias o aguas subterráneas. La calidad del agua dependerá del tipo de fuente y de la localización de la fuente con respecto a la población a suministrar (Rodríguez Ruiz, 2001).

Captación

Es la parte inicial del sistema de abastecimiento, el cual consiste en el conjunto de obras hidráulicas que permiten captar el agua desde fuente de abastecimiento, en el caso de los acuíferos el agua sale por si sola sin necesidad de la utilización de bombas (Rodríguez Ruiz, 2001).

Captación de vertientes

Las aguas de vertientes generalmente fluyen desde un acuífero de arena y grava y surgen a la superficie debido a la presencia de un estrato de material impermeable, tal como arcilla o roca, que les impide fluir e infiltrarse. El agua de vertiente generalmente es potable, pero puede contaminarse si surge en un estanque o al fluir sobre el terreno, por lo cual se debe proteger con mampostería de tabique o piedra, para que de esta forma el agua fluya directamente hacia una tubería, evitando así contaminación (Rodríguez Ruiz, 2001).

La captación se puede realizar mediante cajas cerradas de concreto reforzado o mampostería denominadas cajas colectoras. El agua se debe extraer solamente con una tubería que atraviese la caja. Es importante excavar lo suficiente para encontrar las verdaderas salidas del agua,

procurando que la entrada del agua a la caja de captación sea lo más profunda posible, de igual forma se debe proporcionar a la caja de un vertedor de demasías como se presenta en la Figura 1 (Rodríguez Ruiz, 2001).

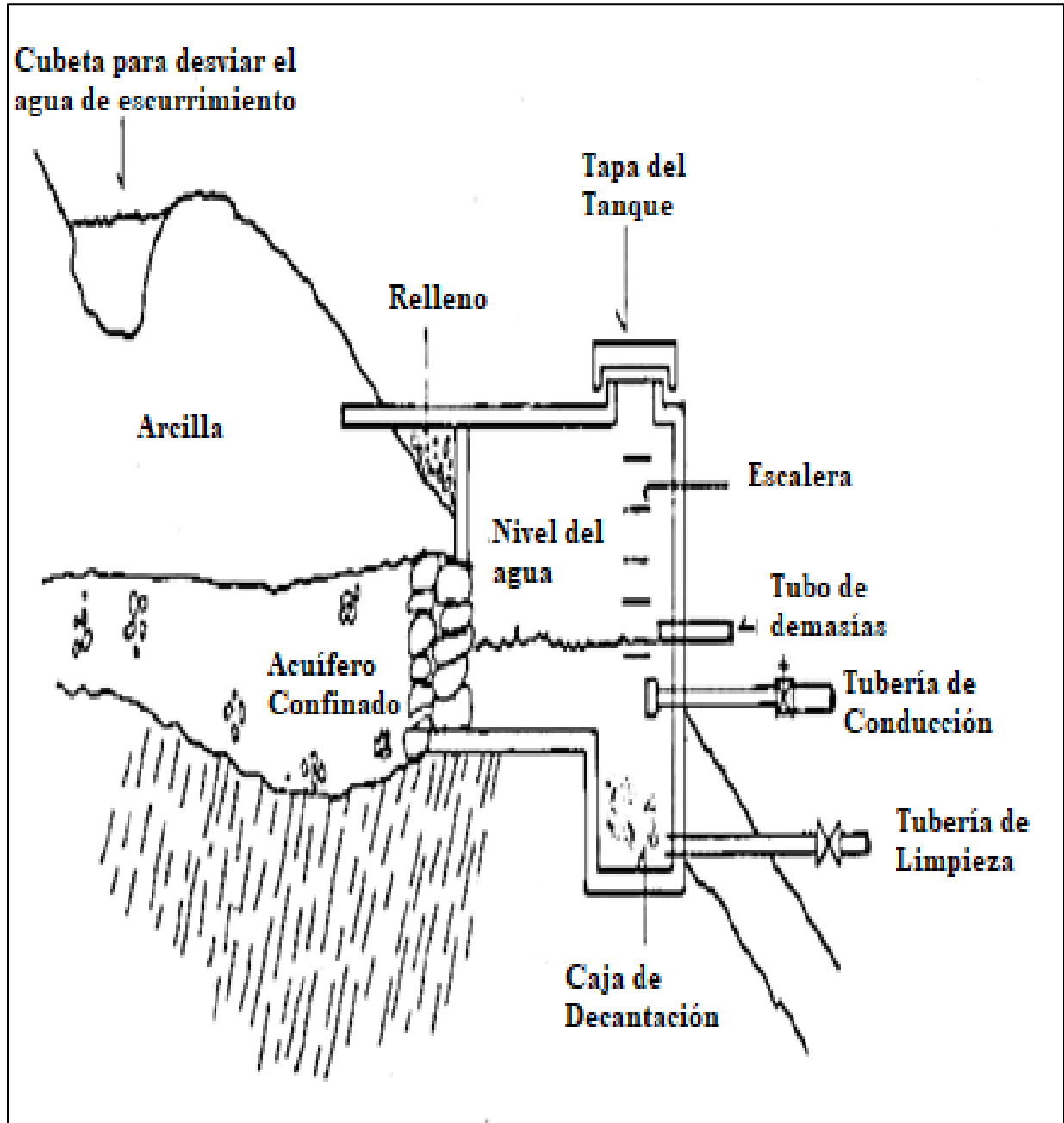


Figura 1. Caja colectora para captar aguas de vertientes

FUENTE: (Rodríguez Ruiz, 2001)

Conducción

Se encuentra conformado por estructuras civiles cuya finalidad es transportar el agua desde la captación hasta un punto, que puede ser un tanque de almacenamiento, una planta de tratamiento o el sitio de consumo (Rodríguez Ruiz, 2001).

Conducción por gravedad

Se presenta cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es mayor a la altura piezométrica, es decir el agua cae por su propio peso desde la fuente hasta su depósito (Rodríguez Ruiz, 2001).

Conducción por bombeo

Se da cuando la fuente de abastecimiento se encuentra a un nivel inferior al depósito o a la población, por lo cual se requiere el impulso de la misma por medio de bombas (Rodríguez Ruiz, 2001).

Tratamiento

Consiste en una serie de procesos físicos, mecánicos y químicos que permiten que el agua adquiera las características necesarias para que sea apta para el consumo humano (Rodríguez Ruiz, 2001).

El objetivo fundamental de la desinfección es eliminar los organismos patógenos y otras sustancias nocivas con el fin de proteger la salud de los consumidores (Rodríguez Ruiz, 2001).

A pesar de que el agua subterránea es conocida por su buena calidad, es necesario asegurar que ésta posea un proceso de desinfección adecuado con el fin de asegurar que sea apta para el consumo, evitando así enfermedades de origen hídrico (Rodríguez Ruiz, 2001).

La cloración es uno de los procesos más comúnmente usados tanto por sus beneficios económicos como por su eficiencia, La rapidez de la desinfección depende fundamentalmente de la concentración del agente desinfectante y del tiempo de contacto; pero también desempeña papel importante el pH y la temperatura (Solsona & Mendez, 2002).

Existen varios productos disponibles en el mercado entre ellos tenemos: cloro gaseoso, clorad, hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio. La elección entre ellos depende de las condiciones técnicas, económicas y sociales de la comunidad (Rodríguez Ruiz, 2001).

La dosificación de cloro se encuentra estrechamente ligada a la calidad química y microbiológica que posee el agua por lo que, es conveniente realizar un ensayo de demanda de cloro, en el cual se determina la cantidad de cloro a introducir mediante la aplicación directa de cantidades crecientes de cloro hasta obtener la concentración residual requerida en el extremo de la red (Solsona & Mendez, 2002).

Tanque de Almacenamiento

Su finalidad es almacenar el agua ya que el caudal de captación no es siempre el mismo, éste modifica el régimen de aportaciones de la conducción que normalmente es constante durante las 24 horas del día o bien durante unas pocas horas, para ajustarlo a un régimen de consumo o demandas de la red de distribución que siempre es variable (Solsona & Mendez, 2002).

Red de distribución

Es el conjunto de accesorios, tuberías y accesorios que conducen el agua tratada desde el tanque de almacenamiento o de la planta de tratamiento hasta los puntos de consumo (Rodríguez Ruiz, 2001).

Red Principal

Consiste en una parte de la red de distribución que conforma la malla principal de una población y que distribuye el agua tratada a las redes secundarias o menores (Rodríguez Ruiz, 2001).

Red Secundaria

Es aquella que se deriva de la red matriz y llega a los puntos de consumo, desde ésta se derivan las conexiones domiciliarias (Rodríguez Ruiz, 2001).

Conexión domiciliaria

Es aquella que se realiza a cada predio, por lo general sus diámetros van de ½ a 3 pulgadas dependiendo de las normas establecidas

Mantenimiento

Se conoce como mantenimiento a todas las acciones permanentes que se realizan con el fin de conservar un adecuado funcionamiento tanto de los componentes como de las partes que conforman el sistema de abastecimiento de agua (Aguero, 2004).

Mantenimiento preventivo: Se considera al mantenimiento que se realiza con una frecuencia determinada con la finalidad de prevenir y evitar daños al sistema (Aguero, 2004).

Mantenimiento correctivo: Es el conjunto de acciones que se efectúan para reparar daños o reponer piezas deterioradas por el uso una vez que estas hayan fallado o sufrido algún daño (Aguero, 2004).

Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua presenta un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, en el cual se determina una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales, todo esto con el fin de permitir el normal funcionamiento de las redes sin interrupciones del servicio (Aguero, 2004).

En este se debe incluir como mínimo las herramientas y materiales a usar dependiendo de las acciones que se realizarán, reparación de tuberías y accesorios, suspensiones del servicio por mantenimiento, disponibilidad de repuestos, frecuencia de lavado de las redes de distribución, reglas de operación durante el mantenimiento, entre otras (Aguero, 2004).

2. METODOLOGÍA

2.1 Parroquia San José de Minas

San José de Minas es una parroquia que pertenece al Distrito Metropolitano de Quito, en la provincia de Pichincha. Se localiza a aproximadamente a 80 kilómetros de su cabecera cantonal,

en sentido noroeste, como se visualiza en la figura 2; su superficie bordea las 34.580 hectáreas (Tumipamba, 2016).

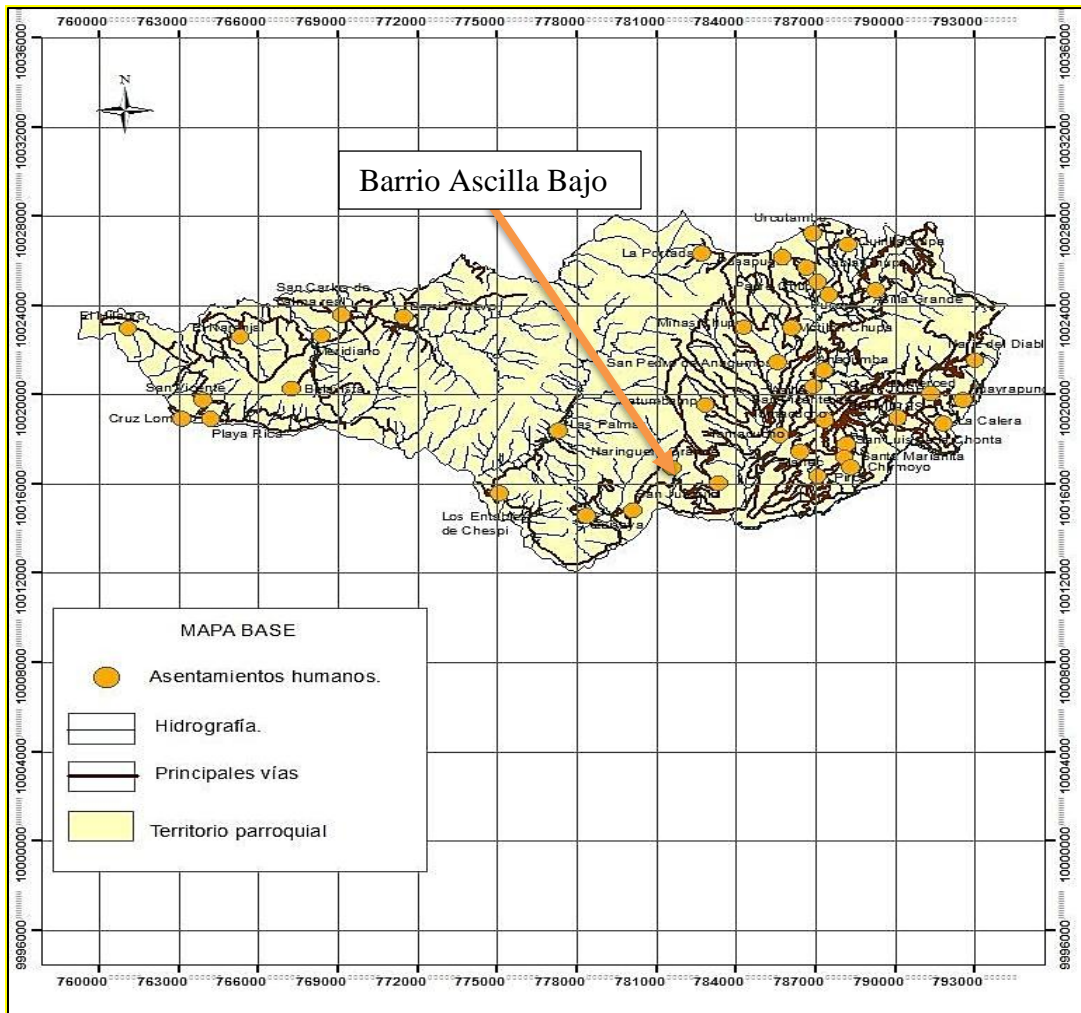


Figura 2. Mapa Base San José de Minas

FUENTE:(Tumipamba, 2016)

2.1.1 Características del Lugar

Altitud: la parroquia se encuentra entre los 1200 y los 3580 m.s.n.m (Tumipamba, 2016).

Clima: El clima en la parroquia es diverso. En las cuencas hidrográficas puede ser subtropical – húmedo hasta llegar en otras zonas al frío de los páramos. En el centro poblado de la ciudad la temperatura media es de 16°C, mientras que en las zonas subtropicales puede llegar a alcanzar los 22°C (Tumipamba, 2016).

Límites:

Norte: Provincia de Imbabura

Sur: Parroquias Calacalí, San Antonio de Pichincha, Perucho

Este: Parroquia Atahualpa

Oeste: Parroquia Nanegal

Crecimiento demográfico:

A través de la fuente INEC de 2010, se registra datos de crecimiento demográfico en la parroquia desde el año 1950 los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Crecimiento Demográfico San José de Minas

FUENTE: (Tumipamba, 2016).

Población San José de Minas según Censos						
1950	1962	1974	1982	1990	2001	2010
6.019	6.617	7.600	8.017	7.594	7.485	7.243

Se aprecia que en los años 80's, la parroquia tuvo el mayor crecimiento demográfico, pero por cuestiones de migración, la cantidad de habitantes ha ido disminuyendo hasta la actualidad.

Economía

La economía de la parroquia se basa principalmente en la agricultura. A lo largo de su superficie se destacan la siembra de productos como camote, papas, zambo, maíz suave y duro, zanahoria blanca, taxo, tomate de árbol, naranjilla, tomate riñón, aguacate, limón, níspero, arveja, limas, etc. Las actividades ganaderas como producción de leche y sus derivados como queso casero, además de la floricultura que en algunas partes de la parroquia está en crecimiento (Tumipamba, 2016).

Meteorología

Según datos obtenidos por el INAMHI de 2016 a través de la estación San José de Minas, el 70% del año es lluvioso, siendo los meses de baja intensidad de lluvia julio y agosto, acrecentando el valor de precipitación desde el mes de septiembre a diciembre, mientras que abril es el mes de mayor precipitación. Según la información analizada en el periodo de 1990 al 2009 las precipitaciones fluctúan entre 254 y 240 mm (Tumipamba, 2016).

Hidrología

San José de Minas cuenta con importantes recursos hídricos como cuencas, micro cuencas, ríos y corrientes superficiales que abastecen de líquido vital a los habitantes del territorio como se muestra en la figura 3. El mayor porcentaje de ocupación de territorio lo tiene el Río Perlavi con un 41,72%, como segundo río más importante está el Río Cambugan con el 18,81%, le sigue el Río Pataqui con 13,20%, Río Meridiano en un 7,54%, también el Río Jondanga en un 6,15%, y por ultimo algunos drenajes de menor porcentaje como los del Río Blanco, Río Azabi y el Río Quinde con 12,59% (Tumipamba, 2016).

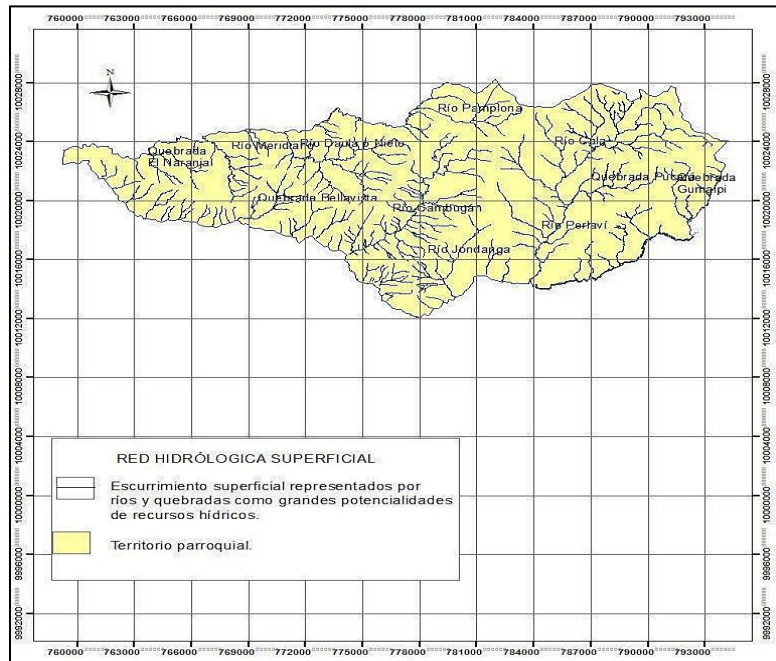


Figura 3. Red Hidrológica San José de Minas

Fuente: (Tumipamba, 2016).

Contaminación de recurso hídrico

En los ríos y quebradas del lugar se produce contaminación por las descargas líquidas de aguas domésticas y aguas residuales de las actividades que realizan las haciendas. La falta de alcantarillado sanitario produce que los habitantes de sectores rurales y barrios alejados del centro de la ciudad construyan de manera rudimentaria pozos sépticos y letrinas, lo cual provoca más contaminación (Tumipamba, 2016).

2.2 Establecimiento de los puntos de monitoreo

Se realizó una primera visita técnica, en la que se determinaron los lugares de interés del sistema de abastecimiento, el cual consta de aproximadamente 1.2 kilómetros de recorrido.

2.2.1 Punto 1 “Vertiente El Girón”

En la figura 4 se observa la vertiente el Girón, la cual se estableció como primer punto de muestreo.



Figura 4. Vertiente El Girón

Fuente: (Cevallos & Molina, 2019)

Éste punto de monitoreo es el lugar mismo donde el agua subterránea brota hacia la superficie. Consta de una obra de captación la cual la cual posee una malla que actúa como una barrera contra: la maleza, hojas de árboles y demás; todo esto con el fin de evitar que estos sólidos caigan en la estructura de captación y tapen la malla que filtra el agua, además consta de una tubería de 3 pulgadas, la cual conduce el agua al tanque de captación que se encuentra a un metro y medio de la vertiente como se visualiza en la figura 5.



Figura 5. Captación

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Esta vertiente es conocida como “El Girón” debido al nombre de la hacienda en la cual se encuentra ubicada.

2.2.2 Punto 2 “Tanque de Captación”

Se estableció como segundo punto de muestreo el tanque de captación el cual se muestra en la figura 6. Este se ubica consecuentemente a la vertiente. Una vez que el agua se filtra en la malla de plástico que se encuentra en la entrada de la tubería, el agua pasa por un metro hasta llegar al tanque. Este tanque tiene 1.5 metros de alto, 2 metros de ancho y 2 metros de profundidad. Dentro se encuentran una serie de cámaras que conducen el agua hasta el punto de salida ubicado

en la parte inferior del tanque que distribuye el agua desde este punto hasta el tanque de desinfección por medio de una manguera de 2 pulgadas, de aproximadamente 900 metros. En la parte superior del tanque se encuentra un orificio con una tubería de 2 pulgadas el cual descarga el agua que rebosa del tanque hacia la vertiente, asegurando de esta manera el flujo natural del agua de la vertiente como lo era antes de la construcción de las estructuras de conducción.



Figura 6. Tanque de captación

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Como se visualiza en la figura 7 la manguera de salida del tanque de captación da inicio a la conducción del agua, ésta se encuentra enterrada a 50 centímetros de profundidad a lo largo del recorrido hasta el tanque de desinfección, sin embargo en ciertos puntos se visualizó que la manguera se encontraba expuesta; esto debido a la existencia de ciertas zonas irregulares que por las pendientes del lugar no se logró enterrarla, del mismo modo por el paso del ganado existente en las haciendas cercanas por donde pasa la tubería, la tierra se ablanda y provoca que la manguera brote a la superficie, provocando daños en la integridad de la misma lo cual con lleva a que existan fugas en el sistema de conducción.



Figura 7. Salida de tubería del Tanque de Captación

Fuente: (Cevallos & Molina, 2019)

2.2.3 Punto 3 “Tanque de Desinfección”

En la figura 8 se muestra el tanque de desinfección con el cual cuenta la comunidad



Figura 8. Tanque de Desinfección

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Previo a la distribución del agua de la vertiente en la comunidad, el agua llega al tanque de desinfección. Este consta de 2 cámaras, una superior que tiene una capacidad de 1 m³, en la cual el agua entra en una primera estancia y procede a llegar la cámara principal, en la cual se realiza el proceso de clorado. Esta cámara tiene 2 metros de alto, 4 metros de ancho y 3 metros de profundidad. En la parte inferior de esta cámara se encuentra la descarga para la conducción hacia las 20 casas que pertenecen a este sistema de distribución a través de mangueras de 1 pulgada como se observa en la figura 9.



