

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS
PROYECTO INTEGRADOR

**PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA MEJORAR LA
CALIDAD DE AGUA DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE
AGUA Y SANEAMIENTO REGIONAL SAN JOSÉ DE
CUTUGLAGUA**

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

DIANA PATRICIA BETANCOURTH SALAZAR

diana.betancourth@hotmail.es

KAREN DANIELA SÁNCHEZ JARAMILLO

daniela_14tab@hotmail.com

DIRECTOR: ING. SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. LUÍS ÁNGEL JARAMILLO SÁNCHEZ

luis.jaramillo@epn.edu.ec

Octubre, 2019

DECLARACIÓN

Nosotras, Diana Patricia Betancourth Salazar y Karen Daniela Sánchez Jaramillo, 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".

DIANA PATRICIA BETANCOURTH SALAZAR

KAREN DANIELA SÁNCHEZ JARAMILLO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Diana Betancourth y Karen Sánchez, bajo nuestra supervisión.

Ing. Santiago Guerra, M.Sc.

DIRECTOR

Ing. Luís Jaramillo, M.Sc.

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por todo su esfuerzo que me ayudó a llegar hasta este momento, sobre todo a mi madre Olga Salazar quien, con su paciencia, infinito amor y apoyo estuvo a mi lado pendiente de todo lo que se refería a mis estudios.

A mi novio y pareja de vida Israel Bastidas, por ser la persona que compartió conmigo cada momento de mis estudios malos y buenos, por ser mi soporte, mi motivador y sobre todo el balance de mi vida, sin miedo a equivocarme puedo decir que sin ti no estaría donde me encuentro ahora.

A mi director de tesis Santiago Guerra por su paciencia y consejo, por apoyarnos incluso antes de empezar este trabajo.

A mi hermana Gabriela, quien me enseñó la importancia de la paciencia y el esfuerzo en un mundo dominado por hombres, además de darme fuerzas cuando más lo necesite. A mis hermanos Alejo y Jordy, por su preocupación y sus risas. A mi cuñada Gabriela por ser parte de este momento y de mi familia.

A mi compañera de tesis Karen Sánchez por su esfuerzo y confianza para la realización de este trabajo y por acompañarme desde el inicio de este viaje.

DIANA BETANCOURTH

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Delfín Betancourt, ya que sin él no se hubiera logrado. A mis padres y a toda mi familia por sus consejos, deseos y confianza.

A Israel Bastidas, por todo lo que haces y has hecho por mí, por tu infinito amor y cariño.

DIANA BETANCOURTH

AGRADECIMIENTO

Son varias personas quienes han contribuido a lo largo de este proyecto. Primero, doy gracias al Sr. Delfín Betancourt quien nos dio apertura a trabajar en la Junta y fue la persona que siempre ha estado para apoyarnos en cualquier duda o problema que se nos presentó a lo largo del proyecto.

Segundo, mis más sinceros agradecimientos a nuestro director por su tiempo, paciencia, esfuerzo y apoyo constante durante todo el trabajo, y a nuestro codirector por su orientación, atención y valiosas sugerencias en momentos de dudas.

Pero un proyecto se logra gracias al apoyo vital de las personas que nos estiman, sin ellos no tendría las suficientes fuerzas para seguir adelante; es por eso que agradezco con todo corazón a mis padres, hermanos y familia entera por ser un apoyo incondicional en momentos buenos y difíciles, por ayudarme a no decaer y levantarme día a día para ser profesional.

A mis amigos que han estado desde el inicio de la carrera, quienes han sido de gran ayuda para llegar hasta el final de esta aventura universitaria, sobre todo a Dianita quien no solo jugo el papel de compañera tesista, sino más bien se convirtió en una amiga y a Darío quien en esta etapa me ha brindado toda la energía de superación para finalizar el proyecto.

KAREN SÁNCHEZ

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado a mis pilares fundamentales de vida, es decir a mis padres Gustavo y Magdalena, ya que gracias a su amor, apoyo, paciencia y sacrificio en todos estos años he logrado cumplir una de mis metas. A mi hermana Dome, quien estuvo junto a mí para ayudarme en lo que he necesitado y a mi hermano Kent, por sacarme millones de sonrisas. Y también es dedicado para el Sr. Delfín Betancourt, gracias por la confianza durante todo el tiempo de trabajo

KAREN SÁNCHEZ

Índice de contenido

1.	Introducción	1
1.1.	Objetivos	1
1.1.1.	General	1
1.1.2.	Específicos	1
1.2.	Planteamiento del problema	1
1.3.	Justificación.....	2
1.4.	Marco teórico	3
1.4.1.	Agua cruda	3
1.4.2.	Agua potable	3
1.4.3.	Calidad del agua.....	3
1.4.4.	Muestreo.....	14
1.4.5.	Abastecimiento de agua	14
2.	Metodología	18
2.1.	Levantamiento de la línea base	18
2.1.1.	Descripción del lugar de muestreo	22
2.1.2.	Equipo de protección personal	24
2.1.3.	Selección del tipo de muestra y volumen de agua.....	25
2.1.4.	Elección de parámetros	25
2.1.5.	Elección de recipientes.....	26
2.1.6.	Elección de equipos <i>In situ</i> y de laboratorio	27
2.1.7.	Transporte y codificación de muestras	28
2.2.	Caracterización del agua	28
2.2.1.	Descripción de parámetros medidos <i>In situ</i>	28
2.2.2.	Descripción de parámetros medidos en laboratorio	30
2.3.	Evaluación de alternativas de tratamiento	36
2.3.1.	Evaluación técnica – económica	36
2.4.	Presentación de alternativas	40
2.4.1.	Exposición de alternativa seleccionada	41
3.	Resultados y discusión	44
3.1.	Calidad del agua.....	44
3.2.	Evaluación de alternativas.....	61
3.2.1.	Técnica	61
3.2.2.	Económica.....	62
3.3.	Selección de la mejor alternativa.....	63