Figura 9. Salida de Tubería del Tanque de Desinfección

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.2.4 Punto 4 “Casa Inicial (primera casa donde se distribuye el agua)”

Ya realizado el proceso de desinfección el agua tratada baja por una manguera de 1 pulgada por medio de la gravedad hacia el punto más bajo de la loma donde se encuentra el tanque de desinfección. Esta manguera llega directamente a la primera casa en la cual se dota de suministro y además se realiza la desviación de esta manguera a dos tramos, uno que se dirige al sur y otro tramo que se dirige al norte.

2.2.5 Punto 5 “Casa Inicial tramo norte”

Tomando en tramo norte de la manguera se procedió a definir como quinto punto de muestreo a la primera casa a la cual se distribuye agua de este tramo.

2.2.6 Punto 6 “Casa final tramo norte”

Se determinó esta última casa del tramo norte de distribución para la toma de muestras.

2.2.7 Punto 7 “Casa Inicial tramo sur”

Tomando el tramo sur de la manguera se procedió a definir como séptimo punto de muestreo a la primera casa a la cual se distribuye agua de este tramo.

2.2.8 Punto 8 “Casa final tramo sur”

Se determinó esta última casa del tramo norte de distribución para la toma de muestras.

2.2.9 Ubicación por GPS

En la figura 10 se visualizan los puntos de referencia donde se realizó la recolección de muestras a través de una ilustración hecha en Google Earth:



Figura 10. Puntos de referencia

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

El punto A en la imagen contempla los siguientes puntos de muestreo:

1. Vertiente
2. Tanque de Captación

El Punto B contempla el punto de muestreo:

3. Tanque de desinfección

Mientras que el punto C representa a los puntos de muestreo:

4. Casa Inicial
5. Casa Tramo Inicial Norte
6. Casa Tramo Final Norte
7. Casa Tramo Inicial Sur
8. Casa Tramo Final Sur

En la figura 11 se visualiza un esquema del sistema de distribución en base a los puntos de muestreo asignados.

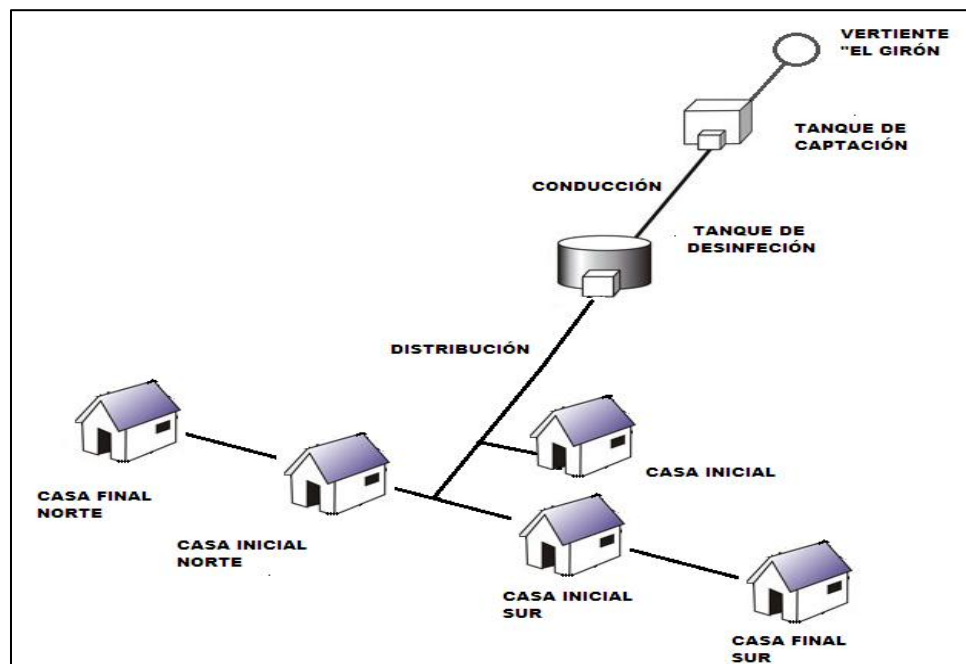


Figura 11. Esquema Sistema de Distribución de Agua

Una vez establecidos los puntos en los cuales se realizó el muestreo, se tomaron los puntos GPS para su descripción como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción Puntos GPS

UBICACIÓN PUNTOS GPS DEL PROYECTO				
PUNTO	COORDENADAS		ALTITUD m.s.n.m.	CUADRANTE
	Este	Norte		
1. Vertiente	787749	20262	2268	17 N
2. Tanque de Captación	787753	20262	2268	17 N
3. Tanque de Desinfección	787183	20121	2256	17 N
4. Casa Inicial	786997	20174	2152	17 N
5. Casa Tramo Inicial Norte	787709	20260	2150	17 N
6. Casa Tramo Final Norte	787016	20306	2150	17 N
7. Casa Tramo Inicial Sur	786981	20206	2149	17 N
8. Casa Tramo Final Sur	786974	20227	2148	17 N

2.3 Medición de parámetros *In-Situ*

Para la medición de los parámetros *In-Situ* se procedió a realizar el trámite correspondiente para obtener los permisos de uso del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) y de sus equipos. Una vez aprobados se planificó el día en el cual se iba a realizar el monitoreo, se realizó la calibración de los equipos y obtención de los recursos necesarios para poder proceder al análisis de aquellos parámetros que necesiten realizarse inmediatamente en el lugar donde la muestra es tomada como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Medición de Parámetros *In-Situ*

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Los parámetros analizados, el tipo de análisis, el equipo utilizado y el método empleado se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros *in-situ*

PARÁMETRO	UNIDADES	TIPO	EQUIPO / REACTIVO	MÉTODO
Temperatura	°C	Físico	pH-metro THERMO SCIENTIFIC	Potenciométrico
Conductividad	μS	Físico	Conductímetro	Electrométrico
Salinidad	ppt	Químico	Conductímetro	Electrométrico
Turbiedad	NTU	Físico	Turbidímetro HACH	Nefelométrico
Potencial Hidrógeno	pH	Químico	pH-metro THERMO SCIENTIFIC (sonda buffer de calibración 4, 7,10)	Potenciométrico
Oxígeno Disuelto	mg/L	Químico	Sonda de Oxígeno Disuelto HACH	Sonda Óptica
Cloro Residual	mg/L	Químico	Kit Medidor de pH y Cloro Libre Residual OTO	Colorimétrico

2.3.1 Medición de Temperatura

Se lavó el sensor del medidor con agua destilada, con el fin de prevenir la existencia de algún error al momento de realizarse la medición. En una jarra previamente homogenizada con la muestra, se procedió a introducir la sonda, se esperó que se estabilice la lectura y se registró el valor.

2.3.2 Medición de Conductividad

Como se aprecia en la Figura 13, inicialmente se enjuagó el sensor del medidor con agua destilada, realizada esta acción se procedió a introducir el sensor en una jarra la cual se encontraba homogenizada con la muestra. Se esperó hasta que el valor de la lectura se estabilizó y se realizó el registro de la medida. La medición se realizó en μS .



Figura 13. Medición Conductividad

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.3.3 Medición de Salinidad

Se empezó el análisis enjuagando el sensor del medidor con agua destilada, realizada esta acción se procedió a introducir el sensor en una jarra que ya se encontraba homogenizada con la muestra. Se esperó hasta que el valor de la lectura se estabilizó y se realizó el registro de la medida. La medición se realizó en ppt.

2.3.4 Medición de Turbiedad

Como primer punto se verificó que las celdas se encontraran completamente limpias como se visualiza en la figura 14. Se procedió al encerado en el Turbidímetro, posteriormente se colocó una celda homogenizada con la muestra, se realizó la respectiva medición y se registró el valor medido.



Figura 14. Medición Turbiedad

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.3.5 Medición de pH

Una vez que se comprobó que el equipo se encontraba debidamente calibrado, se lavó la sonda con agua destilada. Se secó con papel toalla y se introdujo la sonda en una jarra homogenizada con muestra como se observa en la figura 15. Se esperó que el valor se estabilizara y se procedió al registro del valor medido.



Figura 15. Medición pH

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.3.6 Medición de Oxígeno Disuelto

Se inició comprobando la debida calibración del multiparámetro, se lavó la sonda del equipo con agua destilada, se secó y se introdujo en una jarra homogenizada con muestra. Se esperó a que se estabilizara la lectura y se procedió a registrar el valor medido.

2.3.7 Medición de Cloro Residual

Como se muestra en la figura 16, se agregó 10 mililitros de muestra en el vial del kit de análisis de cloro residual, en el mismo se colocaron 2 gotas de ortotolidina, se tapó y se agitó. Se esperó un minuto de reacción. De existir presencia de cloro residual la muestra se debió titular y su color se comparó con la tabla que se encuentra en el kit que demuestra la concentración de cloro presente, en caso de que no se titulara se descarta la presencia de cloro.



Figura 16. Medición Cloro Residual

FUENTE:(Cevallos & Molina, 2019)

2.4 Recolección, preservación y transporte de muestras

Después de haber realizado los análisis *in situ* de los parámetros descritos en el punto anterior, se procedió con uno de los aspectos más importantes del proyecto, el cual es la recolección,

preservación y transporte de muestras. Este trabajo es muy importante ya que se pretende conservar las propiedades de cada una de las muestras para que puedan llegar íntegras al análisis de laboratorio.

2.4.1 Recolección de las muestras

Habiendo determinado los puntos de muestreo previamente, se procedió a la planificación de la toma de muestra. Se establecieron los equipos y herramientas necesarias para poder realizar el muestreo, los cuales se indican a continuación:

- Marcadores de tinta permanente
- Jarra aforada
- Cuerda
- Libreta de anotaciones
- Coolers o hieleras
- Preservantes (de acuerdo al análisis a realizarse)
- Hielo
- Piseta con agua destilada
- Papel toalla
- Botas de caucho
- Mandil
- Guantes de nitrilo
- Fosforera
- Botellas de vidrio ámbar
- Botellas de plástico esterilizadas
- Cronómetro

Para los fines del proyecto, las muestras que se recolectaron fueron simples, debido a que los lugares en los cuales se realizaron son lugares puntuales.

Para el inicio de la recolección de muestra se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones las cuales se pueden verificar en la figura 17.

- Se utilizó mandil y guantes de nitrilo al momento de la recolección de la muestra.
- Se determinó los envases a usar de acuerdo al análisis a realizar.
- Se lavó químicamente los envases especialmente para los análisis microbiológicos con el fin de que se encontraran esterilizados.
- Se rotuló los envases identificando el punto de muestreo, la fecha de recolección, hora, condiciones atmosféricas, y el preservante utilizado de acuerdo al análisis a realizar (el preservante empleado se describirá en el siguiente punto).



Figura 17. Toma de Muestras

Fuente: (Cevallos & Molina, 2019)

Tomado en cuenta las consideraciones previas se procedió a la recolección de la muestra, para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

- **Llenado de recipientes para muestras de análisis de parámetros físicos y químicos.**

Se procedió a homogenizar el recipiente 3 veces con la muestra, evitando que el agua tenga contacto con las paredes de los tanques en donde se contenía el agua, ni con los guantes del muestreador o algún medio ajeno. Como se muestra en la figura 18 dependiendo del punto a muestrear, se tomó distintas consideraciones, para la vertiente se tomó la muestra en el inicio del

ojo de agua, en los tanques se realizó la toma en el centro de los mismos a una profundidad de 30 cm, mientras que en las casas se realizó en los grifos que se encontraban en la cocina. Para las llaves se dejó circular el agua entre 2 y 3 minutos para proceder a la toma de las muestras (INEN, 2011).



Figura 18. Toma Muestras Físicas – Químicas

FUENTE:(Cevallos & Molina, 2019)

Se llenó los frascos completamente introduciéndolos en el cuerpo hídrico a 45 grados, se procedieron a tapar de forma que sobre las muestras no existiera aire, debido a que esto limita la interacción de la fase gaseosa (modificación del contenido existente de dióxido de carbono y su posterior variación de pH) y la agitación de la muestra durante el transporte (INEN, 2013).

Para las muestras que no contaron con ningún otro tipo de conservación más que ser congeladas, el llenado no se realizó por completo, por lo cual se dejó un espacio de un centímetro (INEN, 2013).

El volumen de toma de muestra varió de acuerdo al análisis de cada parámetro a realizarse, en general se recomienda un volumen no menor a 100 ml (INEN, 2013).

- **Llenado de recipiente para muestras de análisis de parámetros microbiológicos.**

Los frascos para contener este tipo de muestras se encontraban completamente esterilizados al momento de la toma (INEN, 2012, p. 20).

Se procedió a homogenizar los recipientes 3 veces con la muestra, evitando que el agua tuviera contacto con las paredes de los tanques que contenían el agua, ni con los guantes del muestreador o algún medio ajeno. Para las diferentes condiciones se realizó lo siguiente: en el caso de la vertiente se tomó la muestra cerca del ojo de agua, en los tanques se tomó en el centro de los mismos a una profundidad de 15 a 30 cm, mientras que en las casas se realizó en las llaves que se encontraban en la cocina.

Como se visualiza en la figura 19 para las llaves se esterilizó la boca del grifo acercando una fosforera y se la mantuvo ahí por 2 minutos esterilizando toda esta zona, ya esterilizada la boca del grifo se dejó circular el agua entre 2 y 3 minutos para proceder a la toma de la muestra (INEN, 2012, p. 20).



Figura 19. Toma Muestra Microbiológica

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

En el caso de la vertiente, se introdujo el frasco girándolo a 45°, y se procedió a tapar de forma que no se llene completamente, es decir que exista un espacio de aire en el mismo, para que se facilite el mezclado por agitación de la muestra (INEN, 2012).

El volumen de toma de muestra varió de acuerdo al análisis de cada parámetro a realizarse, en general se recomienda un volumen no menor a 100 ml (INEN, 2012).

2.4.2 Preservación de las muestras

Preservación de muestras de análisis de parámetros físicos y químicos:

La preservación de las muestras dependió del análisis a realizarse como se muestra en la figura 20.



Figura 20. Preservación Muestra Oxígeno Disuelto

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Se procedió a la conservación de las muestras para análisis de parámetros físicos y químicos de acuerdo a los preservantes necesarios para cada uno de ellos, como se describe a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5. Preservación de acuerdo al análisis a realizar

FUENTE: (INEN, 2013)

Tipo de parámetro	Parámetro	Envase	Vol min de muestra (ml)	Preservación	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado
Microbiológicos	Coliformes Totales	P,V	100	4 °C 0,008% Na ₂ S ₂ O ₃	6 horas
	Coliformes Fecales	P,V	100	5 °C 0,008% Na ₂ S ₂ O ₃	6 horas
Físicos	Color real	P,V	100	>0°C, ≤ 6°C	48 horas
Químicos	Cloro Residual	P,V	500	Analizar inmediatamente	0,25 horas
	Cloruros	P,V	50	No Requerido	28 días
	Cobre	P,V	1000	0,5 ml HNO ₃ /250 mL de muestra, pH<2	6 meses
	DBO ₅	P,V	500	>0°C, ≤ 6°C	6 -48 horas
	DQO	P,V	100	Tan pronto se posible caso contrario con H ₂ SO ₄ pH <2 ; >0°C, ≤ 6°C	7 - 28 días
	Dureza	P,V	100	HNO ₃ / H ₂ SO ₄ a pH<2	6 meses
	Fosfatos	P,V			
	Hierro Total	P,V	1000	0,5 ml HNO ₃ /250 mL de muestra, pH<2	6 meses
	Manganeso	P,V	1000	0,5 ml HNO ₃ //250 mL de muestra, pH<3	6 meses
	Nitratos	P,V	100	Tan pronto se posible , > 0 °C, ≤ 6 °C	48 horas (14 días muestras cloradas)
	Nitritos	P,V	200	Tan pronto se posible , > 0 °C, ≤ 6 °C	48 horas
	Oxígeno disuelto	Frasco Winkler	300	No Requerido	Análisis inmediato
	Salinidad	V	240	Analizar inmediatamente o usar sello de cera	6 meses
	Sólidos disueltos Totales	P,V	500	>0°C, ≤ 6°C	7 días
P = Plástico		V = Vidrio		Vol = Volumen	

Preservación de muestras de análisis de parámetros microbiológicos:

Debido a que los encargados de la junta de agua no habían realizado desde hace seis meses ya el proceso de clorado, se conservaron la muestras únicamente a una temperatura de 10°C y máximo a en un lapso de 30 horas (INEN, 2012).

2.4.3 Transporte de las muestras

Los recipientes en los cuales se colocaron las muestras se encontraban protegidos de cualquier contaminación externa y correctamente sellados para evitar que se deterioren o que se extravíen algunos de ellos durante el transporte. El ambiente en el que se transportaron fue a una temperatura entre 2 y 4 °C y se evitó la exposición a la luz (INEN, 2013).

Se transportó las muestras desde el punto de muestreo hasta el laboratorio donde se realizó el análisis en un lapso no mayor de 6 horas (INEN, 2012, p. 2).

2.5 Análisis de los parámetros en laboratorio

2.5.1 Medición de Coliformes Totales

Se empleó el método del número más probable (NMP). Este método consta de dos partes. La primera consiste en la realización de una prueba presuntiva en la cual se analizó la presencia en la muestra de Coliformes totales, mientras que la segunda prueba (que se explicará en el siguiente punto) es acerca del análisis de la presencia de Coliformes fecales. Se realizó en conjunto a la muestra un blanco con agua destilada para la comprobación del método.

Preparación del caldo

Se determinó la cantidad de caldo a preparar de acuerdo a la cantidad de tubos que se analizaron. Por cada muestra se realizó 9 diluciones, empezando por 10^1 , 10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} y 10^{-7} . Cada una de estas diluciones tuvo 3 repeticiones, para al final tener una cantidad de 27 tubos. A cada tubo de ensayo se le colocó 10 ml de caldo, por lo cual para contabilizar la cantidad de muestras y tubos necesarios se calculó la cantidad de caldo de acuerdo a lo siguiente: por cada litro de agua destilada se disolvió 13 gramos de caldo lactosado en conjunto con 0,01 gramos de purpura de bromocresol.

Preparación de agua de dilución

El agua de dilución contiene dos tipos de soluciones, que se prepararon de la siguiente manera:

➤ Solución Tampón A

Se disolvió 34 gramos de fosfato monopotásico (KH_2PO_4) en 500 mililitros de agua destilada, se ajustó el pH con una solución de NaOH de concentración 1N y por último se aforó a 1 litro con agua destilada.

➤ Solución Tampón B

Se disolvió 8,1 gramos de cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) en 500 mililitros de agua destilada y se aforó a 1 litro con agua destilada.

Preparadas las soluciones A y B, se procedió a la colocación de 5 mililitros de la solución A y de 1,25 mililitros de solución B en una cama de agua destilada, posteriormente se procedió a aforar a un litro.

Autoclavado del caldo lactosado y del agua de dilución:

Se dosificó 10 mililitros de caldo lactosado en los tubos de ensayo y a los tubos HACH con 9,2 mililitros de agua de dilución de acuerdo a la cantidad requerida (se utilizó agua de dilución para las diluciones 10^{-1} hasta 10^{-7}). Una vez realizada esta acción se procedió a colocar los tubos en el autoclave en conjunto con las puntas de micropipeta por 20 minutos a la temperatura de 120°C .

Prueba Presuntiva

Una vez autoclavados los tubos de ensayo, tubos HACH y las puntas de micropipeta, se procedió a ordenarlos en una gradilla, se etiquetó cada uno para evitar equivocaciones. Se esterilizó el área de trabajo con alcohol y encendió mecheros en el área donde se practicó la inoculación, ésta se realizó de la siguiente manera:

- **10^1** : Se colocó 10 ml de muestra en cada tubo de ensayo
- **10^0** : Se colocó 1 ml de muestra en cada tubo de ensayo

- **10⁻¹**: Se colocó 1 ml de muestra en el tubo HACH y posteriormente se colocó 1 ml de la dilución hecha en el tubo HACH en cada tubo de ensayo
- **10⁻²**: Se coloca 1 ml de la dilución 10⁻¹ en el tubo HACH y posteriormente se colocó 1 ml de la dilución hecha en el tubo HACH en cada tubo de ensayo
- **10⁻³**: Se colocó 1 ml de la dilución 10⁻² en el tubo HACH y posteriormente se colocó 1 ml de la dilución hecha en el tubo HACH en cada tubo de ensayo
- **10⁻⁴**: Se colocó 1 ml de la dilución 10⁻³ en el tubo HACH y posteriormente se colocó 1 ml de la dilución hecha en el tubo HACH en cada tubo de ensayo
- **10⁻⁵**: Se colocó 1 ml de la dilución 10⁻⁴ en el tubo HACH y posteriormente se colocó 1 ml de la dilución hecha en el tubo HACH en cada tubo de ensayo
- **10⁻⁶**: Se colocó 1 ml de la dilución 10⁻⁵ en el tubo HACH y posteriormente se colocó 1 ml de la dilución hecha en el tubo HACH en cada tubo de ensayo
- **10⁻⁷**: Se colocó 1 ml de la dilución 10⁻⁶ en el tubo HACH y posteriormente se colocó 1 ml de la dilución hecha en el tubo HACH en cada tubo de ensayo

En cada una de las inoculaciones, se cambió las puntas de la micropipeta para evitar la contaminación.

Incubación de 24 horas y datos primarios

Una vez realizado el proceso de inoculación se procedió a encender la incubadora a 35°C. Se colocaron los tubos HACH y se dejó por 24 horas. Una vez culminadas las 24 horas se registraron los tubos que cambiaron de color, los cuales confirman la existencia de Coliformes.

Incubación de 48 horas y datos finales

Una vez registrados los datos primarios, se procedió a volver a colocar los tubos HACH en la incubadora y se los dejó por 24 horas más a 35°C. Una vez concluido ese tiempo se registraron todos los tubos que cambiaron de color como se muestra en la figura 21.