3.4. Informe de costos	67
4. Conclusiones y recomendaciones.....	69
4.1. Conclusiones	69
4.2. Recomendaciones.....	70
Bibliografía	71
ANEXOS.....	67

Índice de tablas

Tabla 1. Problemática de acuerdo con pHs bajos y altos (López E. P., 2016)	5
Tabla 2. Volumen de la muestra en función de la DBO5 (González H., Martín D., & Figueroa, 2000)	9
Tabla 3. Tipo de tubo de reactivo según el rango de concentración de la muestra (Ramos Olmos, Sepúlveda Marqués, & Villalobos Moreto, 2003).	10
Tabla 4. Consideraciones de la dureza (Soto, 2010)	10
Tabla 5. Tipos de captación de afloramientos de agua (Aguero, 2004)	15
Tabla 6. Métodos de desinfección (Sabrina, Dierolf, & Mora, 2007).....	16
Tabla 7. Formas comerciales del cloro (Chaucachicaiza & Orozco Cantos, 2012)	16
Tabla 8. Sistemas de dosificación (Chaucachicaiza & Orozco Cantos, 2012).....	17
Tabla 9. Parámetros de cumplimiento para una óptima desinfección (Chaucachicaiza & Orozco Cantos, 2012)	18
Tabla 10. Descripción del lugar de muestreo	22
Tabla 11. Equipos de protección personal.....	24
Tabla 12. Equipos para análisis <i>in situ</i> y laboratorio	27
Tabla 13. Modelo de etiqueta.....	28
Tabla 14. Criterios para escoger el diseño de las alternativas de tratamiento	37
Tabla 15. Descripción y detalle de los criterios	37
Tabla 16. Criterios para el tipo de producto en la desinfección	38
Tabla 17. Comparación de alternativas para escoger el tipo de producto en la desinfección	38
Tabla 18. Criterios para la dosificación de cloro en la desinfección.....	39
Tabla 19. Comparación entre alternativas para la dosificación de cloro.....	39
Tabla 20. Cronograma de facilitación	41
Tabla 21. Datos y resultados de la medición del caudal	44
Tabla 22. Resultados de la caracterización-Ojo de agua.....	45
Tabla 23. Resultados de la caracterización- Punto de conexión	47
Tabla 24. Resultados de la caracterización-Tanques de almacenamiento.....	49
Tabla 25. Resultados de la caracterización-casa más cercana.....	51
Tabla 26. Resultados de la caracterización-Casa más lejana	53
Tabla 27. Resultados de la caracterización-Toma de emergencia.....	55
Tabla 28. Resultados del pH en los puntos de muestreo	61
Tabla 29. Alternativas de propuestas de tratamiento	61
Tabla 30. Comparación de alternativas del tipo de producto en la desinfección	62
Tabla 31. Alternativas propuestas para la dosificación.....	62
Tabla 32. Comparación de costos de las alternativas de tratamiento	63
Tabla 33. Comparación de costos de las alternativas de desinfección	63
Tabla 34. Dimensiones y diseño hidráulico de la captación	64
Tabla 35. Componentes del sistema de dosificación.....	65
Tabla 36. Resultados del diseño de una estación general de cloración	66
Tabla 37. Informe de costos	68
Tabla 38. Conservación de muestras.....	78
Tabla 39. Dosis óptima de acuerdo a la fuente.....	85
Tabla 40. Tamaños comerciales de cloradores (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015)	86
Tabla 41. Valores de K.....	88

Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de los sólidos totales materia en el agua (Cisneros, 2001).....	7
Figura 2. Método volumétrico para medición de caudal (Valencia, 2014)	13
Figura 3. Sistema de abastecimiento de agua (Catadeña, 2008)	14
Figura 4. Malla de retención de sólidos en el punto de conexión	19
Figura 5. Vertiente en épocas de lluvia	20
Figura 6. Vertiente en épocas de lluvia	20
Figura 7. Estación de los tanques de almacenamiento	21
Figura 8. Estación de los tanques de almacenamiento	21
Figura 9. Recipientes plásticos para análisis físico-químico.....	26
Figura 10. Recipientes Winkler para análisis de OD	27
Figura 11. Medición <i>In situ</i> del oxígeno disuelto.....	30
Figura 12. Análisis en el laboratorio	31
Figura 13. Análisis de coliformes fecales	32
Figura 14. Medición del blanco.....	33
Figura 15. Digestor de DQO	34
Figura 16. Equipo para DBO ₅	34
Figura 17. Análisis de sólidos	35
Figura 18. Determinación de cloruros.....	35
Figura 19. Determinación de fluoruro.....	36
Figura 20. Variación de la turbiedad vs sólidos suspendidos desde el punto 1 al 5.....	57
Figura 21. Sedimentos en tanque de almacenamiento	58
Figura 22. Variación de la DBO ₅ vs OD del punto 1 al 5	58
Figura 23. Variación de la DQO vs DBO ₅	60
Figura 24. Variación de la conductividad vs sólidos disueltos.....	60
Figura 25. Ejemplo del uso de la cadena en los cilindros	67
Figura 26. Localización de puntos de muestreo en Google Earth.....	76
Figura 27. Uso del GPS para la toma de coordenadas	77
Figura 28. Cotización del hipoclorito de sodio	90
Figura 29. Hoja de registro para los moradores	91
Figura 30. Primera facilitación con los de la junta	92
Figura 31. Sociabilización del proyecto culminado	92
Figura 32. Moradores presentes en la sociabilización.....	93

1. Introducción

El presente proyecto tiene como fin proponer una alternativa de mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano en la junta administradora de agua y saneamiento regional San José de Cutuglagua, la cual se encarga de la captación y distribución del agua para los barrios San José I, II y III. La junta trabaja desde el año 2002 y es la única administración que se encarga de proveer agua a esta zona, sin embargo, la falta de cuidado de la calidad produce problemas tanto a la población como a los sistemas de distribución.

Por esta situación, se plantea un análisis técnico-económico, el cual dé como resultado un sistema que mejore la calidad del agua de consumo.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Proponer un sistema de tratamiento para mejorar la calidad de agua a suministrar al barrio San José de Cutuglagua.

1.1.2. Específicos

- Caracterizar la calidad del agua a través de muestreos y análisis *In situ* y laboratorio, y su comparación con la normativa vigente para establecer su tratamiento.
- Sugerir alternativas de mejora de la calidad de agua de consumo humano mediante evaluación técnica-económica.
- Socializar el proyecto con los pobladores del barrio San José de Cutuglagua, a través de talleres participativos que permitan su correcta operación y mantenimiento durante su período de funcionamiento.

1.2. Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud, reporta que unas 842 000 personas fallecen cada año por enfermedades relacionadas con el agua debido a su insalubridad, de un saneamiento insuficiente o de una mala higiene de las manos. También 240 millones de personas se ven afectadas por esquistosomiasis, una enfermedad grave y crónica provocada por lombrices parasitarias contraídas por exposición de agua contaminada (ONU, 2018).

Cutuglagua es una parroquia rural del Cantón Mejía, ubicada al suroriente de la Provincia de Pichincha, en las faldas del volcán Atacazo, cuenta con 16.746 habitantes según el censo del año 2010, lo que representa el 21% de la población del cantón Mejía (INEC, 2010).

La parroquia se maneja mediante juntas de agua las cuales se encargan únicamente de la captación y transporte del recurso, omitiendo el tratamiento. La Junta Administradora de Agua y Saneamiento Regional San José de Cutuglagua cuenta con el barrio “San José” distribuido en 3

etapas, con una población actual de 600 habitantes y un consumo neto máximo de 60 litros diarios por persona (Betancourt, 2018).

Al encontrarse en las faldas del volcán antes mencionado, es posible presenciar un ojo de agua de donde se capta el líquido. Este puede ser originario de lluvia infiltrada a través del subsuelo. Durante la infiltración, el agua puede cargar diversas partículas orgánicas e inorgánicas, microorganismos, pesticidas, fertilizantes, entre otros (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño , & Oteo, 2006).

El recorrido del agua por el subsuelo ayuda a la eliminación de contaminantes biológicos, ya que las rocas actúan como un filtro natural; sin embargo, al mismo tiempo se incorpora al agua contaminantes de naturaleza mineral debido a las mismas rocas que se encuentran naturalmente en el volcán. Los elementos presentes en aguas subterráneas son: nitratos, nitritos, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, bicarbonato, potasio, cloruros, flúor, zinc, yodo y hierro; causan problemas de dureza y salinidad. La ingesta especialmente en niños y ancianos puede convertirse en un grave problema de salud (González H., Martín D., & Figueroa , 2000).

“Johanna Flores, directora del centro de salud de Cutuglagua, declara que la inexistencia de agua potable provoca alta incidencia de enfermedades parasitarias y gastrointestinales, especialmente en niños. Además, recalcó que existe un sobre registro de las personas de edad adulta con afecciones pero que no acuden al centro de salud, y que en los últimos días atendieron a 173 niños con cuadros de lombrices, parásitos, diarrea y gastroenteritis” (LaHora, 2018).

1.3. Justificación

El agua y saneamiento son uno de los principales motores de la salud pública, en cuanto a garantizar el acceso al recurso hídrico como también a instalaciones adecuadas, sin diferenciar el estilo y condiciones de vida de los seres humanos, con ello se logrará vivir sin ningún padecimiento o enfermedad (Jong-wook, 2004).

La desinfección del agua evita que esta sea un vehículo de transmisión de enfermedades causadas por organismos patógenos o microbios nocivos, por lo que hay varias opciones de tecnologías de desinfección como: la cloración, ozonificación, yodación, radiación solar y ultravioleta (González H., Martín D., & Figueroa , 2000).

La cloración es la técnica más utilizada debido a que es accesible, su equipo de dosificación es sencillo, seguro, de bajo costo y fácil de operar, además garantiza que el agua se mantenga libre de gérmenes en todo el trayecto de las tuberías antes de llegar a los domicilios. La desinfección con cloro no es conveniente cuando las aguas tienen presencia de materia orgánica porque se forman elementos secundarios como los trihalometanos que son agentes cancerígenos; por lo que previamente debe ser eliminada dicha materia orgánica (Pérez Bornstein, 2014).

En Ecuador por norma de calidad de agua el proceso de desinfección se debe hacer con cloro ya que en la norma exige que exista cloro residual en la red de distribución de agua potable (INEN, 2011).

1.4. Marco teórico

1.4.1. Agua cruda

El agua cruda es aquella que se encuentra en la naturaleza, que no ha sido sometida a ningún tipo de tratamiento para modificar sus características químicas, físicas y bacteriológicas, sin embargo, se encuentra lista para un proceso de tratamiento o potabilización (INEN, 2011).

1.4.2. Agua potable

Es agua que cumple todos los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos de una norma, con el objetivo de garantizar su aptitud para consumo humano y uso doméstico (INEN, 2011). Se utiliza para preparación de alimentos, bebida, higiene personal, limpieza de materiales, lavado de ropa, entre otros usos (TULSMA, 2015).