Figura 21. Coliformes Totales

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Cálculo de Coliformes presentes

A través de una hoja de cálculo de Excel, se realizó el cálculo de Coliformes totales, de acuerdo a la tabulación de datos y la ejecución de una fórmula, la tabulación se realizó como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Tubos Positivos Coliformes Totales

	10	10⁰	10⁻¹	10⁻²	10⁻³	10⁻⁴	10⁻⁵	10⁻⁶	10⁻⁷
24 h	2/3	1/3	0/3	0/3	2/3	3/3	3/3	3/3	0/3
48 h	2/3	2/3	0/3	0/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3

Una vez tabulados los resultados se empleó la ecuación 1 de acuerdo a los datos que se registraron a las 48 horas, de acuerdo al ejemplo puesto en la anterior tabla.

$$C. \text{Totales} = \frac{16 * 100}{\sqrt{((2 * 10) + (2 * 1) + (0 * 0,1) + (0 * 0,01) + (3 * 0,001) + (3 * 0,0001) + (3 * 0,00001) + (3 * 0,000001) + (0 * 0,0000001)) * ((3 * 10) + (3 * 1) + (3 * 0,1) + (3 * 0,01) + (3 * 0,001) + (3 * 0,0001) + (3 * 0,00001) + (3 * 0,000001) + (3 * 0,0000001))}}$$

Ecuación 1. Cálculo Coliformes Totales

Fuente: (Cevallos & Molina, 2019)

Resultado de Coliformes totales = 59,11 NMP/100ml

2.5.2 Medición de Coliformes Fecales

El proceso para el análisis de Coliformes fecales empezó con los resultados arrojados a las 24 horas de incubación de la prueba presuntiva. De acuerdo a los tubos positivos que se dieron, se preparó el medio EC, aumentando de 4 a 6 tubos más en caso de que puedan cambiar de color a las 48 horas por muestra.

Preparación de medio EC

Se disolvieron 37 gramos de medio EC en 1 litro de agua destilada, se utilizó una plancha de agitación con un agitador magnético, para asegurar su disolución completa.

Dosificación y autoclavado

Una vez preparado el medio EC se procedió a la dosificación de 10 mililitros del medio en cada uno de los tubos HACH que se determinaron serán usados. Antes de tapar los tubos se colocó un Tubo Durham en cada tubo HACH de manera que la boca esté para abajo, evitando que existan burbujas en la parte superior del mismo. Por último se procedió a autoclavar por 20 minutos a 120°C.

Siembra

Se procedió a esterilizar el área de trabajo a través del uso de alcohol. Seguido a esto se encendió los mecheros para asegurar que no exista contaminación por el ambiente. Se tomaron los tubos positivos de la prueba presuntiva de 48 horas, rotulando los tubos que contienen medio EC de acuerdo a los tubos de ensayo de la prueba presuntiva, se realizó la siembra con el uso de un asa.

El asa se calentó al rojo vivo y se introdujo al tubo de ensayo positivo, se tomó una burbuja de este medio lactosado y se la llevó al tubo HACH el cual contenía el medio EC. Se realizó este proceso tres veces.

Incubación

Una vez realizada la siembra se procedió a llevar los tubos HACH a incubar a una temperatura de 45°C por 24 horas. Pasado este tiempo se registraron los tubos HACH positivos estos se

identificaron debido a la presencia de gas en el interior del Tubo Durham, producto de la fermentación como se visualiza en la figura 22.



Figura 22. Coliformes Fecales

FUENTE:(Cevallos & Molina, 2019)

Cálculo de Coliformes fecales presentes

A través de una hoja de cálculo de Excel, se realizó el cálculo de Coliformes fecales, de acuerdo a la tabulación de datos y la ejecución de una fórmula, la tabulación se realizó de la siguiente manera como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Tubos Positivos de Coliformes fecales

	10	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
Tubos positivos	3/3	3/3	3/3	0/3	0	0	0	0	0

Una vez tabulados los resultados se empleó la ecuación 2, la cual determinó la cantidad de Coliformes fecales presentes en la muestra:

$$C. \text{ Fecales} = \frac{16 * 100}{\sqrt{((3 * 10) + (3 * 1) + (3 * 0,1) + (0 * 0,01) + (0 * 0,001) + (0 * 0,0001) + (0 * 0,00001) + (0 * 0,000001) + (0 * 0,0000001)) * ((3 * 10) + (3 * 1) + (3 * 0,1) + (0 * 0,01) + (0 * 0,001) + (0 * 0,0001) + (0 * 0,00001) + (0 * 0,000001) + (0 * 0,0000001))}}$$

Ecuación 2. Cálculo coliformes fecales

Fuente: (Cevallos & Molina, 2019)

Resultado de Coliformes fecales = 44,41 NMP/100ml

2.5.3 Medición de Dureza

La determinación de la dureza se realizó mediante el proceso de titulación para lo cual como primer punto se homogenizó y se colocó 100 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer, a la cual se le añadió 1 ml de solución buffer de dureza, cabe mencionar que se debe estabilizar el pH de la solución buffer hasta que se encuentre en un rango de 10 y 10,1, concluido este proceso con la ayuda de una espátula se colocó una pequeña porción del indicador de Negro de Eriocromo-T (NET) el cual tornó a la muestra de color rosa, finalmente se tituló la muestra con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) de concentración 0.01 M, hasta que se observó el viraje de color de rosa a azul como se observa en la figura 23 (American Public Health Association et al., 2005).



Figura 23. Análisis Dureza

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

El cálculo del valor de dureza se realizó mediante la ecuación 3.

$$CDTCaO_3 = \frac{V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times 1000000}{V_m}$$

Ecuación 3 Cálculo de Dureza Total

FUENTE: (Chacón Chaquea, 2016)

Dónde:

CDT: Concentración de dureza total en mg/L de CaCO_3

V_{EDTA} : Volumen utilizado de EDTA para la titulación en ml

M_{EDTA} : Molaridad del EDTA

V_m : Volumen de la muestra

2.5.4 Medición de DBO_5

Se realizó mediante el método respirométrico con el uso del OxiTop por cinco días con el fin de determinar el consumo de oxígeno durante este lapso de tiempo.

Se tomó como referencia los valores obtenidos en la medición de DQO que se muestran en la tabla 8, para así determinar el volumen específico que debía contener cada botella ámbar .

Tabla 8. Volumen de DBO_5 en base a DQO

FUENTE: (Chacón Chaquea, 2016)

Rango de medida DQO	Volumen de llenado	Factor
0-40	432	1
40-80	365	2
80-200	250	5
200-400	164	10
400-800	97	20
800-2000	43,5	50

Se homogenizó las botellas ámbar con la muestra, se colocó el volumen previamente determinado acompañada de una barra de agitación magnética, se colocó dos pellets de hidróxido de sodio en un capuchón el cual se insertó en el cuello de la botella, una vez concluido este proceso se tapó la botella con el OxiTop asegurándose que este se encuentre asegurado, se oprimió los botones M y S por el lapso de tres segundos, finalmente se colocaron las botellas en

la incubadora a 25 °C como se visualiza en la figura 24, una vez concluidos los 5 días se registró el valor obtenido en cada uno de ellos presionando el botón M (American Public Health Association et al., 2005).



Figura 24. Análisis DBO₅

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Obtenidos los resultados de cada día se procedió a calcular aplicando la ecuación 4.

$$\text{DBO}_5 \text{ mg/L} = \frac{V_5 - V_1}{V_{\text{PROM}}}$$

Ecuación 4. Cálculo de DBO₅

FUENTE: (Chacón Chaquea, 2016)

Dónde:

V₅: Valor de DBO₅ obtenido en el quinto día en mg/L

V₁: Valor obtenido de DBO₅ en el primer día en mg/L

V_{PROM}: valor promedio de DBO₅ de los cinco días en mg/L

2.5.5 Medición de DQO

De acuerdo a la tabla 9 se seleccionó el rango de los viales a usarse. Es así que se realizó la medición de DQO por medio de espectrofotometría con el uso de viales de rango bajo ya que se trataban de muestras de agua para consumo (American Public Health Association et al., 2005).

Tabla 9. Rango de DQO

FUENTE: (Chacón Chaquea, 2016)

Rango 100-150 mg/L	Rango 1,0-15,0	Agua Destilada
0	0	2
400	4	1,8
800	8	1,6
1200	12	1,4
1500	15	1,25

Como primer punto se homogenizó la muestra por 30 segundos. Se tomó dos viales HACH de rango bajo para DQO, a uno de ellos se les agregó 2 ml de agua destilada el cual actuó como un blanco, mientras que en el otro se le agregó 2 ml de la muestra, se agitó varias veces para que sus contenidos se mezclen con los reactivos. Se los colocó en un digestor previamente calentado a 150°C y se los dejó por 2 horas. Una vez concluido ese tiempo se procedió a retirarlos a una gradilla hasta que se enfríen como se muestra en la figura 25. Se digitó el programa #420 en el espectrofotómetro HACH. Se procedió a encerar con el vial que contenía el agua destilada, después se introdujo el vial que contiene la muestra y se registró su valor (HACH MANUAL, 2000).



Figura 25. Análisis DQO

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.5.6 Medición de Oxígeno Disuelto

Se realizó la determinación de oxígeno disuelto mediante el método Winkler para lo cual como primer punto se tomó la muestra *in situ* con la ayuda de un frasco Winkler, evitando que exista la formación de burbujas dentro del mismo, una vez lleno se tapó y se vertió el exceso de muestra, se colocó un mililitro de sulfato manganoso y un mililitro de álcali yoduro azida hasta observar al formación de un precipitado. Se mezcló vigorosamente y se colocó un mililitro de ácido sulfúrico, una vez en laboratorio se colocó 100 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer y se la tituló con tiosulfato de sodio hasta observar el viraje de color ladrillo a amarillo como se visualiza en la figura 26, una vez realizado este proceso se colocó un mililitro de almidón, el cual actuó como indicador cambiado el color de la muestra a azul oscuro, se tituló por segunda vez con tiosulfato de sodio hasta observar la pérdida de color de la muestra. Finalmente se registró el valor de tiosulfato de sodio usado en la titulación de cada una de las muestras para su posterior análisis (HACH MANUAL, 2000).



Figura 26. Análisis Oxígeno Disuelto

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

La cantidad de oxígeno disuelto presente en la muestra se calculó mediante la ecuación 5.

$$OD \text{ mg/l} = \frac{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 8000 \times V \text{ botella}}{\text{ml de muestra valorada} \times (V \text{ botella} - 2)}$$

Ecuación 5. Cálculo Oxígeno Disuelto

Fuente:(Chacón Chaquea, 2016)

Dónde:

V Na₂S₂O₃: Volumen de Na₂S₂O₃ en ml

N Na₂S₂O₃: Normalidad de Na₂S₂O₃

V Botella: Volumen de la botella Winkler en ml

Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto

El porcentaje de saturación se calculó mediante el análisis de la temperatura del agua y la elevación del sitio en el cual se tomó la muestra para lo cual se realizó el siguiente procedimiento:

Como paso inicial se determinó la cantidad de oxígeno disuelto a las condiciones de 1 atmósfera de acuerdo a la temperatura en grados centígrados medida en cada punto de acuerdo a lo establecido en la Tabla 10.

Tabla 10. Solubilidad del oxígeno en agua a una presión de 1 atm y 0°C

Fuente: (Cortés Nodarse, 2015)

TEMPERATURA (°C)	OD (mg/L)
15	10,07
16	9,86
17	9,65
18	9,46
19	9,27
20	9,08
21	8,9
22	8,74
23	8,57
24	8,42
25	8,26
26	8,2
27	7,97
28	7,84
29	7,7

Seguido a esto se utilizó los datos obtenidos en el recorrido con el GPS con el fin de saber cuál era la altitud de cada punto, este dato se comparó con la figura 27, con el fin de determinar el factor de corrección.

Presión Atmosférica (mmHg)	Altitud Equivalente (pies)	Factor de Corrección
775	540	1.02
760	0	1.00
745	542	.98
730	1094	.96
714	1688	.94
699	2274	.92
684	2864	.90
669	3466	.88
654	4082	.86
638	4756	.84
623	5403	.82
608	6065	.80
593	6744	.78
578	7440	.76
562	8204	.74
547	8939	.72
532	9694	.70
517	10,472	.68

Figura 27. Factor de Corrección de Saturación de Oxígeno

FUENTE:(Cortés Nodarse, 2015)

Consecuentemente se multiplicó el valor obtenido por el nivel de oxígeno disuelto en ppm por el factor de corrección previamente encontrado, determinando así la cantidad de oxígeno disuelto al 100%. Una vez hallado este valor se multiplicó por el 80 % con el fin de determinar si sus niveles eran los adecuados.

2.5.7 Medición de Sólidos Disueltos y Suspendidos Totales

Para la determinación de los sólidos disueltos totales se utilizó el método gravimétrico. Para esto se inició verificando que la balanza se encuentre calibrada ya que así se asegura la validez de los resultados, posteriormente se realizó el lavado de los filtros para lo cual se los colocó en el equipo de filtrado y se los lavó con 10 ml de agua destilada por tres ocasiones, se los llevó a la mufla a una temperatura de 505 °C por el lapso de 30 minutos, una vez secos se los colocó en cápsulas en la balanzas y se registró sus pesos. Terminado este proceso se llevaron las cápsulas con los filtros a la estufa por un lapso de 24 horas, concluido este tiempo se colocaron las capsulas en el desecador por 30 minutos.

Transcurrido este tiempo se colocó la muestra en un vaso de precipitación con el fin de homogenizarla, se tomó 50 ml de muestra y se la filtró teniendo en cuenta que el filtro sea colocado con el lado poroso hacia arriba como se observa en la figura 28, se colocó los filtros

nuevamente en las capsulas y se las llevó a la estufa a una temperatura de 103-105 °C por un lapso de 24 horas (American Public Health Association et al., 2005).



Figura 28. Análisis Sólidos Disueltos Totales

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Se tomó la muestra filtrada que se encontraba en el kitasato y se la colocó en un crisol sin filtro y se lo llevó a un horno a una estufa a 105 °C por el lapso de 24 horas, una vez concluido este tiempo se colocaron los crisoles en un desecador por 30 minutos, una vez pasado este tiempo se pesaron los crisoles con y sin filtro y se procedió a realizar su cálculo.

En el caso de los sólidos disueltos totales se realizó su cálculo de acuerdo a la ecuación 6.

$$SDT \text{ mg/l} = \frac{(P_1 - P_2) \times 1000}{V_m}$$

Ecuación 6. Cálculo solidos disueltos totales

FUENTE: (Chacón Chaquea, 2016)

Dónde:

SDT: Sólidos Disueltos Totales en mg/L

P₁: Peso de la cápsula más el residuo obtenido de la evaporación en mg

P₂: Peso de la cápsula sola en mg

V_m: Volumen de la muestra filtrada en ml

Para el cálculo de los sólidos suspendidos totales se utilizó la ecuación 7.

$$SST \frac{mg}{l} = \frac{(P_1 - P_2) \times 1000}{Vm}$$

Ecuación 7. Cálculo solidos disueltos totales

FUENTE: (Chacón Chaquea, 2016)

Dónde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales en mg/L

P₁: Peso de filtro seco antes de la filtración

P₂: Peso de filtro + residuo seco

V_m: Volumen de la muestra filtrada en ml

2.5.8 Medición de Hierro Total

Se homogenizó la celda del espectrofotómetro con la muestra sin filtrar. Una vez homogenizada se colocó 10 mililitros de la muestra en ella como se observa en la figura 29, se insertó en el espectrofotómetro, se digitó el programa #265 y se encendió. Una vez encendido se colocó un sobre de Ferro Ver, se tapó y agitó hasta que se disolvió por completo el reactivo y se esperó por el lapso de 3 minutos de reacción. Una vez pasado este tiempo se insertó de nuevo en el espectrofotómetro, se realizó la medición y se registró del valor (HACH MANUAL, 2000).



Figura 29. Análisis Hierro Total

Fuente: (Cevallos & Molina, 2019)

2.5.9 Medición de Cloruros

La determinación de cloruros se realizó mediante el método volumétrico, para lo cual se comenzó colocando 10 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se añadió 1 ml de dicromato de potasio al 1 % como indicador, y se procedió a titular con nitrato de plata en concentración 0,01 N hasta observar el viraje de color de amarillo a amarillo rojizo como se muestra en la figura 30 (American Public Health Association et al., 2005).



Figura 30. Análisis Cloruros

Fuente: (Cevallos & Molina, 2019)

Una vez obtenidos los resultados se aplicó la ecuación 8.

$$Cl^{-} \text{ mg/l} = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times 1000}{V_m}$$

Ecuación 8. Cálculo cloruros

FUNTE:(Chacón Chaquea, 2016)

Dónde:

Cl⁻: Concentración de cloruros en mg/L

V_{AgNO₃}: Volumen de nitrato de plata utilizado en la titulación en ml

N_{AgNO₃}: Normalidad del nitrato de plata

V_m: Volumen de la muestra tomada en ml

2.5.10 Medición de Color Real

Como primer punto se preparó un blanco, para lo cual se colocó 10 mililitros de agua destilada en una celda, de igual forma se filtró la muestra, se homogenizó y se colocó 10 mililitros en una celda. Se insertó en el espectrofotómetro la celda que contenía el agua destilada y se digitó el programa #120 con el fin de encerrar. Una vez encerrado se colocó la celda que contenía la muestra en el espectrofotómetro y se procedió a la medición y registro del valor como se visualiza en la figura 31 (HACH MANUAL, 2000).



Figura 31. Análisis Color Real

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.5.11 Medición de Cobre

Se homogenizó la celda del espectrofotómetro con la muestra sin filtrar. Una vez homogenizada se colocó 10 mililitros de la muestra en ella, se insertó en el espectrofotómetro, se digitó el programa #135 y se procedió a encerar. Una vez encerado se colocó un sobre de CuVer1, se tapó y agitó hasta completar disolución del reactivo, se esperó por el lapso de 2 minutos. Finalmente una vez pasado este tiempo se insertó de nuevo en el espectrofotómetro y se procedió a la medición y registro del valor (HACH MANUAL, 2000).

2.5.12 Medición de Nitritos

Se homogenizó la celda del espectrofotómetro con la muestra. Una vez homogenizada se colocó 10 mililitros de la muestra en ella, se insertó en el espectrofotómetro HACH. Se digitó el programa #371 y se procedió a encerar. Una vez encerado se colocó un sobre de NitriVer3, se tapó y se agitó hasta la completa disolución del reactivo y se esperó 20 minutos de reacción. Una vez pasado este tiempo se insertó de nuevo en el espectrofotómetro HACH y se procedió a la medición y registro del valor (HACH MANUAL, 2000).

2.5.13 Medición de Nitratos

Se homogenizó la celda del espectrofotómetro con la muestra. Una vez homogenizada se colocó 10 mililitros de la muestra en ella, se insertó en el espectrofotómetro HACH. Se digitó el programa #355 y se procedió a encerar. Una vez encerado se colocó un sobre de NitraVer5, se tapó y se agitó hasta la completa disolución del reactivo. Se esperó 5 minutos de reacción, una vez pasado este tiempo se insertó de nuevo en el espectrofotómetro HACH y se procedió a la medición y registro del valor como se muestra en la figura 32 (HACH MANUAL, 2000).



Figura 32. Análisis Nitratos

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.5.14 Medición de Manganeso

Se homogenizó una celda del espectrofotómetro con la muestra filtrada y otra celda con agua destilada. Una vez homogenizada se colocó 10 mililitros de la muestra y 10 ml de agua destilada respectivamente en cada celda. Se llevó las celdas a la sorbona y empleando una mascarilla, se colocó un sobre de ácido ascórbico en cada una de las celdas, se agitó y se añadió 7 gotas de Alkaline Cyanide Reagent y se volvió a agitar. Posteriormente se añadió 4 gotas de 1-(2-piridilazo) -2-naftol (PAN) 0,3%, luego se añadió 4 gotas de Peróxido de Hidrogeno y se volvió a agitar. Se esperó 2 minutos de reacción y se insertó en el espectrofotómetro HACH la celda que contenía los reactivos disueltos en agua destilada. Se digitó el programa #290 y se procedió a encerrar. Una vez encerrado se insertó en el espectrofotómetro la otra celda que contenía la muestra con los reactivos, se procedió a la medición y registro del valor (HACH MANUAL, 2000).

2.5.15 Medición de Fosfatos

Se homogenizó la celda del espectrofotómetro con la muestra sin filtrar. Una vez homogenizado se colocó 10 mililitros de la muestra en ella, se insertó en el espectrofotómetro HACH, se digitó el programa #490 y se procedió a encerrar. Una vez encerrado se colocó un sobre de PhosVer3, se tapó y se agitó hasta la completa disolución del reactivo y se esperó 2 minutos de reacción como

se muestra en la figura 33. Una vez pasado este tiempo se insertó de nuevo en el espectrofotómetro HACH, se procedió a la medición y se registró del valor (HACH MANUAL, 2000).



Figura 33. Análisis Fosfatos

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

2.6 Comparación de resultados con respecto a la norma vigente

Una vez analizados los resultados obtenidos, se los comparó con las normativas INEN 1108-2011 “Agua Potable. Requisitos”; y la reforma del TULSMA del Acuerdo Ministerial 2015 en su Tabla 1 “Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico”.

La comparación de los resultados con la Norma INEN 1108 se realizó a partir del punto de muestreo 3, debido a que desde este punto se realiza el proceso de desinfección y potabilización del agua. Mientras que la comparación con el Acuerdo Ministerial 097-A se realizó en cada uno de los 8 puntos, todo esto con el objetivo de comprobar el cumplimiento de los criterios de calidad establecidos en cada una de las normas mencionadas.

2.7 Análisis del proceso de potabilización existente

La Junta Administradora de Agua Potable del Barrio Ascilla Bajo inicia su proceso de potabilización desde la captación de agua cruda en la vertiente “El Girón” como se observa en la figura 34. A partir de aquí comienza el sistema de abastecimiento y conducción hacia las 20 familias que pertenecen a la Junta en calidad de usuarios.



Figura 34. Captación de Agua de la Vertiente

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Las estructuras del sistema fueron construidas en el año 2007 en un principio de acuerdo a los planos adjuntados en el Anexo V, pero al momento de su construcción fueron modificados en su dimensionamiento. Ésto se llevó a cabo mediante la colaboración económica de un fondo de ayuda internacional, a quienes los comuneros les recuerdan como “los gringuitos”. Fueron construidas con mano de obra de los comuneros del barrio transportando los materiales de construcción a través de lomo de caballo

Junto a la vertiente se construyó un tanque de captación, el cual se conecta mediante un tubo de 3 pulgadas como se muestra en la figura 35. Este tanque tiene capacidad para almacenar 6000 litros y el agua que rebosa de este vuelve a su curso natural por la quebrada.