1.4.3. Calidad del agua

Se consideran las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua, las cuales deben ser aptas para satisfacer la salud, bienestar público y equilibrio ecológico (TULSMA, 2015).

1.4.3.1. Evaluación de la calidad el agua

Es una condición que valora la presencia o ausencia de contaminación mediante procesos analíticos, muestreos y monitoreos del agua. Se debe considerar la fuente de captación, la geología, la topografía, actividades antropogénicas cerca de la fuente, monitoreos anteriores, inspecciones y conocimientos tanto locales como de la comunidad; mientras más datos se recopilen, más útiles serán los resultados del proceso (OMS, 2018).

1.4.3.2. Monitoreo y muestreo de la calidad del agua

El monitoreo es una herramienta previa al muestreo, la que permite la detección continua o periódica de la calidad de contaminantes físicos, químicos o biológicos que se puedan encontrar en la línea del cuerpo de agua. Este programa es necesario para la identificación de los puntos de muestreo (Barreto Sáenz, Espiniza López , Leyva Collas , & Antúnez Mayolo, 2010).

Por otra parte, el muestreo es una técnica empleada para la selección de muestras, las cuales deben ser tanto homogéneas como representativas; además, el muestreo comprende: observaciones, mediciones de campo, almacenamiento de las muestras, etiquetado y transporte (Moreno Tovar , Toro Botero, & Carvajal, 2008).

1.4.3.3. Indicadores de calidad de agua

Los indicadores de la calidad de agua son parámetros que proporcionan información o describen el estado (condiciones o impactos ambientales) en el que se encuentra un cuerpo hídrico, y que posteriormente sirvan de referencia para compararlos con normativas a nivel internacional (Ramos, 2016).

Estos parámetros deben ser seleccionados en dependencia de los usos que se le ha brindado y se brindará al agua, como: consumo doméstico, industrial, recreacional, agrícola, pecuarios, etc. Estos indicadores se clasifican en:

Conductividad

La conductividad es la medida de la capacidad que tiene una solución para conducir corriente eléctrica, esto dependerá de la presencia, movilidad, estado de oxidación, concentración de iones y de la temperatura del agua. Permite determinar indirectamente el contenido de sales o sólidos disueltos en el agua natural, es decir que mientras mayor sea el resultado de la conductividad mayor será la cantidad de sólidos o sales disueltas en el mismo (Ramos Olmos , Sepúlveda Marqués , & Villalobos Moreto, 2003).

El análisis se lo realiza de preferencia *In situ* con un conductímetro, el cual cuenta con un electrodo que se introduce directamente en la muestra de agua hasta registrar la medida de la resistencia eléctrica, la unidad de medición es el Siemens por centímetros ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (HACH-COMPANY, 2000).

Color

El color es una de las características organolépticas del agua y un parámetro estético para los consumidores. Se presenta debido a iones metálicos naturales como el hierro y manganeso, así como también por presencia de humus, plancton, vegetales y desechos industriales, que son causantes de los colores amarillo y café como los más comunes. Sin embargo, se reconocen dos tipos de color en las aguas: el color verdadero y el aparente (Martínez & Osorio, 2018).

El color aparente es el color producido por sustancias disueltas y materia en suspensión, mientras que el color verdadero es aquel que se obtiene después de un proceso de filtrado de las sustancias en suspensión. El equipo de medición es el espectrofotómetro, que admite una celda permitiendo diferenciar el color de la muestra con un blanco (agua destilada); sus resultados se expresan en unidades Pt-Co (unidades de platino cobalto) (HACH-COMPANY, 2000).

Olor y sabor

Las sustancias que generan olor y sabor en las aguas naturales son los compuestos orgánicos, debido a la actividad de microorganismos y algas, las descargas industriales, los contaminantes químicos naturales tanto orgánicos como inorgánicos y la corrosión en el tratamiento de agua

(cloración); causando problemas en la aceptabilidad del agua y preocupación en la calidad (Salazar Rojas & Vasquez Diaz , 2016).

Los sabores y olores pueden revelar algún tipo de contaminación o mal funcionamiento en el proceso de tratamiento y distribución del agua. Para la eliminación se puede usar carbón activado, mediante filtros o aireación (Varó Galvañ & Segura Beneyto, 2009).

pH

El pH es la medida de la actividad de iones hidrógeno en una solución, las mediciones se efectúan en una escala de 0 a 14, siendo 7 un estado neutro, valores menores a 7 se consideran ácidos y valores mayores a 7 básicos o alcalinos (González Toro, 2011).

El valor del pH depende de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que se encuentra en el ambiente, sin embargo, este valor de pH varía de acuerdo con la fuente de abastecimiento, por ejemplo, las aguas subterráneas tienen un pH entre 6 y 8, y solamente el agua en estado puro tiene un pH neutro (Pimienta, 1980).

Por lo tanto, la problemática se genera cuando existen pHs muy bajos o muy altos como se observa en a tabla 1, mientras que el rango recomendado para agua potable es un pH entre 6 a 8 (Camacho, 2011).

Tabla 1. Problemática de acuerdo con pHs bajos y altos (López E. P., 2016)

Problemática	
pH bajo	pH alto
Corrosividad en tuberías de metal	Dureza en el agua
Sabor amargo en el agua	Incrustaciones (sarro) en tuberías o accesorios
Manchas en la ropa	Dificultad para hacer espuma de detergentes o jabones
Color azul verdoso en tuberías y desagües	Formación de precipitados en la ropa

El pH se mide en campo con un equipo llamado pH-metro o potenciómetro, el cual se lo considera un voltímetro que dispone de un electrodo, el cual se sumerge en la muestra de agua. Este genera una corriente eléctrica que dependerá de la concentración de iones hidrogeno que presente la solución (Camacho, 2011).

Sólidos

Los sólidos son aquellas sales inorgánicas (carbonatos, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, potasio, calcio, magnesio, hierro, fosfatos y nitratos de sodio) como también materia orgánica que se

obtienen después de someter al agua a un proceso de evaporación y a una temperatura establecida (Molinares, 2006).

Según el tiempo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse disueltos o suspendidos, como se muestra en la figura 1.

Los sólidos disueltos o filtrables son aquellos que pasan el filtro, se encuentran formando átomos y moléculas hasta 1 milimicrómetro para considerarlas invisibles, las mismas no afectan en la turbiedad del agua pero si en su color y olor; además, se pueden encontrar en forma de colides de 1 a 1.000 milimicrómetros de tamaño, las cuales son visibles en el agua causando turbiedad pero no lo suficientemente pesadas como para sedimentarse (Cisneros, 2001).

Las concentraciones elevadas afectan a: la eficiencia de la desinfección, reducción del desinfectante residual en el agua, aglomeración de los sólidos en determinados puntos del sistema, enfermedades gastrointestinales en especial a recién nacidos, ancianos, personas con enfermedades catastróficas o con defensas bajas. Además, los consumidores tienden a rechazar este tipo de agua ya que genera dudas sobre la procedencia y por tanto no ofrece garantías sanitarias (Torres , Cruz, & Patiño, 2009).

Los sólidos disueltos se analizan por diferencia de peso, con ayuda de una bomba al vacío se filtra la muestra, el agua que queda en el Kitasato se coloca en un crisol para llevarlos a una estufa a una temperatura de 103 a 105°C durante una hora, luego de esto se enfría el crisol hasta llegar a temperatura ambiente en un desecador alrededor de 30 minutos, luego se lleva a la balanza analítica para su respectivo pesaje (HACH-COMPANY, 2000).

Los sólidos suspendidos son aquellos que son retenidos mediante un filtro de 2 μm o menor, estos se analizan por diferencia de peso, con la ayuda de una bomba al vacío se filtra la muestra con un filtro de 2 μm o menor, para luego secarlos en una estufa a una temperatura de 103° a 105 °C durante 1 hora, después se seca y enfría el filtro hasta temperatura ambiente en un desecador durante 30 minutos aproximadamente, finalmente se pesa el filtro con una balanza analítica, el resultado se expresa en (mg/l) (HACH-COMPANY, 2000).

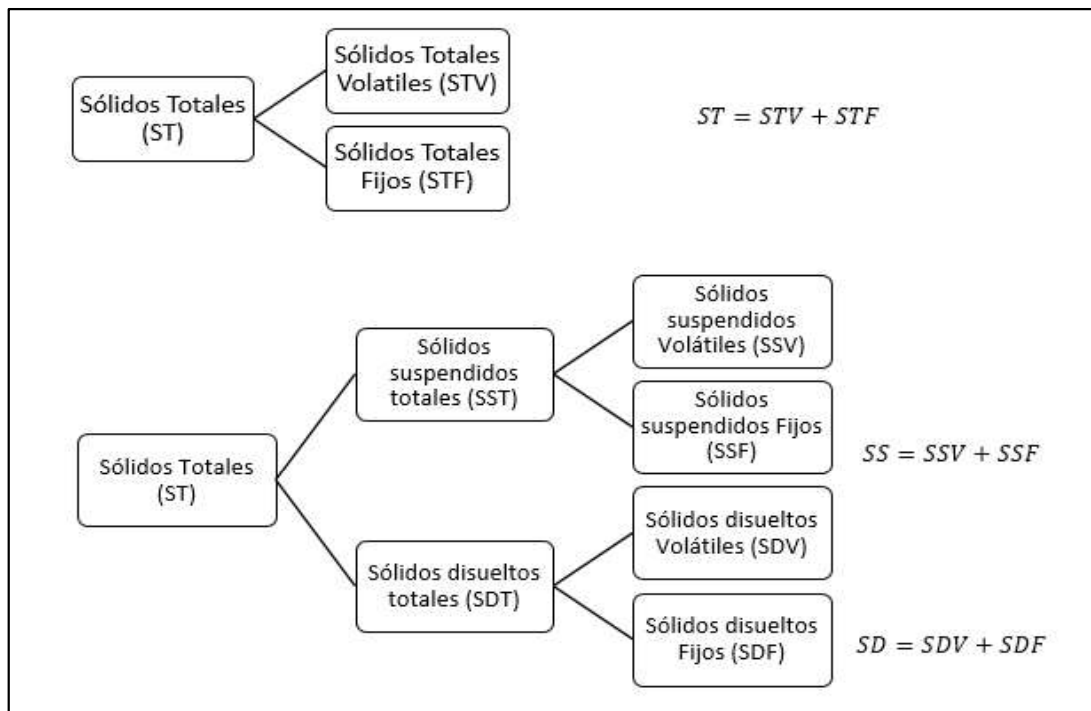


Figura 1. Clasificación de los sólidos totales materia en el agua (Cisneros, 2001)

Temperatura

Este parámetro es uno de los más importantes en el agua, ya que influye en el retardo o aceleración de actividad biológica, a la proliferación de microorganismos, a la cantidad de oxígeno disuelto, a la desinfección y a procesos de tratamiento primarios; por lo que repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor, olor, color y corrosión (OMS, 2018).

Por tanto, cuando se tiene valores menores de temperatura mayores son los valores del oxígeno disuelto y cuando contienen mayores valores de temperatura la cantidad de oxígeno disuelto es menor, esto se debe a que las moléculas de agua tienen la capacidad de unirse o separarse, lo que permite que cuando están más unidas retengan mayor oxígeno y viceversa (Ramos Olmos, Sepúlveda Marqués, & Villalobos Moreto, 2002).