Figura 35. Tubería de Captación

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Del tanque de captación sale una manguera de 2 pulgadas, la cual atraviesa cerca de 900 metros, atravesando las haciendas ubicadas en las lomas. En algunas de estas haciendas existe actividad ganadera, motivo por el cual a pesar de que la manguera se encuentre enterrada en su mayoría 50 centímetros, las pisadas del ganado provocan que el suelo se ablande, brote hacia la superficie como se observa en la figura 36 y en ocasiones se produzcan rupturas en las mangueras que comprometen la distribución hacia el siguiente punto.



Figura 36. Manguera de Conducción Expuesta

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

La manguera llega hasta el tanque de desinfección, ubicado en una loma cercana a las casas, el agua pasa primero por un tanque de 1m^3 , para inmediatamente pasar al tanque principal como se observa en la figura 37, este tanque tiene capacidad para tratar 24000 litros. Aquí el operador de la Junta procede a la desinfección del agua a través de la aplicación de hipoclorito de calcio. La dosificación la realiza de manera empírica, pues según sus propias palabras, él toma 2 puñados de cloro y lo vierte en el tanque cada 5 o 6 meses.



Figura 37. Tanque de Desinfección

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

El tanque además tiene una chimenea para la extracción de gases que puedan generarse por la aplicación de cloro e ingreso de aire, pero que debido a sus años ya presenta algunos daños como se evidencia en la figura 38.



Figura 38. Chimenea de Extracción de Gases

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Por último de este tanque sale una manguera de 1 pulgada, la cual es la encargada de distribuir el agua a la primera casa. Después de suministrar de agua a esta casa, la manguera se divide en dos para poder distribuir el agua a todos los usuarios del barrio a través de un tramo que va al norte, y otro tramo que va al sur como se visualiza en la figura 39.



Figura 39. Mangueras de Distribución

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Según palabras del líder de la Junta, Don Simón Ruiz, al inicio todos los miembros de la junta colaboraban puntuales con una tarifa que se había establecido de 1 dólar para gastos de mantenimiento y limpieza, pero con el pasar de los años dejaron de colaborar. En la actualidad son pocos los miembros que son conscientes de su labor como usuarios. A esto se suma la intención de los hacendados de apropiarse de las estructuras del sistema de distribución de agua, y de cerrar el paso hacia ellos.

Por este motivo y por petición de Don Simón Ruiz, se elaboró un documento que trata aclarar los derechos al agua y a las estructuras que tienen los habitantes de la comunidad, amparados bajo los derechos que establece la Constitución de la República del Ecuador del 2008, y de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua del 2016, el cual se muestra en el Anexo N° 2

2.8 Determinación de la dosis adecuada de cloro mediante el método yodométrico

Con el fin de determinar la dosis adecuada de cloro a usar se utilizó el método yodométrico, el cual se realizó mediante la determinación del cloro residual.

Es así que como primer punto se preparó la solución madre de hipoclorito de calcio (el cual es usado por la comunidad) con una concentración de 104 ppm, paso seguido se preparó un blanco para lo cual se colocó 200 ml de agua destilada en un matraz Erlenmeyer, se le añadió 5 ml de ácido acético, unos cristales de KI y unas gotas del indicador almidón como se muestra en la figura 40, cabe mencionar que en este no se observó ningún cambio de color debido a que no existía cloro residual.



Figura 40. Determinación de Dosificación

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Luego de esto se colocó 200 ml de una muestra de agua en 5 Erlenmeyer distintos y a cada uno se le añadió un volumen conocido de solución de cloro de 104,69 ppm, después de añadir el cloro se dejó reposar 30 minutos y luego se añadió a cada Erlenmeyer 5ml de ácido acético y unos cristales de KI, e inmediatamente se procedió a añadir 1ml de solución de almidón como indicador y se tituló con una solución estándar de tiosulfato de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ de concentración 0.01 N como se observa en la figura 41.



Figura 41. Titulación con Tiosulfato de Sodio

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

Finalmente con los datos obtenidos se procedió a realizar los cálculos correspondientes con el fin de obtener un gráfica en la cual se comparó los datos obtenidos de cloro residual con la de hipoclorito de calcio añadido ambos en mg/L, en esta grafica se buscó el punto en el cual se cumplía con la norma INEN 1108 con respecto al cloro residual y se determinó cuál es la dosis adecuada a usar de cloro.

Para el cálculo del cloro residual presente en cada una de las muestras se utilizó la ecuación 9.

$$\frac{mgCl_2}{L} = \frac{V Na_2S_2O_3 \times N Na_2S_2O_3 \times 35450}{V muestra}$$

Ecuación 9. Cálculo Cloro Residual

FUENTE: (Vera Cantos, 2017)

Dónde:

V Na₂S₂O₃: Mililitros de tiosulfato de sodio usados para titular

N Na₂S₂O₃: Normalidad del tiosulfato de sodio

V muestra: volumen de muestra utilizado

Para el cálculo del hipoclorito de calcio a añadirse en mg/L se utilizó la ecuación 10.

$$\frac{mgCl_2}{L} \text{añadir} = \frac{C \text{ Ca(ClO)}_2 \text{ ppm} \times V \text{ cloro añadido}}{V \text{ muestra}}$$

Ecuación 10. Cálculo Hipoclorito de calcio Añadido en mg/L

FUENTE:(Vera Cantos, 2017)

Dónde:

C Ca (ClO)₂: Concentración del hipoclorito de calcio en ppm

V cloro añadido: Volumen de cloro añadido en ml

V muestra: Volumen de muestra usado

Una vez encontrada la dosis de cloro adecuada o también conocida como demanda de cloro en mg/L, se determina el tiempo de contacto necesario con el cual se pueda garantizar la desinfección del agua. Este tiempo se obtiene a partir del método concentración-tiempo, en la cual se multiplica la concentración “C” de cloro libre aplicado con el tiempo de retención “t”, el cual da como resultado una constante “k” como se expresa en la ecuación 11.

$$C * t = k$$

Ecuación 11. Calculo tiempo de retención

FUENTE: (EMMAP, 2008)

Los valores que se le asigna a la constante “k” se dan de acuerdo al porcentaje de remoción de organismos patógenos (coliformes totales) en los procesos de sedimentación y filtración realizados previamente, la temperatura y turbiedad del agua. Estos valores se visualizan en las siguientes figuras:

En la Figura 42 se presentan los Valores de “k” en plantas con remoción del 95% al 99% y la turbiedad menor a 1,0 UNT:

VALORES DE K EN mg.mín/l PARA PLANTAS CON REMOCIÓN DEL 95 AL 99% DE COLI TOTAL																
C Dosis de cloro Aplicada a mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
≤ 0,4	24	29	35	42	16	20	23	28	12	15	17	21	8	10	12	14
0,6	25	30	36	43	17	20	24	29	13	15	18	21	8	10	12	14
0,8	26	31	37	44	17	20	24	29	13	15	18	22	9	10	12	15
1,0	26	31	37	45	18	21	25	30	13	16	19	22	9	10	12	15
1,2	27	32	38	46	18	21	25	31	13	16	19	23	9	11	13	15
1,4	27	33	39	47	18	22	26	31	14	16	19	23	9	11	13	16
1,6	28	33	40	48	19	22	26	32	14	17	20	24	9	11	13	16
1,8	29	34	41	49	19	23	27	33	14	17	20	25	10	11	14	16
2,0	29	35	41	50	19	23	28	33	15	17	21	25	10	12	14	17
2,2	30	35	42	51	20	23	28	34	15	18	21	26	10	12	14	17
2,4	30	36	43	2	20	24	29	35	15	18	22	26	10	12	14	17
2,6	31	37	44	53	20	24	29	36	15	18	22	27	10	12	15	18
2,8	31	37	45	54	21	25	30	36	16	19	22	27	10	12	15	18
3,0	32	38	46	55	21	25	30	37	16	19	23	28	11	13	15	18

Referencia: Norma RAS-2000, Título B. República de Colombia.

Figura 42: Valores de “k” en plantas con remoción del 95% al 99%

FUENTE: (EMMAP, 2008)

En la Figura 43 se presentan los Valores de “k” en plantas con remoción del 90% al 95% y la turbiedad entre 1,0 y 2,0 UNT:

VALORES DE K EN mg.mín/l PARA PLANTAS CON REMOCIÓN DEL 90 AL 95% DE COLI TOTAL																
C Dosis de cloro Aplicada a mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
≤ 0,4	37	44	52	63	25	30	35	42	18	22	26	31	12	15	18	21
0,6	38	45	54	64	25	30	36	43	19	23	27	32	13	15	18	22
0,8	39	46	55	66	26	31	37	44	20	23	28	33	13	16	19	22
1,0	40	47	56	67	27	32	38	45	20	24	28	34	13	16	19	23
1,2	40	48	57	69	27	32	38	46	20	24	29	35	14	16	19	23
1,4	41	49	58	70	28	33	39	47	21	25	29	35	14	17	20	24
1,6	42	50	60	72	28	33	40	48	21	25	30	36	14	17	20	24
1,8	43	51	61	74	39	34	41	49	22	26	31	37	15	17	21	25
2,0	44	52	62	75	29	35	42	50	22	26	31	38	15	18	21	25
2,2	45	53	64	77	30	35	43	51	22	27	32	39	15	18	21	26
2,4	45	54	65	79	30	36	43	53	23	27	33	39	15	18	22	26
2,6	46	55	66	80	31	37	44	54	23	28	33	40	16	19	22	27
2,8	47	56	67	82	31	37	45	55	24	28	34	41	16	19	23	27
3,0	48	57	69	83	32	38	46	56	24	29	34	42	16	19	23	28

Referencia: Norma RAS-2000, Título B. República de Colombia.

Figura 43: Valores de “k” en plantas con remoción del 90% al 95%

FUENTE: (EMMAP, 2008)

En la Figura 44 se presentan los Valores de “k” en plantas con remoción menores al 90% la turbiedad entre 2,0 y 5,0 UNT:

VALORES DE K EN mg.mín/l PARA PLANTAS CON REMOCIÓN MENOR DEL 90% DE COLI TOTAL																
C Dosis de cloro Aplicada a mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
≤ 0,4	49	59	69	83	33	39	47	55	24	29	35	41	16	19	23	28
0,6	50	60	71	85	33	40	48	57	25	30	36	43	17	20	24	29
0,8	52	61	73	87	35	41	49	59	26	31	37	44	17	21	25	29
1,0	53	63	75	89	35	42	50	60	26	31	37	45	17	21	25	30
1,2	53	63	76	91	36	43	51	61	27	32	38	46	18	21	25	31
1,4	55	65	77	93	37	43	52	63	27	33	39	47	18	22	26	31
1,6	55	66	79	96	37	44	53	64	28	33	39	48	19	22	27	32
1,8	57	67	81	98	38	45	54	65	29	34	41	49	19	23	27	33
2,0	58	69	83	100	39	46	55	67	29	35	41	50	19	23	27	33
2,2	59	70	85	102	39	47	57	68	29	35	42	51	20	23	28	34
2,4	60	71	86	105	40	48	57	70	30	36	43	52	20	24	29	35
2,6	61	73	87	107	41	49	59	71	31	37	44	53	21	25	29	35
2,8	62	74	89	109	41	49	59	73	31	37	45	54	21	25	30	36
3,0	63	75	91	111	42	51	61	74	31	38	45	55	21	25	31	37

Referencia: Norma RAS-2000, Título B, República de Colombia.

Figura 44: Valores de “k” en plantas con remoción menor al 90%

FUENTE: (EMMAP, 2008)

Cabe recalcar que las tablas están hechas en función a la concentración de Cloro Libre Residual para el cálculo del Tiempo de Detención.

Para encontrar la dosificación en gasto de cloro, el cual nos indica la cantidad de cloro a dosificar en el tanque por día se aplica la ecuación 12.

$$W_{Ca(ClO)_2} = \frac{Q \cdot D}{C}$$

Ecuación 12. Cálculo cantidad de Ca(ClO)₂

FUENTE: (Aguirre Morales, 2015)

Dónde:

$W_{Ca(ClO)_2}$: Cantidad de hipoclorito de calcio a dosificar g/día

Q : Caudal a tratar L/día

D : Demanda de cloro g/L

C : % concentración del hipoclorito de calcio

Por último se procedió al cálculo del volumen del tanque y el respectivo análisis para determinar si el volumen del tanque es suficiente para la desinfección de acuerdo al caudal del sistema, a través de la interpretación de los resultados de las ecuaciones 13 y 14:

$$\mathbf{Volumen} = \mathbf{Alto} \times \mathbf{Base} \times \mathbf{Ancho}$$

Ecuación 13. Cálculo del Volumen del Tanque

FUENTE: (Aguirre Morales, 2015)

$$\mathbf{Volumen\ adecuado} = \mathbf{Caudal\ a\ tratar} * \mathbf{Tiempo\ de\ retencion}$$

Ecuación 14. Cálculo del volumen adecuado del tanque

FUENTE: (Aguirre Morales, 2015)

2.9 Propuesta de Mejora de Mantenimiento del Sistema y Proceso de Desinfección

Una vez realizado el análisis del sistema de abastecimiento de agua del barrio Ascilla Bajo, tanto en las estructuras que lo conforman como el proceso de desinfección, se elaboró una propuesta de mejora escrita para la aplicación del operador y demás miembros de la Junta de Agua Potable, en la cual se mencionan ciertos protocolos de seguridad, mantenimiento y limpieza de cada una de las estructuras y accesorios.

Además se sugirió una mejora al proceso de desinfección, debido a que la actual dosificación se realizaba de forma empírica y en tiempos no programados, que garanticen la calidad del agua de consumo humano y doméstico.

2.10 Determinación del Índice de Calidad del Agua ICA en el Punto 1 “Vertiente”

El ICA-NSF emplea ponderaciones para cada uno de 9 sus parámetros, asociados de acuerdo su influencia de su concentración en el agua, los cuales se describen en la tabla 11.

Tabla 11. Ponderaciones de Parámetros

Fuente: (Torres Hinojosa, 2018)

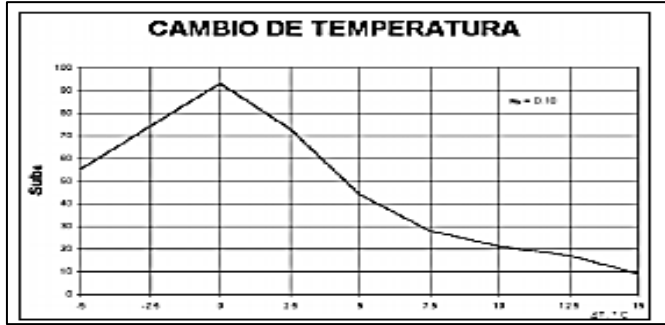
Parámetro	Ponderación
Oxígeno Disuelto	0.17
DBO ₅	0.11
Turbidez	0.08
Sólidos Suspendidos Totales	0.07
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
pH	0.11
Temperatura	0.10
Coliformes Fecales	0.16

Además cada parámetro tiene sus respectivas funciones del subíndice para su posterior empleo en el promedio aritmético ponderado como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Funciones para el Cálculo del Subíndice

FUENTE: (Torres Hinojosa, 2018)

Parámetro	Dimensión	Función del Subíndice
DBO	mg/L	$SI_{DBO5} = e^{(4,5824 - 0,01078DBO_5 \times 2,4581 \times 10^{-14} e^{1/DBO_5})}$ Si $DBO_5 > 30$ mg/L, $SI_{DBO5} = 2$
OD (%Sat)	% saturación	$SI_{OD} = e^{(1,3663 * 0,063 \% sat - 0,000303 \% sat^2)}$ Si % Sat > 140, $SI_{OD} = 50$
TURBIEDAD (Turb)	UNT	$SI_{Turb} = e^{(4,361 - 0,0196 Turb * 2,4167 * 10^{-5} Turb^2)}$ Si Turb > 100 UNT, $SI_{Turb} = 5$
SDT	mg/L SI_{SDT}	$SI_{SDT} = \frac{1}{0,0123 - 1,3545 * 10^{-5} SDT + 9,265 * 10^{-0} SDT^2}$ Si SDT > 500 mg/L, $SI_{SDT} = 20$
pH	Unidades de pH	$SI_{pH} = e^{(-7,6434 pH * 18,5352 \frac{1}{pH} * 14,625 (ln(pH))^2)}$ Si $pH < 2,0$ o $pH > 12,0$ und, $SI_{pH} = 0$
CF	NMP	$SI_{CF} = e^{(4,5922 - 0,1063 ln(CF) - 0,0152 (ln(CF))^2)}$ Si Coliformes Fecales > $10^5/100$ mL, $SI_{CF} = 2$
PO ₄	mg/L PO ₄	$SI_{PO_4} = \frac{1}{0,0084 - 0,0143 PO_4 + 0,00074 (PO_4)^2}$ Si $PO_4 > 10$ mg/L, $SI_{PO_4} = 2$
N-NO ₃	mg/L	$SI_N = e^{(4,4706 - 0,043 N * 2,8813 * 10^{-5} N^2)}$ Si N > 100mg/L, $SI_N = 1$
T	°C	$SI_T = T^\circ \text{ambiente} - T^\circ \text{Muestra}$ Si $SI_T > 15^\circ\text{C}$, $SI_T = 9$ Si $SI_T > 15^\circ\text{C}$, interpolar de la siguiente figura



Por último se valoriza la calidad de la fuente de agua partir de la ecuación 15.

$$ICA = \sum_{i=1}^9 S_i W_i$$

Ecuación 15. Cálculo del ICA NSF

FUENTE: (Torres Hinojosa, 2018)

Dónde:

ICA = índice de calidad de agua NSF

S_i = subíndice de calidad para el parámetro i

W_i = coeficiente de ponderación del parámetro i

Una vez encontrado el índice de calidad de agua en valores entre 100 y 0, se procede a la interpretación a través de la siguiente estimación que se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Estimación del Índice de Calidad del Agua

FUENTE: (Torres Hinojosa, 2018)

Valor del Índice de Calidad	Clasificación	Escala de Color
91 – 100	Excelente calidad	Azul
71 – 90	Buena calidad	Verde
51 – 70	Mediana calidad	Amarillo
26 – 50	Mala calidad	Naranja
0 – 25	Muy mala calidad	Rojo

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recorrido puntos GPS

A continuación en la figura 45 se presenta el recorrido realizado por los puntos de toma de muestras a través de una ilustración hecha con Google Earth mediante el software del equipo GPS con el que se trabajó:



Figura 45. Recorrido GPS Puntos de Muestreo

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

3.2 Evaluación de parámetros analizados

En la Tabla N°14 se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro en cada uno de los ocho puntos.

Tabla 14. Resultados Obtenidos por punto de muestreo

RESULTADOS OBTENIDOS									
Parámetros	Unidad	PUNTO N°1	PUNTO N°2	PUNTO N°3	PUNTO N°4	PUNTO N°5	PUNTO N°6	PUNTO N°7	PUNTO N°8
Temperatura	°C	18	18,7	19,93	22,6	21,1	21,1	20,2	20,9
Conductividad	μS/cm	95,6	128,7	131,2	150,7	139,7	135,1	135,2	136,9
Salinidad	Ppt	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Turbiedad	NTU	0,73	1,04	0,90	0,59	0,64	0,67	0,58	0,74
Potencial Hidrógeno	Unidades de pH	7,64	7,9	7,54	7,17	7,54	7,65	7,33	7,65
Oxígeno Disuelto	mg/L	6,67	6,6	5,5	6,12	5,8	5,93	6,32	6,54
Cloro Residual	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales	NMP/100	20,64	54,26	54,26	54,26	49,34	39,53	49,34	49,34
Coliformes Fecales	NMP/100	15,64	54,26	54,26	54,26	39,53	35,13	25,17	39,53
Dureza	mg/L	90	60	61	59	71	70	70	70
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	0,5	0,9	0,7	1,9	1,8	2	1,8	2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	6	8	7	8	7	7	8	8

Continúa en la siguiente página

Continuación Tabla 14

Sólidos Totales	mg/L	0,09	0,13	0,12	0,12	0,10	0,09	0,10	0,11
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	0,05	0,07	0,07	0,09	0,07	0,06	0,07	0,07
Hierro Total	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
Cloruros	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Color Real	Unidades de Color (Pt-Co)	2	8	13	12	9	12	9	10
Cobre	mg/L	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03
Nitritos	mg/L	0,024	0,043	0,022	0,022	0,014	0,01	0,014	0,016
Nitratos	mg/L	12	11,8	11,5	12,5	12,1	11,3	11,9	11,5
Manganeso	mg/L	0,022	0,059	0,049	0,015	0,029	0,01	0,014	0,012
Fosfatos	mg/L	0,74	0,65	0,55	0,51	0,55	0,59	0,52	0,7

Conductividad y Sólidos Disueltos Totales

A continuación en la Figura 46 se visualizan los resultados del análisis para los parámetros de conductividad y sólidos disueltos totales en cada uno de los puntos.

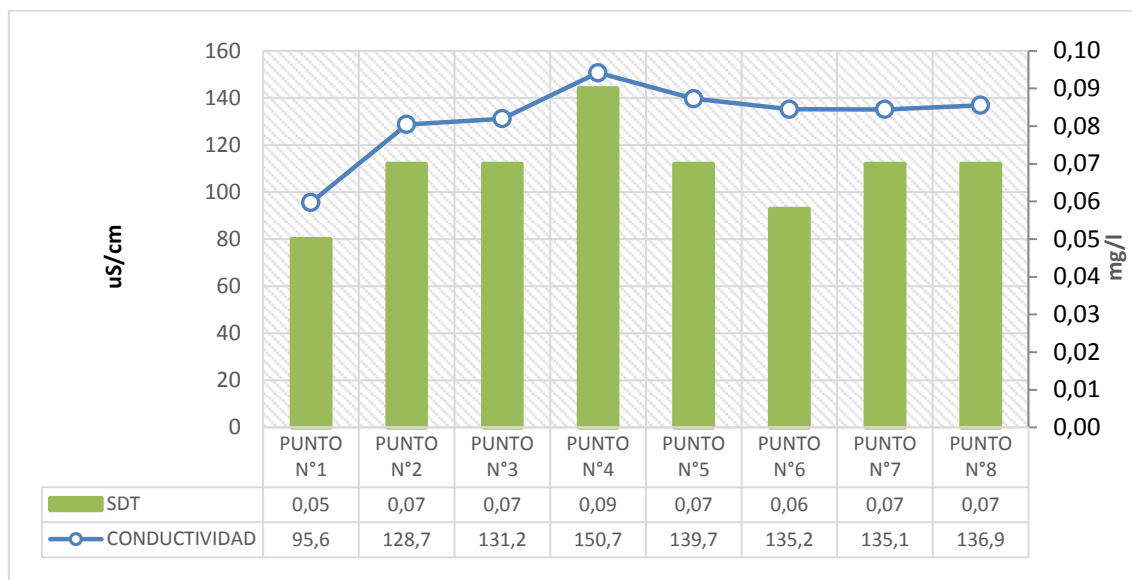


Figura 46. Resultados Conductividad y Sólidos Disueltos Totales

Con respecto a estos parámetros, tanto el Acuerdo Ministerial 097-A como la Norma INEN 1108 no establecen límites máximos permisibles. Sin embargo bibliografía de normativas internacionales como es el caso de Perú establece que generalmente para agua potable la conductividad es de máximo 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que demuestra que los valores obtenidos con respecto a estos parámetros son bajos (MINIAM, 2008).

En el caso de los sólidos disueltos totales, si bien es un parámetro que no se establece en normativas, sin embargo es de importancia su evaluación debido a su aplicación para el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA)

Al analizar los parámetros en conjunto se observa que no existen grandes variaciones en los resultados, es así que se determina que la conductividad es directamente proporcional a la cantidad de sólidos disueltos totales presentes en el agua, al existir un aumento en la cantidad de sólidos disueltos la conductividad aumenta y al disminuir de igual forma (HANNA instruments, 2017).

El punto número uno presenta el valor más bajo de ambos parámetros, sin embargo se aprecia, que a partir del punto dos al punto tres, estos aumentan debido que al tratarse

de los dos tanques tanto el de almacenamiento como el de cloración, la falta de mantenimiento de los mismos produce que se dé la presencia de sólidos disueltos totales y que por ende su conductividad aumente.

El punto cuatro, perteneciente al primer domicilio en abastecer presenta el resultado más alto tanto en sólidos disueltos totales como en conductividad, esto debido a la existencia de fugas a lo largo de la conducción, lo que implica que el agua se encuentra en contacto con el suelo, añadiéndole así carga iónica, lo que produce un aumento en su conductividad y la cantidad de sólidos disueltos. A esto sumado que es el punto en el que existe mayor temperatura causando un aumento en la conductividad.

A partir del punto cinco al punto siete, la conductividad disminuye ya que se presentan menos sólidos disueltos totales. En el punto ocho se presentan un nuevo aumento en la conductividad esto debido a que la temperatura en ese punto vuelve a aumentar.

Color Real

En la Figura 47 se visualizan los resultados para el parámetro Color Real en cada uno de los puntos.

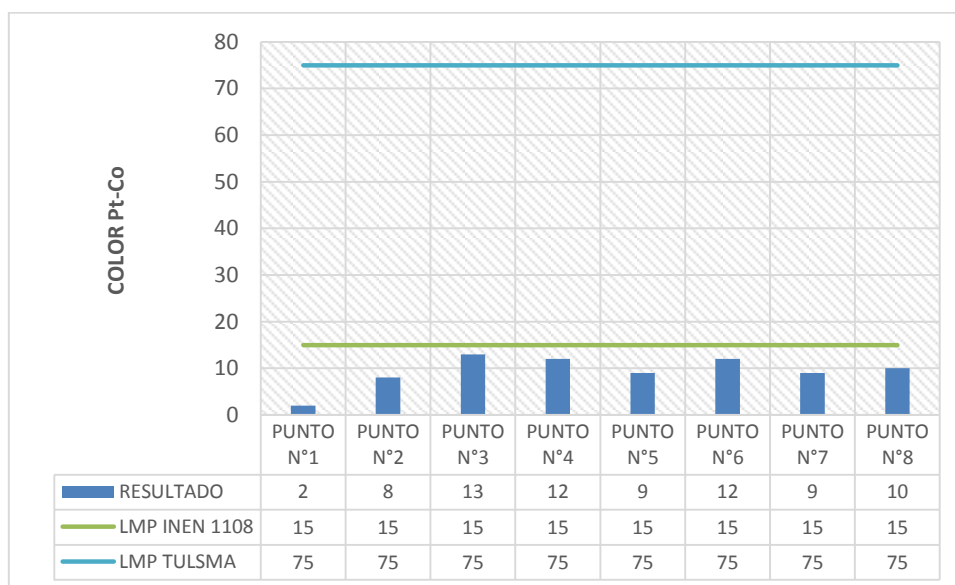


Figura 47. Resultados Color Real

Como se observa, estos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, en el caso del Acuerdo Ministerial 097-A establece como máximo 75 unidades de color Pt-Co, mientras que en la norma INEN 1108 de 15 unidades de color de Pt-Co.

Se aprecia que este parámetro varía en cada punto, esto se debe a que la cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua también varía, lo cual es causado por que el sistema de distribución de agua no ha recibido ningún tipo de mantenimiento por el lapso de seis meses debido a la falta de organización de los miembros de la comunidad, además de la falta de pagos de la mensualidad acordada, lo que dificulta que se lleven a cabo estas actividades.

Turbiedad y Sólidos Suspendidos Totales

A continuación en la Figura 48 se presentan los resultados obtenidos del análisis tanto de Turbiedad como de Sólidos Suspendidos Totales en cada uno de los puntos muestreados.



Figura 48. Resultados Turbiedad y Sólidos Suspendidos Totales

Una vez analizados los datos obtenidos se determinó que los resultados de turbiedad se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A, el cual determina como máximo 100 NTU, mientras que la Norma INEN 1108, establece 5 NTU. Es así que se puede determinar que cada una de las muestra cumplen con la normativa.

Al relacionar la turbiedad con los sólidos suspendidos totales se observa que existe gran similitud entre los dos. El punto número dos perteneciente al tanque de almacenamiento, muestra el resultado más alto con respecto a ambos parámetros; lo cual tiene mucha concordancia, ya que al existir mayor cantidad de material en

suspensión la turbidez aumenta. Esto es de esperarse ya que en el trayecto que recorre el agua desde la vertiente hacia el tanque de almacenamiento acarrea consigo partículas en suspensión.

Sin embargo, los resultados obtenidos son bajos, lo cual indica que estos no causan mayor problema en la calidad del agua demostrando que con respecto a este parámetro el agua puede ser consumida con normalidad.

Temperatura

A continuación en la Figura 49 se presentan los resultados del parámetro temperatura.

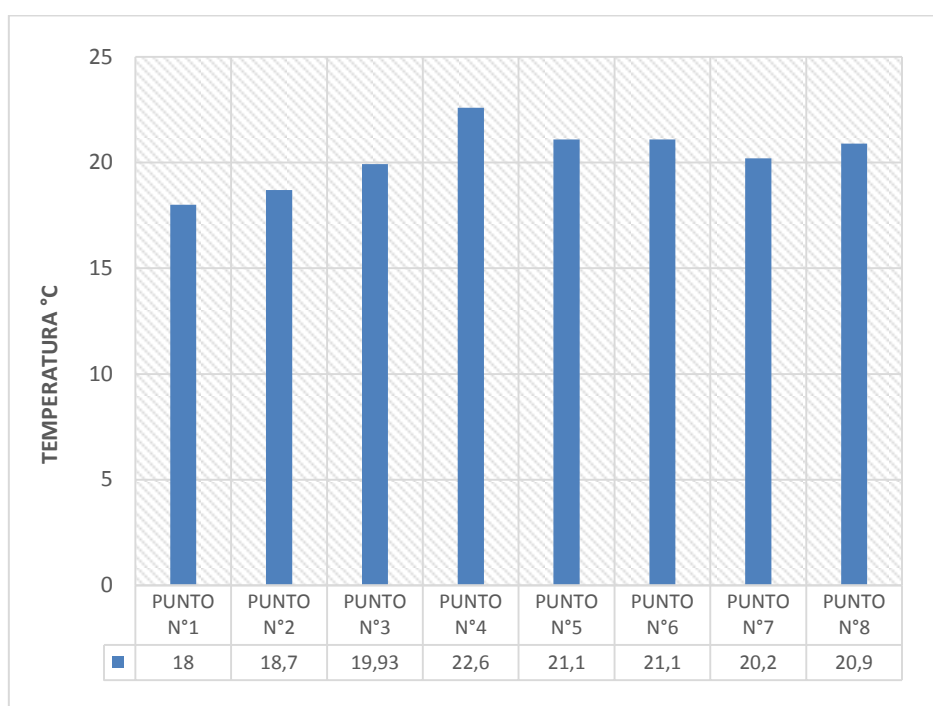


Figura 49. Resultados Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros que no aplican en ninguna de las normativas, sin embargo lo ideal para el agua cruda es que en condiciones naturales esta varíe entre +/- 3 grados centígrados de la temperatura ambiente (TULSMA, 2002).

Como se visualizan los resultados varían de 18 a 22,6 °C esto se debe a los cambios de temperatura a lo largo de toda la conducción. Sin embargo, no se muestra una gran variación entre sí, lo que es importante ya que así se garantiza que no se ha producido la volatilización o inactivación de algún agente desinfectante, lo que provocaría una disminución de la eficiencia del proceso de cloración.

Potencial Hidrógeno (pH)

El análisis del parámetro potencial hidrogeno (pH) entregó los resultados que se observan a continuación en la Figura 50.

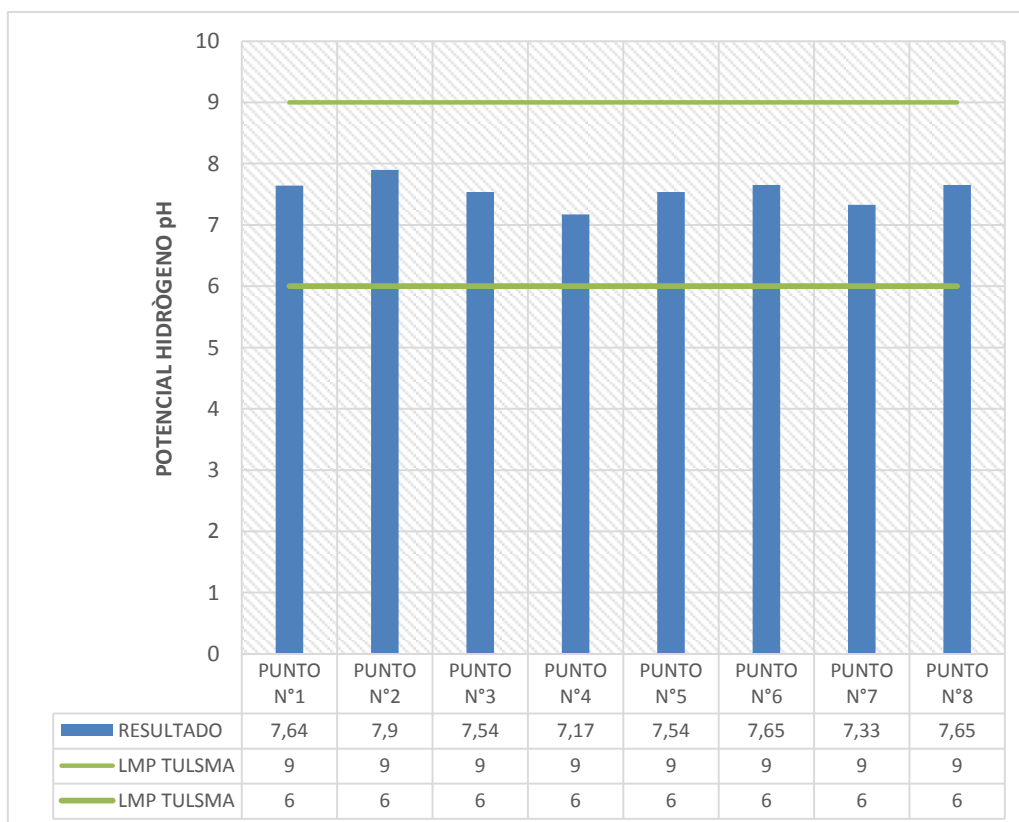


Figura 50. Resultados pH

Al analizar los resultados obtenidos se determinó que éstos cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A el cual es de 6 a 9.

Como se observa, los resultados en cada uno de los puntos el pH se encuentra entre 7,64 y 7,9; lo cual muestra que se encuentra en un valor aceptable para consumo humano, además es adecuado para evitar problemas posteriores como de corrosión de las tuberías y afectación al proceso de cloración (Lopez, 1990).

A continuación en la figura 51 se muestra la relación que existe entre el pH y la temperatura.

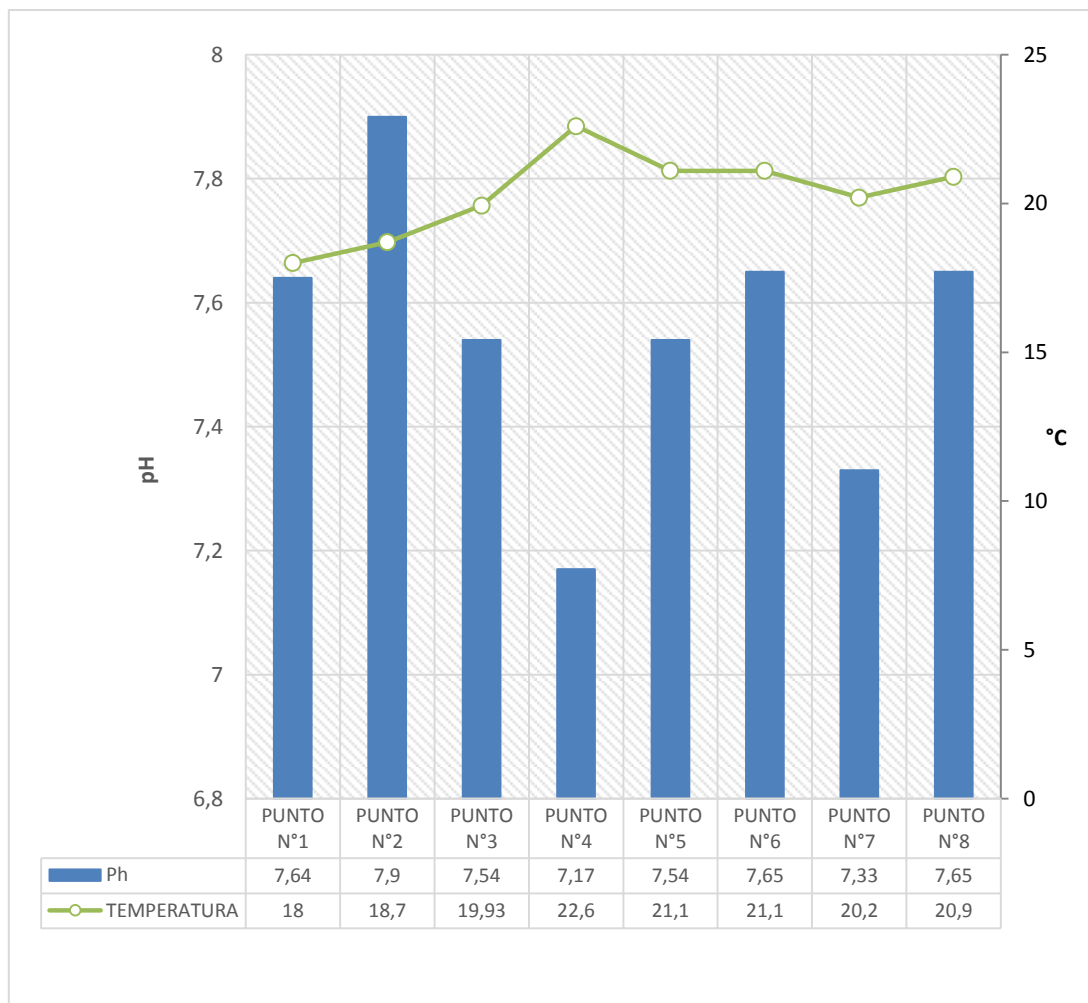


Figura 51. Relación pH y Temperatura

Existe una relación estrecha entre temperatura y pH, es así que al existir un incremento en el pH la temperatura disminuye, esto debido a que cuando aumenta la temperatura, las moléculas tienden a separarse en sus elementos: hidrógeno y oxígeno. Al aumentar la proporción de moléculas se produce más hidrógeno, lo cual por supuesto aumenta a su vez el potencial de hidrógeno pH (HANNA Instruments, 2017).

Al analizar los parámetros en conjunto, se observa que el pH es inversamente proporcional a la temperatura es así que al aumentar la temperatura el pH disminuye y viceversa, como se evidencia en el punto cuatro, el cual presenta el valor de temperatura más alto y el menor valor de pH y en el punto dos se muestra que al disminuir la temperatura el pH aumenta.

Dureza Total

A continuación, en la figura 52, se visualizan los resultados para el parámetro dureza en cada uno de los puntos.

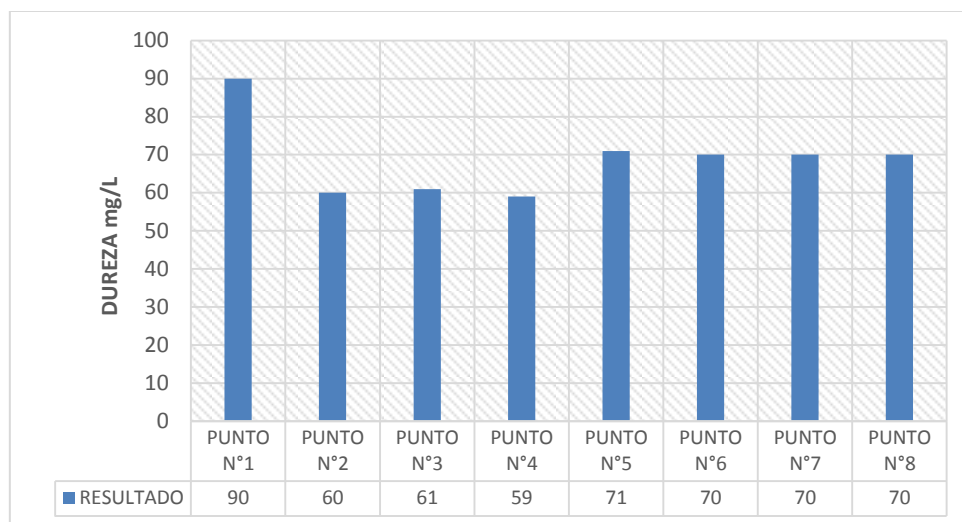


Figura 52. Resultados Dureza

La dureza es uno de los parámetros que no se encuentran establecidos en normativa sin embargo su análisis es de importancia ya que tiene influencia en el mantenimiento del sistema. En su versión anterior a la reforma el TULSMA, Libro VI, Anexo I establecía que el límite máximo permisible para el parámetro dureza era de 500 mg/L, tomando este valor como referencia se logró determinar que los valores obtenidos son bajos, lo cual es beneficioso ya que al no existir altas concentraciones de calcio y magnesio se permite evitar la formación de incrustaciones en las tuberías (Loaiza et al., 2008).

En el punto número uno se observa el nivel de dureza más alto en comparación con los otros puntos, esto se debe a que al tratarse de la vertiente, el agua subterránea suele presentar sales de magnesio y calcio provenientes de la geología del lugar lo que produce que en este punto el agua sea moderadamente dura (FACSA, 2017).

A partir del punto dos los resultados disminuyen y varían entre 60 y 70 mg/L lo que indica que el agua en estos puntos es considerada blanda, la disminución a partir de este punto se debe a que al aumentar la temperatura la solubilidad del carbonato de calcio disminuye dando como resultado niveles menores de dureza total (Quimitube, 2015).

Cloruros

A continuación en la figura 53 se observan los resultados del análisis para el parámetro Cloruros en cada uno de los puntos.

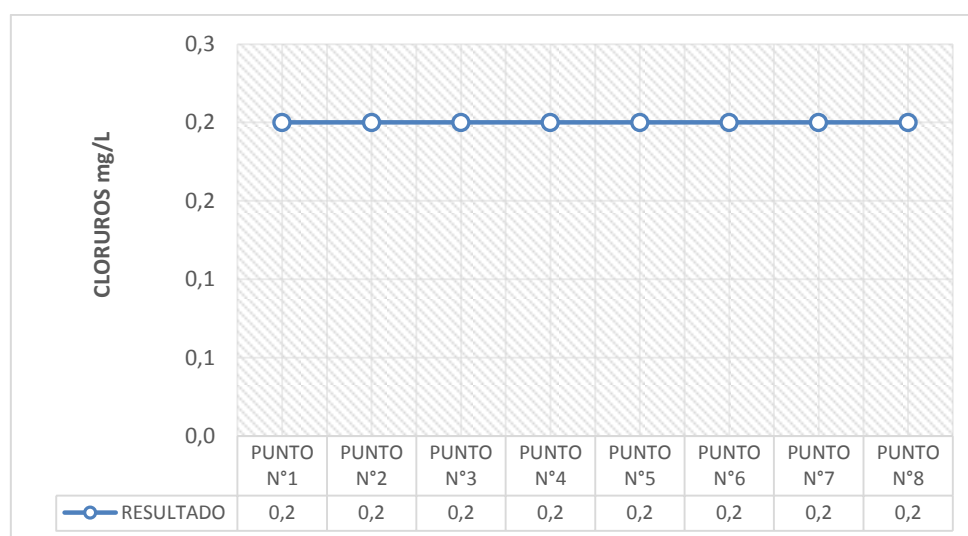


Figura 53. Resultados Cloruros

Como se observa, el contenido de cloruros no varió en ninguno de los puntos y se obtuvo un valor de 0,2 mg/L, este es uno de los parámetros que no se encuentra en ninguna de las normativas sin embargo en su versión anterior el TULSMA establecía un máximo permisible de 250 mg/L valor que se tomó de referencia para determinar que los resultados obtenidos son sumamente bajos, lo que es de esperarse ya que se trata de agua natural y su contenido mineral es mínimo, además de que la fuente se encuentra lejos de la zona costera, y no está sujeta a contaminación producida por el hombre (Chacón Chaquea, 2016).