Al incidir en procesos biológicos del agua, el valor óptimo para el desarrollo bacteriano está en el rango de 25 °C a 35 °C, estos procesos se impiden al llegar a los 50 °C, mientras que a los 15 °C algunas bacterias productoras de metano concluyen su actividad (Varó Galvañ & Segura Beneyto, 2009). La medición se la realiza *In situ* con un equipo portátil, mediante un electrodo que se introduce en una muestra de agua, el mismo que reporta el valor en la pantalla en grados centígrados °C.

Turbiedad

La presencia de turbiedad se debe a las partículas suspendidas, minerales, coloidales u orgánicas, esta es una propiedad óptica debido a que hace que los rayos de la luz se puedan dispersar y a su vez se absorban; mientras mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayores serán los resultados de la turbiedad (Severiche Sierra , Castillo Bertel , & Acevedo Barrios , 2013).

Es un parámetro que se mide *In situ*, mediante un equipo llamado turbidímetro, el cual ofrece la lectura directa en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

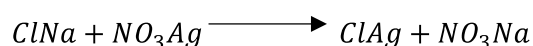
Cloruros

El ion cloruro es uno de los aniones inorgánicos que contienen las aguas naturales como las residuales, las naturales van a contener menores concentraciones que las residuales, aguas marinas y aguas salina (INEN-9297, 2013).

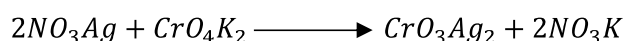
El contenido de cloruros en aguas naturales se encuentra entre 50 a 60 mg/l, lo cual no suele plantear problemas para potabilizar, pero si puede causar daños en las conducciones, estructuras metálicas, perjudica al crecimiento vegetal, además de afectar al sabor en caso de consumo (Varó Galvañ & Segura Beneyto, 2009).

Para su análisis existen varios métodos, sin embargo, la manera más utilizada es mediante titulación, el cual se basa en el método de Mohr, donde el ion cloruro precipita como AgCl (cloruro de plata) utilizando al AgNO₃ (nitrato de plata) como agente valorante y al K₂CrO₄ (cromato de plata) como indicador. La reacción de la titulación se muestra a continuación:

Reacción de valoración



Reacción indicadora



Se debe tener algunas consideraciones al momento del análisis para evitar errores, como: la exposición directa al sol o lámparas fluorescentes intensas ya que esta determinación es sensible a la luz debido a la capacidad que tiene de descomposición fotoquímica (INEN-9297, 2013).

Los cálculos se determinan mediante la siguiente ecuación (1):

$$ppm = \frac{(V_{AgNO_3})(N_{AgNO_3})(P_{eq Cl}) * 1000}{V.muestra} \quad (1)$$

Siendo:

- V_{AgNO_3} = volumen del nitrato de plata consumido
- N_{AgNO_3} = normalidad del nitrato de plata con el que se titulo
- $Peq\ Cl$ = peso equivalente del cloruro
- $V. muestra$ = volumen de la muestra

Demanda biológica de oxígeno

La demanda biológica de oxígeno (DBO), es la cantidad de oxígeno que consumen las bacterias, hongos y plancton durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Los ensayos no solamente se realizan para determinar la calidad del agua, sino también para expresar la materia orgánica en términos generales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y evaluar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Raffo Lecca & Ruiz Lizama , 2014).

Se determina en un tiempo de 5 días a una temperatura de 20°C en el equipo OxyTop, el mismo que permite la medición de la cantidad consumida de oxígeno durante los primeros cinco días de degradación y es por lo que se le conoce como DBO_5 , se expresa en mg/l (Raffo Lecca & Ruiz Lizama , 2014).

Los cálculos se realizan mediante el uso de la fórmula (2), tomando en cuenta que el factor se toma de acuerdo al volumen de muestra que se requiera en el análisis, así como indica la tabla 2.

$$DBO_5 = \text{Promedio de valores registrados} \times \text{Factor} \quad (2)$$

Tabla 2. Volumen de la muestra en función de la DBO_5 (González H., Martín D., & Figueroa, 2000)

Volumen de la muestra (ml)	Rango de medida (mg/l)	Factor
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.5	0-2000	50

Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos. Normalmente la DQO será mayor a la DBO, debido a que es un

oxidante químico muy capaz de reaccionar con sustancias de difícil biodegradación, por lo que la relación DBO/DQO inferior a 0,2 indica que el agua es de tipo inorgánico, es decir contaminado por aguas industriales, valores mayores a 0,4 se consideran biodegradables y valores superiores a 0,65 se considera de tipo orgánica muy biodegradable con posible contaminación de aguas residuales urbanas, restos de ganado y actividades de agricultura (Ramos Olmos , Sepúlveda Marqués , & Villalobos Moreto, 2003).

Se determina mediante el método de la digestión de reactor, el que consiste en el uso de viales reactivos de acuerdo con el rango apropiado como se muestra en la tabla 3 para la colocación de la muestra, y un vial blanco con agua destilada. Se los coloca en un reactor para su posterior detección en el espectrofotómetro (HACH-COMPANY, 2000).

Tabla 3. Tipo de tubo de reactivo según el rango de concentración de la muestra (Ramos Olmos , Sepúlveda Marqués , & Villalobos Moreto, 2003).

Rango de concentración de muestra (mg/l)	Tipo de tubo de reactivo para la DQO
0 a 150	Rango bajo
0 a 1500	Rango alto
0 a 15000	Rango alto plus

Dureza

La dureza se debe al contenido de minerales, en particular concentraciones de iones calcio y magnesio disueltos en el agua. Esta cantidad de sales afecta a la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con el agua lo cual puede generar problemas de incrustación en equipos domésticos. Se considera un parámetro específico en la calidad de agua (Soto, 2010).

La dureza se determina mediante el método titulométrico. La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y de magnesio, expresadas en mg/l de CaCO₃ (miligramos de carbonato de calcio por litro). Mediante los resultados obtenidos se puede considerar lo que indica en la tabla 4:

Tabla 4. Consideraciones de la dureza (SOTO, 2010)

Denominación	Ppm CaCO ₃
Muy suaves	0 a 15
Suaves	16 a 75
Medias	75 a 150
Duras	151 a 300
Muy duras	Más de 300

Para su cálculo se utiliza la siguiente formula (3):

$$Dureza\ total = \frac{V.EDTA * M.EDTA * 100091}{V.muestra} \quad (3)$$

Donde:

- V. EDTA= volumen titulante EDTA, ml
- M. EDTA= concentración EDTA, mol/l
- V. muestra= alícuota de muestra titulada, ml
- 100091= peso atómico del carbonato de calcio (100,091 g/mol) *1000 mg/g

Fluoruro

El flúor es un ion considerado de alta electronegatividad, muy abundante en la corteza terrestre por lo que cuando el agua atraviesa por los suelos mediante infiltraciones disuelve este compuesto que generalmente se encuentra asociado y forma fluoruros en rocas (González Toro, 2011).

Las concentraciones altas de este parámetro pueden generar manchas amarillentas en los dientes de los consumidores, deformación de los huesos (en especial la cadera), envejecimiento prematuro, y en casos graves genera fluorosis ósea la cual provoca incapacidad y cáncer. Su determinación se realiza mediante el método SPADNS, en el cual se realiza una comparación con el espectrofotómetro de acuerdo con su diferencia de color (Ramos, 2016).

Nitratos y nitritos

Los nitratos (NO₃) son sales solubles derivadas del nitrógeno que se las puede encontrar en alimentos y aguas embotelladas para consumo. La concentración de este parámetro suele ser bajo en aguas superficiales y subterráneas, sin embargo, puede ser alta cuando exista algún tipo de contaminación como: descargas de desechos sanitarios, uso de fertilizantes, excretas de animales y el uso de aditivos alimenticios (Férrandez & Vásquez, 2006).

Los nitritos (NO₂) también se derivan del nitrógeno y en el ambiente se convierten de nitritos a nitratos. Las condiciones anaerobias y la actividad microbiana favorecen a la formación y persistencia del nitrito, por lo general el nitrito es usado para mantenimiento de calderas, fabricación de explosivos y en carnes curadas (Férrandez & Vásquez, 2006). El consumo promedio es de 9 a 22 miligramos de nitrato por día principalmente en verduras y vegetales, y el consumo promedio de nitritos es más bajo de 0.1 a 0.8 miligramos por día principalmente en carnes crudas, siendo estos niveles adecuados para la salud pública (OMS, 2018).

Los nitratos no se consideran tóxicos ya que se absorben rápidamente por el cuerpo y se los elimina por medio de la orina, el peligro potencial es cuando el nitrato se transforma en nitrito dentro del organismo ya sea producto de una reducción enzimática tanto en la cavidad bucal como en el tubo digestivo, lo que puede producir vómitos, dolores de cabeza, calambres o la muerte cuando se consume niveles muy altos. Sin embargo, el efecto más conocido es cuando los nitritos se acumulan en la sangre y se produce la transformación de hemoglobina a metahemoglobina, la cual puede producir hipertensión, disfunciones gástricas e intoxicaciones especialmente a bebés (síndrome del bebé azul) (Cabrea Molina, Hernández García Viejo, & Gómez Ruíz, 2003).

La determinación de nitratos y nitritos se realiza mediante espectrofotometría, añadiendo a la muestra una bolsa de reactivo de nitrato o nitrito respectivamente de acuerdo a lo que se vaya a determinar, con el fin de que los reactivos reaccionen y se puedan leer los resultados en el equipo, las unidades se expresan en mg/l (HACH-COMPANY, 2000)

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua proveniente de la atmósfera y de la fotosíntesis de las plantas, este es un elemento importante de control de calidad ya que indica la presencia de vida aeróbica o anaeróbica. Por tanto, mientras más radiación solar mayor es el contenido de oxígeno disuelto en el fluido. Además, depende de la temperatura, así tenemos que a temperatura elevada menor será la cantidad de OD y por lo contrario si las temperaturas son bajas se tiene una alta concentración de OD (FAO, 2003).

Se determina mediante el uso de un oxímetro, el cual permite la medición *in situ* con ayuda de una sonda óptica que genera una lectura al introducir en la muestra, o a su vez mediante el método Winkler o yodométrico el cual es un proceso titulométrico basado en la propiedad oxidante del OD; los resultados se expresan en (mg/l) (NTE-INEN-1106, 2013).

Los coliformes se encuentran comúnmente en plantas, suelo, animales y humanos. Se clasifican en:

Coliformes fecales

Coliformes totales

Los coliformes fecales son termo tolerantes ya que tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperaturas elevadas, entre 44 y 45 °C. Este grupo de microorganismos se encuentran en el tracto intestinal de los seres humanos y de varios animales de sangre caliente, su reproducción fuera del intestino es favorecida debido a las condiciones de pH, humedad, etc. (Arcos Pulido, Ávila de Navia, Estupiñan Torrez, & Gómez Prieto, 2005).

El grupo de coliformes totales conforman los siguientes microorganismos: *Escherichacoli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwarsiella*, entre otros; estos son un grupo de organismos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas entre 35 y 37 °C. Actualmente el grupo de coliformes totales tiene poca utilidad como indicador de la contaminación fecal, solamente se recurre a ellas cuando no existen las condiciones para cuantificar coliformes fecales. Sin embargo, se las utiliza como alerta de contaminación ya que indica que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015)

Estas bacterias pueden causar infecciones en el tracto respiratorio y a la piel, enfermedades diarreicas entre otras enfermedades graves para los seres humanos.