Cloro Residual

Los resultados del análisis de este parámetro fue de 0 mg/L en todos los puntos. La ausencia de cloro residual en los puntos a muestrear se debe a que el último proceso de desinfección que se había realizado fue hace alrededor de 6 meses. Este tiempo es el que suele dejar pasar al operador encargado de la cloración. La ausencia de cloro libre residual es un claro indicador de la falta de cloración lo cual conlleva a la presencia de microorganismos que afectan a la calidad del agua.

Oxígeno Disuelto

A continuación en la Figura 54 se visualizan los resultados del análisis para el parámetro Oxígeno Disuelto.

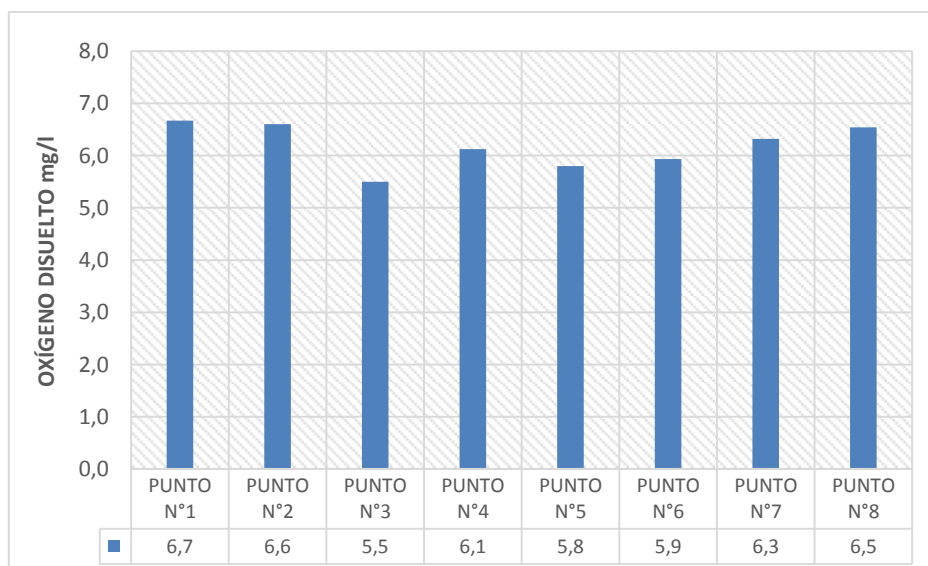


Figura 54. Resultados oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros que no se contemplan en las normativas, sin embargo, su análisis es de importancia ya que éste se tomará en cuenta posteriormente para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

El oxígeno disuelto presente en una muestra de agua depende de factores como la temperatura ya que al aumentar ésta, la cantidad de oxígeno disuelto disminuye, así también depende de la cantidad de materia orgánica presente (Romero, 2009).

Es así que en el punto número uno se muestra el valor más alto de oxígeno disuelto esto debido a que es el punto en el que la temperatura es la más baja, y al existir menor temperatura la cantidad de oxígeno disuelto aumenta. Además de que al tratarse de la vertiente este punto no presenta grandes cantidades de materia orgánica.

El punto tres perteneciente al tanque de cloración presenta el valor de oxígeno disuelto más bajo, esto debido a la falta de mantenimiento del mismo, lo cual brinda una idea de la existencia de contaminación en el agua generada por la descomposición de la materia

orgánica, ya sea por plantas o microorganismos que se encontraron vivos en algún momento, lo que causa la disminución del oxígeno disuelto (Severiche et al., 2013).

A continuación en la Figura 55 se presenta una comparativa de los resultados de oxígeno disuelto determinado *in situ* y en laboratorio en cada uno de los puntos.

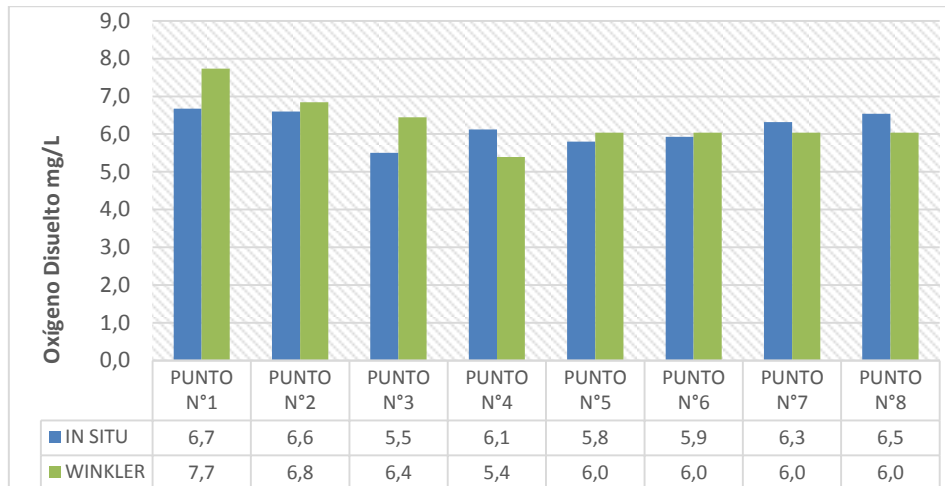


Figura 55. Comparación medición *in situ* y en laboratorio de oxígeno disuelto

Como se visualiza existe una variación de resultados dependiendo del método de análisis, esto podría deberse a los cambios en temperatura al momento de la toma de la muestra. Además de que las muestras fueron tomadas en distintos días de muestreo, así también se puede deber a errores en la calibración de los equipos.

En la Figura 56 se presenta el porcentaje de saturación del oxígeno en cada uno de los puntos muestreados.

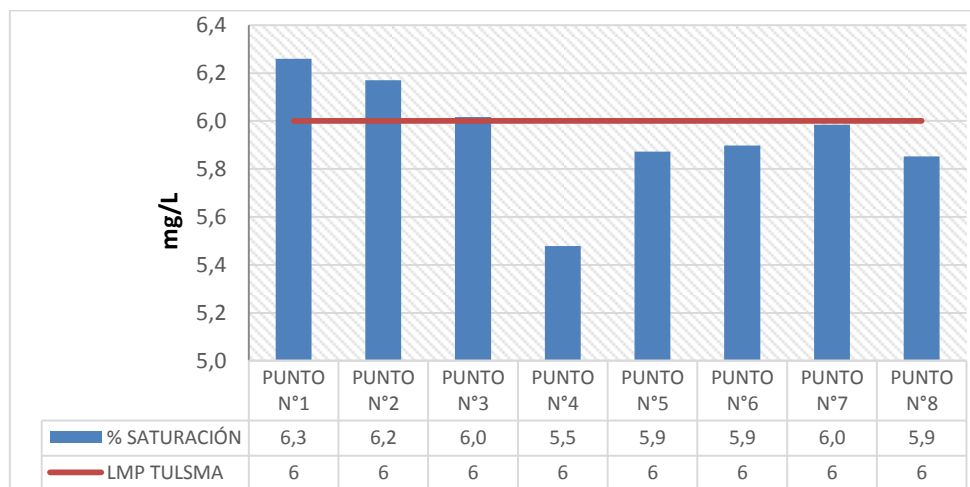


Figura 56. Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto

Antes de la reforma hecha al TULSMA se determinó que el porcentaje de saturación óptimo no debía ser menor al 80% de oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/L valores que se tomaron como referencia, lo que indica que los resultados obtenidos no serían los óptimos. Esto podría deberse a que los puntos en los que se realizó el muestreo son lugares altos y por ende el agua contiene menos oxígeno disuelto ya que a mayor altitud menor cantidad de oxígeno disuelto, además de acuerdo a los análisis realizados de Coliformes fecales y totales que se describen más adelante, la presencia de estas bacterias indican un consumo de oxígeno en grandes cantidades por la descomposición realizada por las mismas (Chacón Chaquea, 2016).

Hierro Total y Manganeseo

A continuación en la Figura 57 se presentan los resultados de los parámetros Hierro Total y Manganeseo.

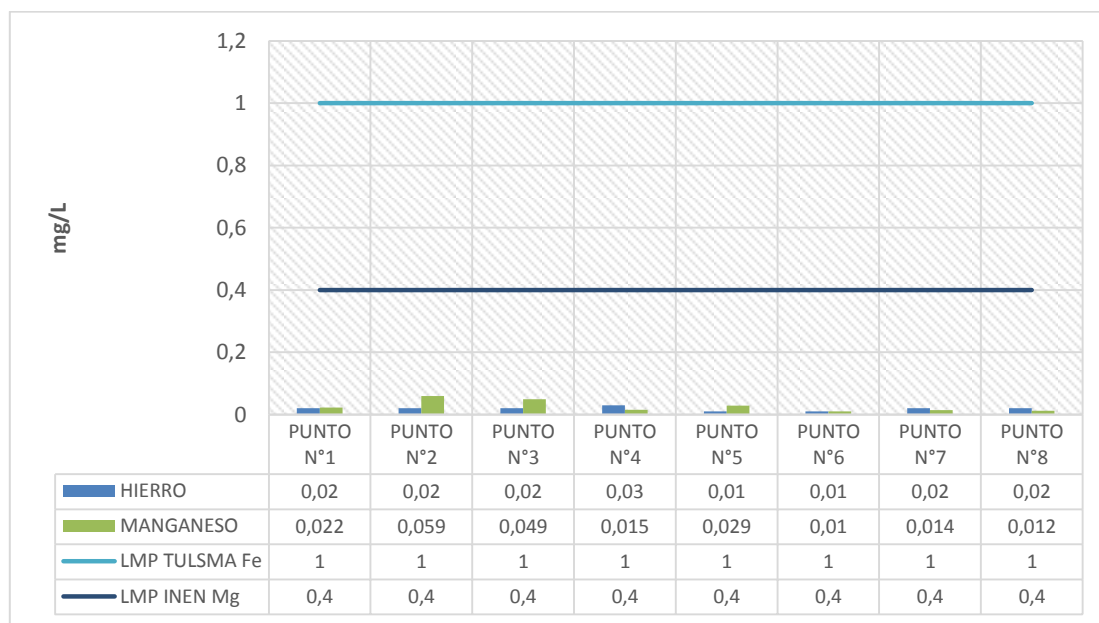


Figura 57. Resultados Hierro Total

Con respecto a los resultados del manganeso los valores determinados son bajos, razón por la cual cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la Norma INEN 1108, en las que se establece que este es de 0,4 mg/L. De igual forma los resultados del parámetro hierro se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A el cual establece que es de 0,4 mg/L.

Como se puede observar tanto los valores de hierro como de manganeso se encuentran en un rango de 0,02 y 0,05 mg/L lo que nos indica que estos son bajos y cumplen con las normativas vigentes, esto es favorable ya que quiere decir que el hierro y el manganeso se encuentran presentes como Fe^{3+} y Mn^{4+} , es decir que se encuentran en sus formas más estables. Lo que es beneficioso ya que muestra que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es adecuado es así que al existir bajas cantidades de hierro y manganeso se confirma que no existen condiciones anaerobias, además de que así se evitan problemas como tinciones en los accesorios de plomería, incrustaciones en las tuberías y dificultades en los sistemas de distribución debido al crecimiento de bacterias de hierro y manganeso que ocasionan altas demandas de cloro (Romero, 2009).

Fosfatos

Los resultados en el parámetro Fosfatos se visualizan a continuación en la Figura 58.

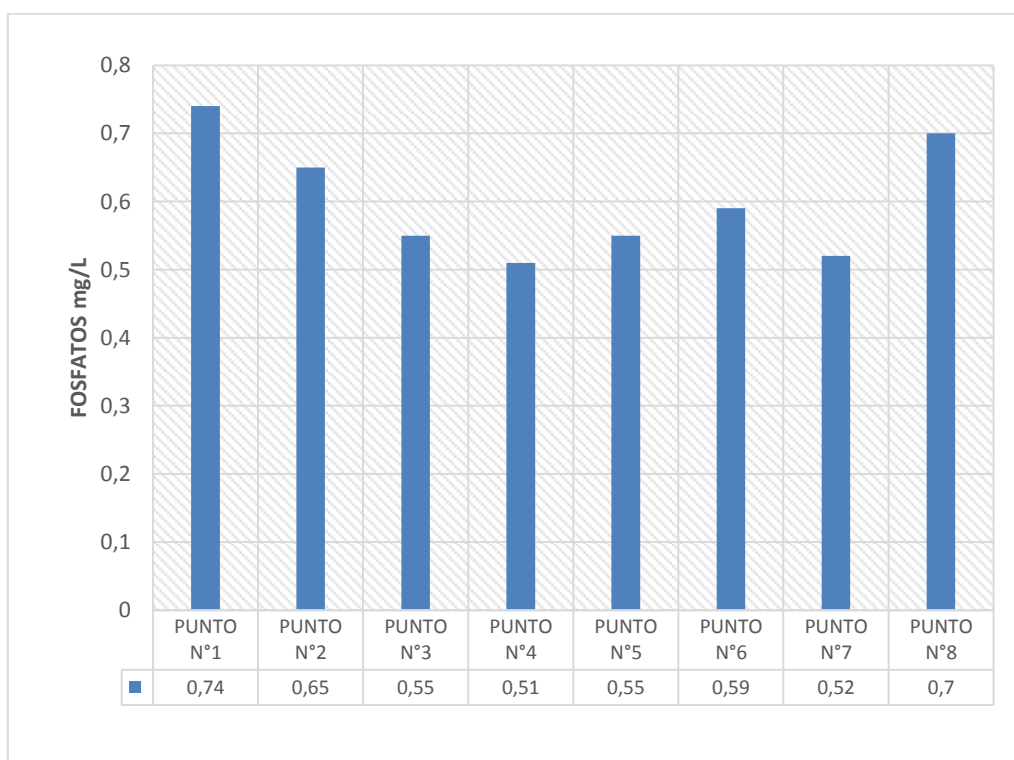


Figura 58. Resultados Fosfatos

El parámetro fosfatos no se encuentra establecido en ninguna de las normativas analizadas, los compuestos de fosfato se encuentran en el agua ya sea por el uso de fertilizantes que han sido depositados en el suelo y que por infiltración han llegado al

agua, o a su vez por excretas animales o humanas que han llegado al agua de igual forma (Severiche et al., 2013).

Sin embargo se visualiza que los resultados se encuentran en un rango de 0,51 a 0,74 ppm lo cual es un rango adecuado ya que por lo general en el agua cruda no suele exceder de 1 ppm, además de que no presenta variaciones significativas en cada uno de los puntos lo que es beneficioso por que se evita la formación de algas debido a la eutrofización, lo que implicaría que se dé un consumo de oxígeno en el agua (Bolaños et al., 2017).

Nitritos

El análisis del parámetro nitritos entregó los resultados que se observan a continuación en la Figura 59.

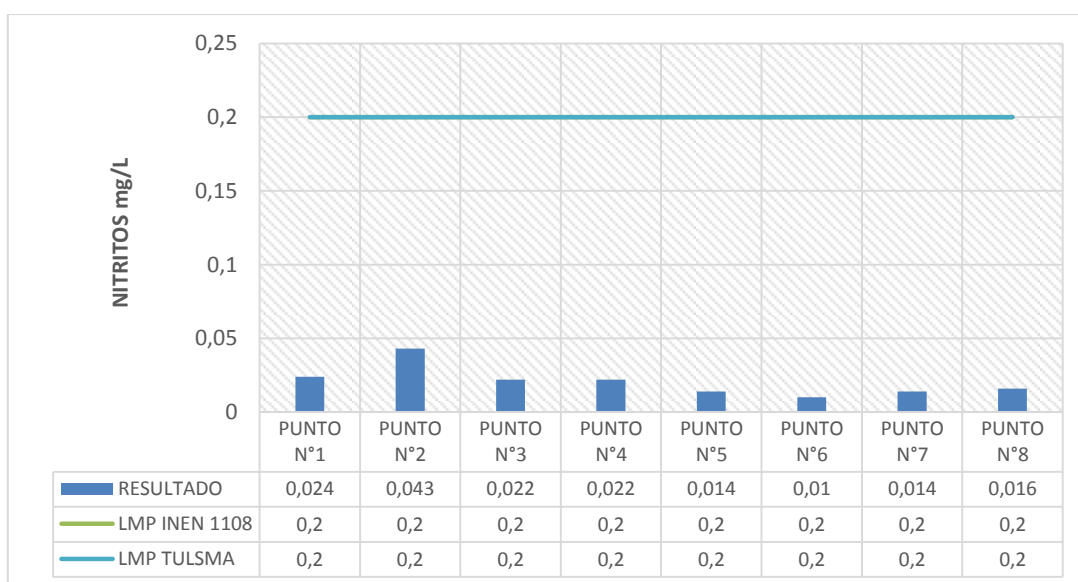


Figura 59. Resultados Nitritos

Analizados estos resultados se puede determinar que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que establece la Norma INEN1108 y Acuerdo Ministerial 097-A el cual es de un máximo de 0,2 mg/L. Sin embargo, como se observa el punto número dos perteneciente al tanque de captación es el que presenta el valor más alto en comparación con los demás puntos, teniendo 0,024 mg/L; su incremento en el valor de nitritos se puede deber a la falta de limpieza y mantenimiento del tanque, ya que los nitritos se pueden originar debido a la presencia de contaminación bacteriológica (Loaiza et al., 2008).

Sin embargo, sus valores son mínimos lo cual demuestra que con respecto a este parámetro el agua se encuentra en buenas condiciones para ser consumida.

Nitratos

A continuación en la Figura 60 se visualiza los resultados para el parámetro nitratos en cada uno de los puntos.

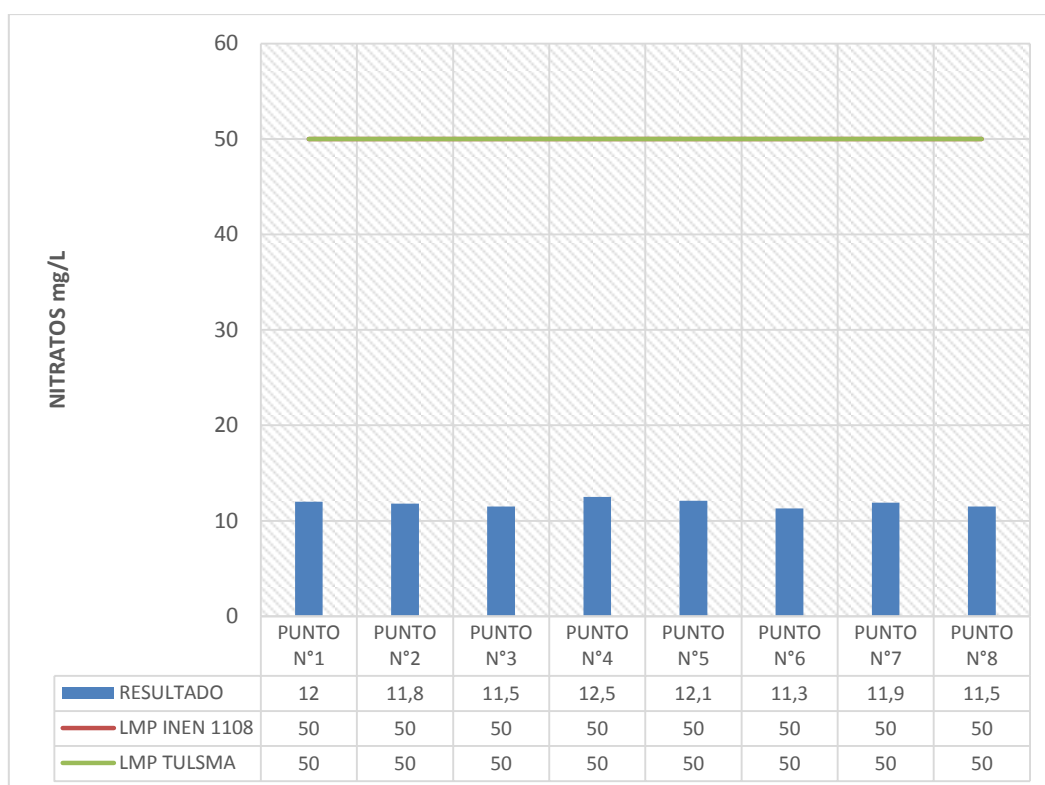


Figura 60.Resultados Nitratos

De acuerdo a la comparación con el Acuerdo Ministerial 097-A y a la norma INEN 1108 se determina que este parámetro cumple con los límites máximos permisibles en cada uno de los puntos. En general en cada uno de los ocho puntos no se presentan variaciones significativas es así que se encuentran en un rango de 11,3 a 12,5.

El punto número cuatro presenta el nivel más alto en comparación con los demás, esto se debe a la presencia de ya sea de fertilizantes o de estiércol de animales cercanos a la zona, los cuales se infiltran en la capa freática de la tierra hasta llegar a los canales de agua subterránea, o también pueden ser arrastrados por escorrentía al agua subterránea. A esto sumada la existencia de fugas a lo largo del sistema de conducción lo cual puede ocasionar infiltración de los mismos contaminantes (Loaiza et al., 2008).

Cobre

A continuación en la Figura 61 se observan los resultados del análisis para el parámetro cobre en cada uno de los puntos.

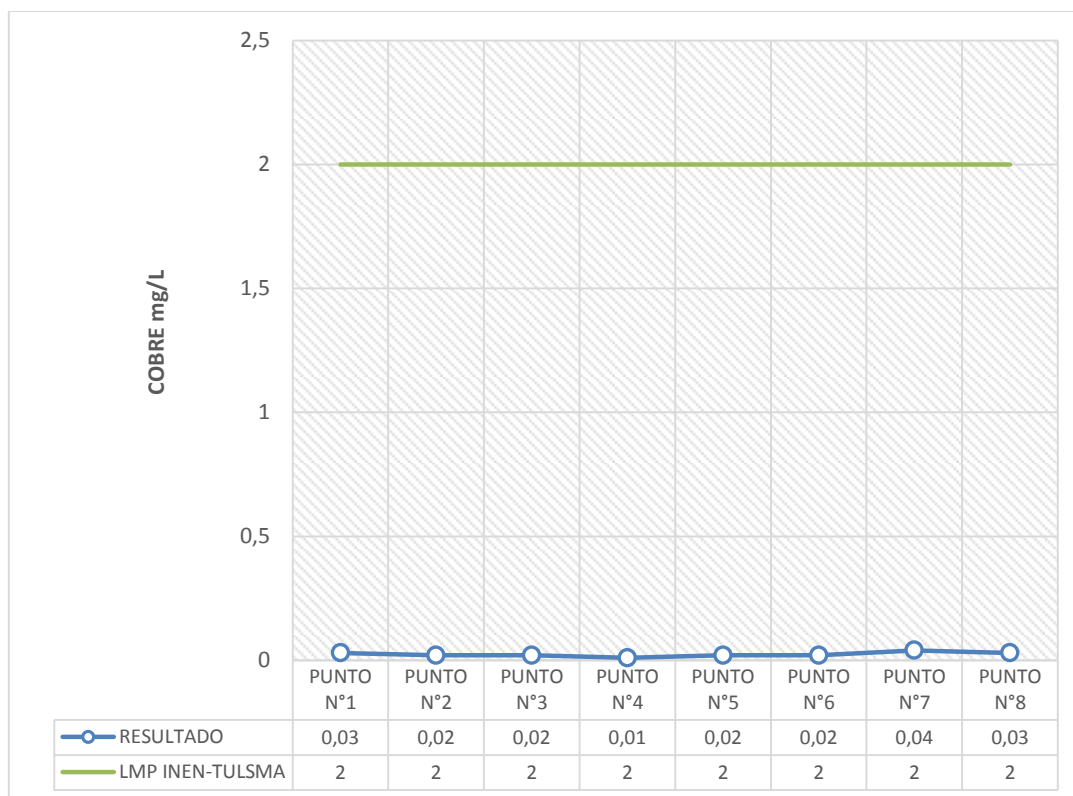


Figura 61. Resultados Cobre

Al analizar los resultados obtenidos se determina que éste se encuentra dentro de los límites máximos permisibles ya que la Norma INEN 1108 y Acuerdo Ministerial 097-A, establecen un máximo de 2 mg/L.

La presencia de Cobre en aguas de consumo puede ser de origen natural o antrópico, por efecto de lixiviación o ya sea por corrosión a causa del contacto con los materiales que contienen Cobre.

Los valores obtenidos son sumamente bajos lo cual indica que el agua no presenta rastros de este metal debido a la geología del lugar, por lo cual puede ser considerada apta para el consumo.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

A continuación en la Figura 62 se visualizan los resultados del análisis para DBO₅ y DQO en cada uno de los puntos.

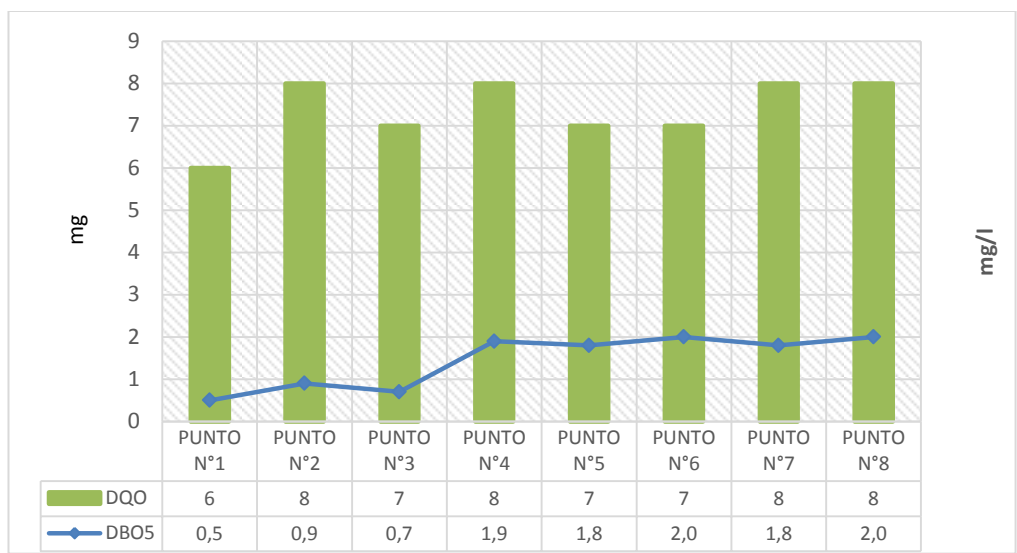


Figura 62. Resultados DBO₅ y DQO

Como se observan los resultados obtenidos de DBO₅ en cada punto cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A que establece un máximo de 2 mg/L. A excepción de los puntos seis y ocho en los que se observa un valor de dos, es decir que en estos puntos no se cumple con lo establecido por la norma, lo que podría deberse a que en estos puntos existe contaminación con materia orgánica degradable biológicamente debido a las rupturas de la manguera a lo largo de su conducción, o a su vez se puede deber a un error de medición del equipo OxiTop ya que su precisión es de ± 1 % del valor de medición.

En el caso del DQO el Acuerdo Ministerial 097-A establece un máximo de 4 mg/L lo que indica que con respecto a este parámetro no se cumple en ninguno de los puntos, ya que se muestran resultados entre 6 a 8 mg/L, lo cual indica que el agua posee materia degradable y biodegradable de forma química (Sierra Ramírez, 2011)

A analizar los parámetros en conjunto se observa que ambos parámetros son proporcionales, además se determina que se cumple con que la DQO sea más alta que la DBO₅ lo que se debe a que muchas sustancias orgánicas se logran oxidar de forma química mas no de manera biológica.

Coliformes Totales

Para el parámetro Coliformes Totales los resultados del análisis se observan en la Figura 63.

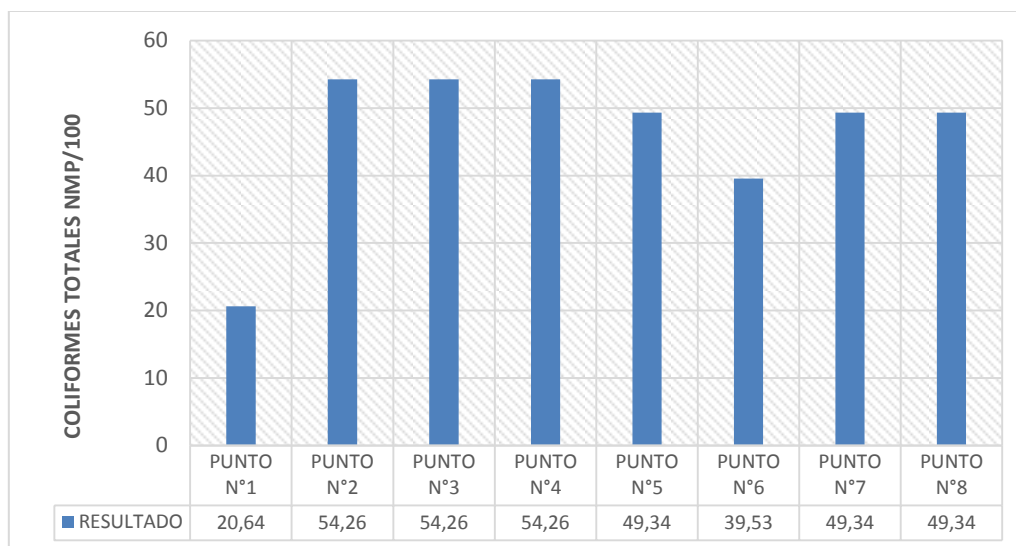


Figura 63. Resultados Coliformes Totales

Con respecto a este parámetro y al tratarse de agua de consumo lo esperado sería que no existiera la presencia de coliformes, sin embargo dadas las condiciones en las que se encuentra el sistema de abastecimiento; el TULSMA en su versión anterior establecía como máximo permisible 50 NMP/100 ml y tomando este valor como referencia se puede determinar que los puntos 2, 3 y 4 no cumplen con esto, ya que presentan los niveles más altos, debido a que éstos corresponden a los dos tanques existentes en el sistema y a la primera casa que se abastece de líquido vital, la presencia de Coliformes totales se debe a la falta de mantenimiento y limpieza de estas estructuras y a eso sumado la falta de cloración en el sistema, además que la manguera que conduce el agua se encuentra comprometida al no encontrarse enterrada en su totalidad.

A partir del punto 5 existe una disminución de la cantidad de coliformes totales presentes, manteniéndose constantes: en el punto mencionado el punto 7 y 8, esto debido a que estas casas se encuentran a una mayor distancia del tanque de cloración lo cual le da la posibilidad al agua de airearse y auto depurarse (Aguero, 2004). En el caso del punto número 6 se presenta una mayor disminución ya que las mangueras de este domicilio fueron cambiadas recientemente por lo cual existe menor contaminación.

Coliformes Fecales

El análisis del parámetro Coliformes Fecales entregó los resultados que se observan en la Figura 64.

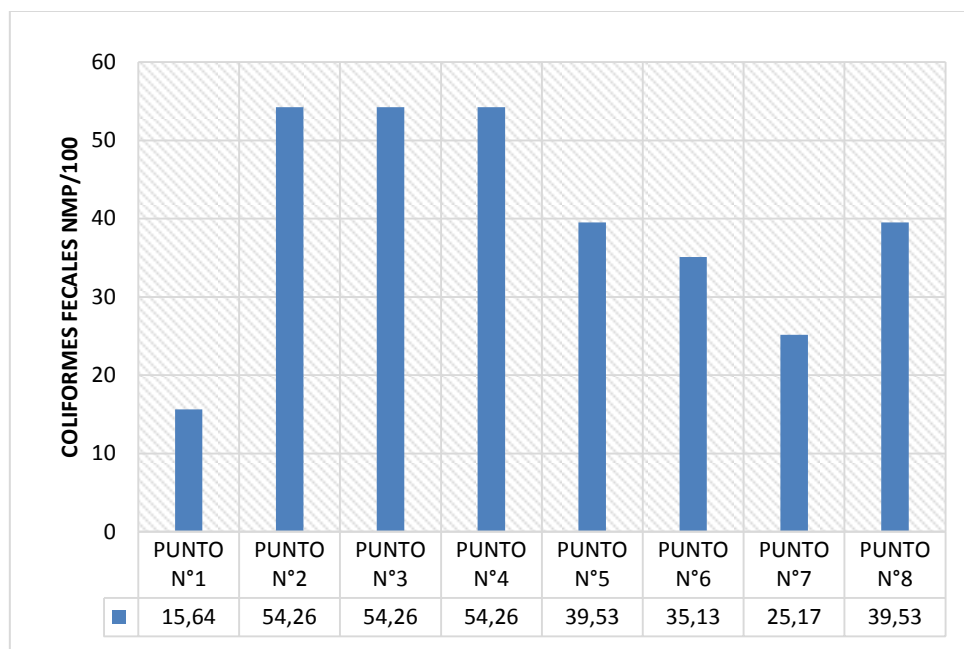


Figura 64. Resultados Coliformes Fecales

El Acuerdo Ministerial 097-A establece que su límite máximo permisible es de 1000 NMP/100, es así que se determinó para el caso de esta normativa se cumple el máximo permisible en cada uno de los ocho puntos.

La Norma INEN 1108 establece que el límite máximo permisible con respecto a este parámetro debe ser $< 1,1$, por lo cual se determina que este parámetro no se cumple en ninguno de los puntos de muestreo con respecto a esta normativa.

NOTA: $< 1,1$ significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm^3 ó 10 tubos de 10 cm^3 ninguno es positivo (INEN, 2011).

Al tratarse de agua de consumo lo esperado es que no se presenten coliformes fecales; sin embargo al no existir el cuidado adecuado de las estructuras por la falta de mantenimiento, limpieza y lo más importante la falta de cloración y ha esto sumado la presencia de animales cercanos a la zona, la calidad del agua se ha visto comprometida.

En el punto número uno se aprecia la menor cantidad de coliformes fecales ya que este se trata del punto de origen del agua, sin embargo debido a la presencia de animales, ésta se encuentra comprometida. En el caso de los puntos 2, 3 y 4 se tratan de los dos tanques con los que cuenta el sistema y la primera casa en abastecerse de líquido vital, en estos se aprecia un aumento en la presencia de coliformes fecales el cual permanece constante, esto se debe a la falta de mantenimiento y desinfección, lo cual crea focos de contaminación cruzada que repercuten directamente en la disminución de la calidad del agua por la presencia de contenido fecal. A partir del punto 5 hasta el 8 la cantidad de coliformes fecales disminuye, esto debido a que al encontrarse un tanto más alejados el agua tiene la oportunidad de auto depurarse (Aguero, 2004).

3.3 Evaluación de resultados obtenidos en el método yodométrico para la demanda de cloro

A continuación en la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación del método yodométrico y cada uno de los cálculos realizados con el fin de determinar la demanda de cloro adecuada a aplicar.

Tabla 15. Evaluación Cloro Libre Residual

Muestra	Volumen Tiosulfato de sodio gastado ml	Volumen cloro añadido ml	Cloro residual mg/L $\frac{mgCl_2}{L} = \frac{V Na_2S_2O_3 \times N Na_2S_2O_3 \times 35450}{V muestra}$	Hipoclorito de calcio añadido en mg /l $\frac{mgCl_2}{L} \text{añadir} = \frac{C Ca(ClO)_2 ppm \times V \text{cloro añadido}}{V muestra}$
1	0	0,2	0	0,10
2	0	0,4	0	0,21
3	0,2	0,5	0,35	0,26
4	0,4	0,6	0,71	0,31
5	0,5	0,7	0,89	0,37
6	1,1	0,9	1,95	0,47

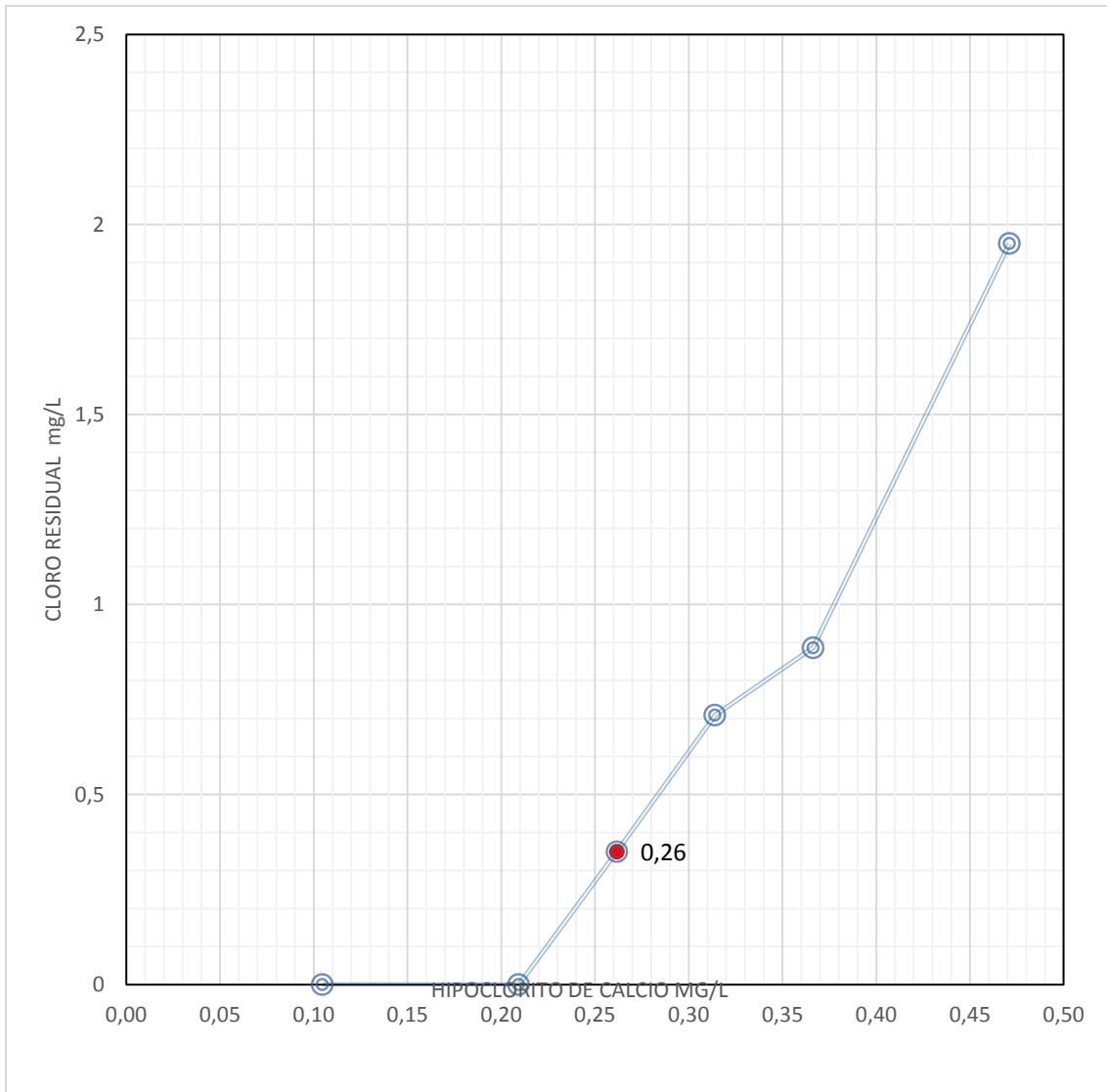


Figura 65. Cloro libre residual vs Hipoclorito de calcio necesario

En la figura 65 se muestra que la demanda de Hipoclorito de Calcio necesaria es de 0,26 ppm ya que con esta dosis se cumple con lo establecido en la norma INEN 1108 con respecto al cloro libre residual, ya que esta indica que debe ser de 0,3 a 1,5 ppm y el valor obtenido a partir de esta de cloro residual es de 0,35 ppm, por lo que se puede determinar que esta es la óptima de aplicación (Vera Cantos, 2017).

Consecuentemente se procedió al cálculo del tiempo de retención y se obtuvo como resultado un tiempo de 60 minutos como se muestra a continuación.

$$0.35 \frac{mg}{L} * t = 21 mg * min/L$$

$$t = 60 min$$

Posteriormente se realizó el cálculo de la cantidad de hipoclorito de calcio a dosificar en el tanque por día, usando el valor del caudal a tratar (0.2 L/s medido en campo), la demanda de cloro (0.26 mg/L) y la concentración del hipoclorito de calcio (65%):

$$Q = 0.2 \frac{L}{s} * \frac{60 s}{1 min} * \frac{60 min}{1 h} * \frac{24 h}{1 dia} * \frac{1 m3}{1000L}$$

$$Q = 17.28 \frac{m3}{dia}$$

$$D = 0.26 \frac{mg}{L} * \frac{1 g}{1000 mg} * \frac{1000 L}{1 m3}$$

$$D = 0.26 \frac{g}{m3}$$

$$W_{Ca(ClO)_2} = \frac{17.28 \frac{m3}{dia} * 0.26 \frac{g}{m3}}{65\%}$$

$$W_{Ca(ClO)_2} = 6.91 \frac{g}{dia}$$

Una vez obtenido la dosificación de hipoclorito de calcio en peso de 6.91 g/día, se analizó si el volumen del tanque existente en el sistema de distribución de agua, es suficiente para para la desinfección según el caudal que trata el sistema.

Para lo cual, inicialmente se procedió al cálculo del volumen real del tanque.

$$\text{Vol del tanque}(m3) = 2 \text{ metros} \times 4 \text{ metros} \times 3 \text{ metros}$$

$$\text{Vol del tanque}(m3) = 24 \text{ metros cúbicos} = 24000 \text{ litros}$$

Una vez obtenido el volumen del tanque real de 24 m3, se procedió al cálculo del volumen adecuado que debería tener el tanque para desinfectar, en base al caudal y su tiempo de retención necesario.

$$Q = 0.2 \frac{L}{s} * \frac{60 s}{1 min} * \frac{60 min}{1 h} * \frac{24 h}{1 dia} * \frac{1 m3}{1000L}$$

$$Q = 17.28 \frac{m3}{dia}$$

$$t = 60 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}}$$

$$t = 0.042 \text{ dia}$$

$$\text{Volumen adecuado} = 17.28 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 0.042 \text{ dia}$$

$$\text{Volumen adecuado} = 0.73 \text{ m}^3$$

Con el análisis del volumen del tanque que es de 24 m³ respecto al volumen adecuado para la dosificación de cloro que es de 0.73 m³ se determinó que la capacidad del tanque es más alta a lo requerido, lo cual no representa un gran problema al momento de la dosificación, sin embargo se recomienda que la cloración se realice en la primera cámara del tanque de desinfección que es de 1 m³ para así garantizar que la cloración sea adecuada.

3.4 Evaluación del resultado del Índice de Calidad del Agua en el Punto 1 “Vertiente el Girón”

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es empleado para la determinación del uso que se pueda dar al agua de una fuente de acuerdo a la caracterización de los parámetros mencionados en la metodología y la valoración de los mismos en una tabla que estima su nivel de contaminación. Al encontrarse ya empleada el agua de la vertiente “El Girón” para consumo humano, la evaluación de los resultados del ICA en la fuente sirve para garantizar las características de calidad necesarias del agua con la que se abastece el barrio Ascilla Bajo.

Para la determinación del Índice de Calidad del Agua en el Punto 1 (Vertiente el Girón), se procedió a determinación del subíndice de cada uno de los parámetros, los cuales se determinaron con el uso de cada una de sus respectivas funciones. Luego se procedió a operar la función del ICA-NSF, el cual valoriza la calidad del agua de acuerdo a la concentración de los parámetros analizados como se visualiza en la tabla 16.

Tabla 16. Evaluación ICA

Parámetro	Unidades	Resultado	Si	Wi	$ICA = \sum_{i=1}^9 S_i W_i$
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.67; OD sat 54%	48,65	0.17	0,27
DBO ₅	mg/L	0.5	92.61	0.11	10.1871
Turbidez	NTU	0.73	94.32	0.08	7.5456
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	0.09	81.31	0.07	5.6917
Nitratos	mg/L	12	52.39	0.10	5.239
Fosfatos	mg/L	0.74	51.58	0.10	5.158
Potencial Hidrógeno	pH	7.64	90.07	0.11	9.9077
Temperatura	°C	18.3°C – 18°C = 0.3°C	89.00	0.10	8.9
Coliformes Fecales	NMP/100	15.64	65.69	0.16	10.51
SUMATORIA				1.00	71,41

Por último como se presenta en la tabla 17, se procedió a la interpolación de la calidad del agua de acuerdo al índice obtenido, el cual señala que el agua del Punto 1 “Vertiente El Girón”, es agua de buena calidad.

Tabla 17. Escala de Valoración ICA

Fuente: (Sierra Ramírez, 2011)

Valor del Índice de Calidad	Clasificación	Escala de Color
91 – 100	Excelente calidad	Azul
71 – 90	Buena calidad	Verde
51 - 70	Mediana calidad	Amarillo
26 – 50	Mala calidad	Naranja
0 - 25	Muy mala calidad	Rojo

Esto indica que el agua se encuentra levemente contaminada, por lo cual su consumo sin tratamiento es dudoso. Sirve para recreación, consumo humano y actividades de piscicultura, ganadería, riego e industria (Sierra Ramírez, 2011)

3.5 Comparación de resultados con respecto a la normativa vigente

A continuación en las tablas 18 y 19 se presentan las comparaciones de los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de los diferentes parámetros analizados tanto con la Norma INEN 1108 del 2011 como con el ACUERDO MINISTERIAL 097-A del año 2015 y su reforma al TULSMA.

Tabla 18. Comparación de Resultados Obtenidos por punto de muestreo con INEN 1108

RESULTADOS OBTENIDOS								
Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permisible INEN 1108	PUNTO N°3	PUNTO N°4	PUNTO N°5	PUNTO N°6	PUNTO N°7	PUNTO N°8
Temperatura	°C	-	19,93	22,6	21,1	21,1	20,2	20,9
Conductividad	$\mu S/cm$	-	131,2	150,7	139,7	135,1	135,2	136,9
Salinidad	ppt	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Turbiedad	NTU	5	0,90	0,59	0,64	0,67	0,58	0,74
Potencial Hidrógeno	Unidades de pH	-	7,54	7,17	7,54	7,65	7,33	7,65
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	5,5	6,12	5,8	5,93	6,32	6,54
Cloro Residual	mg/L	0,3 - 1,5	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales	NMP/100	-	54,26	54,26	49,34	39,53	49,34	49,34
Coliformes Fecales	NMP/100	<1,1	54,26	54,26	39,53	35,13	25,17	39,53
Dureza	mg/L	-	61	59	71	70	70	70
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	-	0,7	1,9	1,8	2	1,8	2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	-	7	8	7	7	8	8

Continúa en la siguiente página

Continuación Tabla 18

Sólidos Totales	mg/L	-	0,12	0,12	0,10	0,09	0,10	0,11
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	-	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	0,07	0,09	0,07	0,06	0,07	0,07
Hierro Total	mg/L	-	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
Cloruros	mg/L	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Color Real	Unidades de Color (Pt-Co)	15	13	12	9	12	9	10
Cobre	mg/L	2	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03
Nitritos	mg/L	0,2	0,022	0,022	0,014	0,01	0,014	0,016
Nitratos	mg/L	50	11,5	12,5	12,1	11,3	11,9	11,5
Manganeso	mg/L	0,4	0,049	0,015	0,029	0,01	0,014	0,012
Fosfatos	mg/L	-	0,55	0,51	0,55	0,59	0,52	0,7

NOTA: Cuadros subrayados indican valores que pasan el límite máximo permisible.

(< 1,1) significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm³ ó 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo (INEN, 2011).

(-) significa que el límite máximo permisible no se encuentra especificado en la norma.

Tabla 19. Comparación de Resultados Obtenidos por punto de muestreo

RESULTADOS OBTENIDOS										
Parámetros	Unidad	ACUERDO 097-A TABLA 1	PUNTO N°1	PUNTO N°2	PUNTO N°3	PUNTO N°4	PUNTO N°5	PUNTO N°6	PUNTO N°7	PUNTO N°8
Temperatura	°C	-	18	18,7	19,93	22,6	21,1	21,1	20,2	20,9
Conductividad	$\mu S/cm$	-	95,6	128,7	131,2	150,7	139,7	135,1	135,2	136,9
Salinidad	ppt	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Turbiedad	NTU	100	0,73	1,04	0,90	0,59	0,64	0,67	0,58	0,74
Potencial Hidrógeno	Unidades de pH	6,0 - 9,0	7,64	7,9	7,54	7,17	7,54	7,65	7,33	7,65
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	6,67	6,6	5,5	6,12	5,8	5,93	6,32	6,54
Cloro Residual	mg/L	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales	NMP/100	-	20,64	54,26	54,26	54,26	49,34	39,53	49,34	49,34
Coliformes Fecales	NMP/100	1000	15,64	54,26	54,26	54,26	39,53	35,13	25,17	39,53
Dureza	mg/L	-	90	60	61	59	71	70	70	70
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	<2	0,5	0,9	0,7	1,9	1,8	2	1,8	2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	<4	6	8	7	8	7	7	8	8

Continúa en la siguiente página

Continuación Tabla 19

Sólidos Totales	mg/L	-	0,09	0,13	0,12	0,12	0,1	0,09	0,1	0,11
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	-	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	0,05	0,07	0,07	0,09	0,07	0,06	0,07	0,07
Hierro Total	mg/L	1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
Cloruros	mg/L	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Color Real	Unidades de Color (Pt-Co)	75	2	8	13	12	9	12	9	10
Cobre	mg/L	2	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03
Nitritos	mg/L	0,2	0,024	0,043	0,022	0,022	0,014	0,01	0,014	0,016
Nitratos	mg/L	50	12	11,8	11,5	12,5	12,1	11,3	11,9	11,5
Manganeso	mg/L	-	0,022	0,059	0,049	0,015	0,029	0,01	0,014	0,012
Fosfatos	mg/L	-	0,74	0,65	0,55	0,51	0,55	0,59	0,52	0,7

NOTA: Cuadros subrayados indican valores que pasan el límite máximo permisible.

(-) significa que el límite máximo permisible no se encuentra especificado en la norma.

Los resultados de los parámetros analizados en los 8 puntos de muestreo en comparación con los límites máximos permisibles (LMP) expuestos tanto en la normativa ecuatoriana ACUERDO MINISTERIAL 097-A del año 2015 Reforma al TULSMA como en la Norma INEN 1108 - 2011, indica que todos los parámetros se encuentran por debajo de los límites señalados a excepción del parámetro Coliformes Fecales que no cumple en ninguno de los puntos a excepción del primero con respecto a la norma INEN 1108 que al ser más restrictiva indica que debe ser $< 1,1$ lo que significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm^3 ó 10 tubos de 10 cm^3 ninguno debe ser positivo. Así también el parámetro DQO (Demanda Química de Oxígeno) supera en todos los puntos de muestreo con el límite máximo permisible establecido por la reforma al TULSMA el cual indica que debe ser menor a 4. Según el ACUERDO MINISTERIAL 097-A del año 2015 Reforma al TULSMA también indica el incumplimiento del límite máximo permisible para el parámetro DBO5 en los puntos 6 y 8 al no ser menor a 2 mg/L.

Una vez analizados los parámetros, se comprobó que el problema más incidente que se presenta en los puntos de muestreos es causado por la presencia de materia orgánica, provocada por la falta de mantenimiento y limpieza de las estructuras. Además de la realización de un proceso de desinfección adecuada, se recomienda implementar un proceso de aireación entre el tanque de captación y el tanque de desinfección.

3.6 Propuesta de mejora de Mantenimiento del Sistema y Proceso de Desinfección

Con el fin de brindar una solución que ayude a la mejora de la calidad del agua de la zona, se planteó una propuesta de mantenimiento del sistema y del proceso de desinfección, la cual se presenta en el Anexo I, en ésta se establecieron los procesos que los operarios encargados deben realizar para brindarle una correcta limpieza y a su vez mantenimiento a las estructuras que conforman el sistema de distribución. En ésta se plantea el uso de listas de chequeo de los materiales a usar además de periodicidad con el fin de que los operarios sepan cuando deben realizar los próximos mantenimientos. De igual forma se estableció la cantidad de cloro que deben

aplicar al tanque de desinfección con las respectivas indicaciones de aplicación y además de los cuidados que deben tener los operarios.

3.7 Socialización de Resultados

Se realizó una convocatoria a la comunidad el día sábado 28 de septiembre en que se contó con la presencia de 13 moradores del barrio, lo cual se evidencia en la hoja de registro adjunta en el Anexo 3. Como primer punto se realizó dinámicas con el fin de que los asistentes se sientan en confianza con nuestra presencia y se dé una mejor convivencia entre todos los presentes, posterior a eso se les brindó una explicación de los conceptos básicos con el fin de que las personas comprendan de mejor manera las explicaciones, se expuso la situación actual en la cual se encuentra el sistema y las actividades que se realizó en la zona como: la determinación de los puntos de muestreo, los análisis realizados y los más importante, los resultados obtenidos de cada parámetro analizado. En el caso de los parámetros que no cumplían con la normativa, se les explicó a qué se debía esto y las posibles soluciones. De igual forma se le presentó tanto la propuesta mantenimiento de las estructuras del sistema como del proceso adecuado de dosificación de cloro. Todo esto se realizó mediante el uso de presentaciones gráficas por medio de diapositivas, en las cuales se presentaron tanto imágenes captadas de la zona, como de los análisis realizados en laboratorio, acompañadas de una explicación escrita en cada una de ellas.

Se dio lectura a un documento que se les entregó el cual se presenta en el Anexo II, éste fue un pedido del encargado de la Junta de agua el cual contiene fragmentos de artículos de la Constitución y de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, los cuales hacen referencia a la optimización del uso del agua en las comunidades.

Una vez concluida la explicación se procedió a atender las dudas de cada uno de los presentes y se les brindó una explicación adecuada, a su vez se les realizó una serie de preguntas al azar para verificar su nivel de comprensión de lo explicado, en la cual la mayoría de los consultados brindaron respuestas correctas.

Tanto los dirigentes como los moradores del barrio se presentaron muy conformes con las medidas planteadas y se comprometieron a ponerlas en práctica. Finalmente se les recordó ciertas recomendaciones, entre ellas las más importantes como: la adquisición de una balanza para la aplicación del cloro y la realización tanto de la desinfección como el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de abastecimiento.

En la figura 66 se aprecia extractos de la socialización.



Figura 66. Exposición de Resultados ante la Comunidad

FUENTE: (Cevallos & Molina, 2019)

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenidos por la medición de parámetros *in situ*, se determina que sus valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en las normativas ambientales vigentes comparadas (Acuerdo Ministerial 097-A e INEN 1108). Mientras que los parámetros que fueron analizados en laboratorio, se confirma el incumplimiento de los límites máximos permisibles para los parámetros: Coliformes Fecales en todos los puntos de muestreo de acuerdo a la Norma INEN 1108, Demanda Química de Oxígeno (DQO) en todos los puntos y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) en los puntos 6 y 8 de acuerdo a lo establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A.
- El Índice de Calidad Ambiental (ICA-NSF) determinó que la Vertiente El Girón posee agua de buena calidad encontrándose en el rango entre 70 - 91, garantizando su uso regular en el barrio de Ascilla Bajo, siempre y cuando se haya realizado un tratamiento de desinfección previo.
- Durante el recorrido que realiza la manguera, desde el tanque de captación hasta el tanque de desinfección, la actividad ganadera ha comprometido seriamente la integridad de la manguera, ablandando la tierra que se encuentra sobre ella y provocando que exista zonas donde se expone a la superficie, lo cual la hace susceptible a tener fallas y comprometa la calidad del agua que circula por la misma. Esto se ve reflejado con el incumplimiento de los parámetros mencionados anteriormente. Motivo por el cual la implementación del manual de mantenimiento de estructuras y mejora del proceso de desinfección presentado es de vital importancia para la solución a las problemáticas encontradas en el desarrollo del presente trabajo.
- Se recomienda que la cloración se realice en la primera cámara del tanque de desinfección que es de 1 m³ para así garantizar que la cloración sea adecuada.
- Mediante la socialización realizada, se logró el entendimiento de las problemáticas que se presentan en todo el barrio, lo cual fue importante debido a que existían miembros que desconocían por completo el funcionamiento del sistema y la situación en la que se encuentra el mismo. Se presentaron los resultados de los análisis realizados acompañados de la comparación con las

normativas ambientales vigentes y la explicación del incumplimiento de ciertos parámetros. Se despejaron las dudas que tenían sobre la implementación del manual de mantenimiento y propuesta de mejora de desinfección del agua, lo cual garantiza su correcta aplicación. Se abrió paso a que en un futuro se fortalezca un mejor vínculo comunitario entre todos los habitantes del barrio, puesto que de acuerdo a lo explicado por el operador de la Junta, la socialización ha sido el único evento en el que todos los miembros de la comunidad se hicieron presentes por primera vez, además que aprovecharon esta oportunidad para ponerse al día en sus pagos mensuales a la junta por el servicio del agua en sus domicilios.

4.2 Recomendaciones

- Establecer visitas periódicas a las estructuras y demás elementos del sistema de distribución de agua, para la comprobación de su integridad y verificación de la correcta calidad del servicio.
- Formar en la Junta de Agua Potable un grupo de trabajo que sea el encargado de realizar las actividades que se especifican en la Propuesta del Manual de Mantenimiento de las Estructuras y Mejora del Proceso de Desinfección.
- Fomentar la colaboración de todos los usuarios a través de capacitaciones generales a todos los miembros de la Junta, para el conocimiento de la administración, operación y mantenimiento que se lleva a cabo en el sistema de distribución de agua.
- No descuidar el proceso de cloración que se realiza en el tanque de desinfección debido a la presencia de Coliformes en el agua que llega a sus domicilios.
- Exigir el cumplimiento de las obligaciones como usuarios de los miembros de la comunidad, caso contrario ejecutar las sanciones estipuladas previamente en las sesiones que realice la Junta.
- La adquisición de ciertos instrumentos y herramientas que puedan ayudar en el desenvolvimiento de las actividades de mantenimiento de estructuras y procesos de desinfección, en especial la compra de una balanza para el cálculo del peso del desinfectante empleado en el agua (hipoclorito de Calcio – cloro granulado).

- Determinar áreas de seguridad hídrica y de paso a las estructuras sujetas de acuerdo a los criterios técnicos que aseguren un área prudencial y la colocación de alambrado en las zonas colindantes.
- Determinar una tarifa de aporte para el mantenimiento del sistema de conducción y proceso de desinfección del agua obligatoria para todos los usuarios de la Junta.
- Establecer que el uso de agua para la hidratación del ganado debe realizarse de manera racional, evitando que el agua se gaste manteniendo cerradas las llaves de agua, por lo que se recomienda el uso de válvulas de cierre de paso una vez que el proceso de hidratación de los animales se haya realizado.
- En caso de que existan inconvenientes en la comunidad por el acceso del agua y gestión de la misma, dirigirse a la autoridad ambiental pertinente del lugar (Fondo de Protección del Agua FONAG, Secretaría del Ambiente del Municipio de Quito, Dirección Ambiental del GAD Parroquial de San José de Minas, Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito EPMAPS, Ministerio del Ambiente) para la solución de sus requerimientos.

5 BIBLIOGRAFÍA

Aguero, R. (2004). *Operación y mantenimiento de captaciones y reservorios.*

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AG%C3%9CERO%202004.%20Operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20captaciones%20y%20reservorios.pdf

Aguirre Morales, F. (2015). *ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA COMUNIDADES RURALES* [Universidad Técnica de Machala].

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6873>

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Pollution Control Federation (Eds.). (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (21. ed., centennial ed). American Public Health Assoc.
- Arteaga, M. C., & AGUATUYA. (2012). *OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.pdf*.
<https://www.aguatuya.org/docs/hrbB9uGPF8g1MKQmwoqHW1e2T7MZaZDj.pdf>
- Barreto, P. (2009).*PROCEDIMIENTO_DE_MUESTREO_DE_AGUA_SUPERFICIAL.pdf*
[UNIVERSIDAD NACIONAL “SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”].
biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/PROCEDIMIENTO_DE_MUESTREO_DE_AGUA_SUPERFICIAL.pdf
- Bolaños, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15–27.
- Campos Gómez, I. C. (2000). *Saneamiento ambiental*. EUNED.
- CEPAL. (2012). *Diagnostico de las Estadísticas del Agua Producto IIIc 2012-2 (1).pdf*.
<https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>
- Cevallos, I., & Molina, Y. (2019). *Ascillas Bajo Ilustraciones*.

- Chacón Chaquea, M. (2016). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA.
<https://elibro.net/ereader/elibrodemo/68990>
- Charron, D. F. (Ed.). (2012). *Ecohealth research in practice: Innovative applications of an ecosystem approach to health*. International Development Research Centre ; Springer.
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147–170.
- Cortés Nodarse, I. (2015). *Contaminación de Aguas*. <https://slideplayer.es/slide/5184583/>
- ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A. (2012). *ESTUDIO DE LA CALIDAD DE FUENTES UTILIZADAS PARA CONSUMO HUMANO Y PLAN DE MITIGACIÓN POR CONTAMINACIÓN POR USO DOMÉSTICO Y AGROQUÍMICOS EN AURIMAC Y CUSCO*.
<http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- EMMAP. (2008). *EPMAPS - Normas Agua Potable1*.
- EPMAPS. (2018, mayo 7). *Quito lidera el cumplimiento de los ODS en cobertura y calidad del agua potable* [Text]. iAgua.
<https://www.iagua.es/noticias/epmaps-agua-quito/quito-lidera-cumplimiento-ods-cobertura-y-calidad-agua-potable>
- Espinoza Valencia, C. E. (2011). *QUÍMICA DEL HIERRO Y MANGANESO EN EL AGUA, MÉTODOS DE REMOCIÓN*.pdf
[Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/754/1/ti881.pdf>
- FACSA. (2017, enero 23). La dureza del agua. *Facsa*. <https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/>

Galárraga Sánchez, R. (2000). Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador. *Comité Asesor Técnico de América del Sur (SAMTAC), Global Water Partnership (GWP), 15.*

González, A., Martín, A., & Figueroa, R. (2006). Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 17.*

GTZ. PROAPAC. (2008). *Compendio informativo sobre enfermedades hídricas.*
<http://www.aguasimple.org.mx/revistav3/images/stories/pdf/ENFERMEDADES%20HIDRICAS,%20REFERENCIA%20CON%20PERMISO.pdf>

HACH MANUAL. (2000). Segunda edición en español. *HACH COMPANY, Loveland, Colorado, EEUU, 140–147.*

HANNA instruments. (2017). *Conductividad y sólidos disueltos.* <https://www.hannainst.es/blog/79/conductividad-y-solidos-disueltos>

HANNA Instruments. (2017). *La Temperatura afecta el pH del Agua.*
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0SBJTOLuAdQJ:https://www.hannacolombia.com/blog/post/39/la-temperatura-afecta-el-ph-del-agua+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

IGME. (1985). *CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS.* Instituto Geológico y Minero de España.
http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/3_1.pdf

INEN. (2011). *NTE INEN 1108:2011 REQUISITOS AGUA POTABLE.*
<https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HASH01a4.dir/doc.pdf>

- INEN. (2012). *NTE-INEN-1105-AGUAS.-MUESTREO-PARA-EXAMEN-MICROBIOLÓGICO.pdf*. <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1105-AGUAS.-MUESTREO-PARA-EXAMEN-MICROBIOL%3%93GICO.pdf>
- INEN. (2013). *NTE-INEN-2169: 2013-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS*. <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%3%93N-DE-MUESTRAS.pdf>
- Lampoglia, T., Agüero, R., & Barrios, C. (2008). Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. *Asociación Servicios Educativos Rurales*.
http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d21/019_SER_OrientacionesA&Szonasrurales/Orientaciones%20sobre%20A&S%20para%20zonas%20rurales.pdf
- Loaiza, D., Bonilla Hector, Navarrete, Daysi, & Morán, Adriana. (2008). *PROTOCOLO_MANTENIMIENTO_TANQUES__DE_ALMACENAMIENTO.pdf*.
file:///C:/Users/PC/Downloads/PROTOCOLO_MANTENIMIENTO_TANQUES__DE_ALMACENAMIENTO.pdf
- Lopez, O. C. (1990). *Desinfeccion del agua*. Organizacion Panamericana de la Salud.
<https://books.google.com.ec/books?id=JwowitzAACAAJ>
- Lozano Rivas, W. A. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua.: Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Universidad Piloto de Colombia.

- MINIAM. (2008). *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua*. http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf
- OMS. (2012). *OMS | Progresos sobre el agua potable y saneamiento* [ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD]. https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es/
- ONU. (2010). *Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015. Áreas temáticas: Derecho humano al agua y al saneamiento*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Quimitube. (2015). *Dureza del agua: Definición, eliminación y laboratorio*. <http://www.quimitube.com/dureza-del-agua>
- Ramos Olmos, R. (2003). *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis* (1a ed). Universidad Autónoma de Baja California ; Plaza y Valdés.
- Rebollo Ferreiro, L. F., & Loeches Garrido, M. (2008). *Agua y saneamiento ambiental en proyectos de emergencia y de cooperación al desarrollo*. Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones.
- Rodriguez Ruiz, P. (2001). *Abastecimiento de Agua*. <https://www.calameo.com/read/00342866146071d7b23dd>
- Romero, J. (2009). *Calidad del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería*.
- Ruiz, S. (2019). *Informacion Primaria Barrio Ascilla Bajo* [Comunicación personal].
- Sancha, A. M. (2002). *Presencia de Cobre en Aguas de Consumo Humano: Causas, Efectos y Soluciones sancha*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/sancha.pdf>

- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. *Cartagena (Colombia)*.
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1a ed). Ediciones de la U.
- Solsona, F., & Mendez, J. P. (2002). *Desinfección del agua*. Cepis. <https://books.google.com.ec/books?id=m6QTjwEACAAJ>
- Sorgato, V. (2015). *ECUADOR CONSUME MÁS AGUA EN LA REGIÓN*. Planeta - Ideas - EL COMERCIO. <http://192.168.3.64/elcomercio/cmsEspeciales/>
- Torres Hinojosa, C. V. (2018). *Planteamiento de una metodología para el cálculo de un índice de calidad del agua para el río Machángara, cuenca alta del Guayllabamba.pdf* [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19498/1/CD-8898.pdf>
- TULSMA. (2002). *TULSMA Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Ecuador*.
- Tumipamba, C. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Jose de Minas.pdf*.
- Vera Cantos, R. M. (2017). *Estudio de los procesos de clarificación y desinfección del sistema de tratamiento de agua de la refinería esmeraldas* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12657/1/T-UCE-0017-0053-2017.pdf>

6. ANEXOS