La determinación de coliformes totales y fecales se realiza mediante la técnica del número más probable, la que permite expresar cuantitativamente la densidad de microorganismos en una muestra. Este método consiste en inocular una serie de tubos con medio de cultivo con el fin de que se puedan manifestar en el mismo y por ende puedan ser detectables (HACH-COMPANY, 2000).

Medición de caudal

Es la técnica volumétrica empleada para determinar la demanda del recurso para la población. De todos los métodos existentes, el más utilizado es el aforo volumétrico, el que consiste en desviar el agua a un recipiente con volumen conocido y medir el tiempo en que se demora en llenarse mediante el uso de un cronómetro (Fibras&Normas(S.A.S), 2004) tal como se indica en la figura 2.



Figura 2. Método volumétrico para medición de caudal (VALENCIA, 2014)

Por lo tanto la siguiente fórmula (4) se utiliza para la obtención del caudal:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Siendo:

- Q = Caudal
- V = Volumen
- t = tiempo

1.4.4. Muestreo

1.4.4.1. Tipo de muestras

Existen tres tipos de muestras las simples o puntuales, las compuestas y las mixtas. El tipo de muestras simples son aquellas que se toman en flujos que permanecen constantes en tiempo y espacio, las cuales representan las características del agua en el instante o para su posterior análisis físico, químico y microbiológico (Segura Beneyto & Varó Galvañ, 2009).

1.4.4.2. Volumen de las muestras

El volumen de las muestras depende del número de parámetros que se vaya a determinar, sin embargo, es preferible que la muestra no sea menor a 100 ml y, por lo general para muestras simples se toman 2 litros y para muestras compuestas 120 ml aproximadamente (López, 2013).

1.4.5. Abastecimiento de agua

Se conoce como abastecimiento de agua al conjunto de instalaciones como: la captación de agua, conducción, tratamiento o potabilización, almacenamiento, transporte y distribución hasta los consumidores; el cual permite dirigir el agua en mejores condiciones higiénicas (Catadeña, 2008). En la figura 3, se muestra un sistema general de abastecimiento de agua y el orden que debe tener.

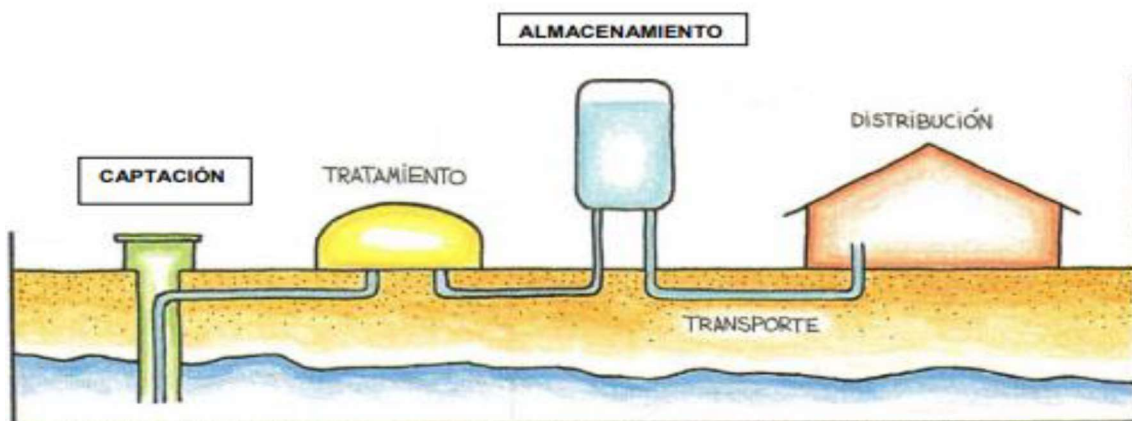


Figura 3. Sistema de abastecimiento de agua (CATADENA, 2008)

Captación y conducción

El recurso puede provenir de una o varias captaciones consideradas homogéneas en la mayor parte del año, las mismas que deben ser protegidas mediante estructuras de captación que permitan

recolectar el agua, para luego ser transportadas por medio de la gravedad, por diferencia del nivel del terreno, por impulsión o empleando bombas hacia un tanque de almacenamiento. Si existen más fuentes cercanas, se construye las cámaras de captación necesarias, las cuales serán unidas por medio de tubos en forma de galerías (Aguero, 2004).

El diseño de la captación depende de la topografía del lugar, de la calidad y cantidad de flujo y del suelo, de tal manera que no se altere ninguna característica física, química o biológica del agua, así como también el caudal y corriente. Es importante que las estructuras de captación no sean vulnerables a desastres naturales o de lo contrario, deben contener las seguridades respectivas (López, 2013).

Existen varios tipos de captación, sin embargo en caso de manantiales existen dos tipos de captación: el manantial de ladera y concentrado y el manantial de fondo y concentrado. Los mismos se detallan en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Tipos de captación de afloramientos de agua (AGUERO, 2004)

Tipos de captación	Descripción
Manantial de ladera y concentrado	Consta de tres partes: <ol style="list-style-type: none"> 1. Protección del afloramiento 2. Cámara húmeda, regula el gasto de uso 3. Cámara seca, protección de válvulas
Manantial del fondo y concentrado	Consta de dos partes: <ol style="list-style-type: none"> 1. Cámara húmeda, almacena el agua y regula el gasto de uso 2. Cámara seca, protección de válvulas

Después de la captación, estas aguas deben ser transportadas por medio de tuberías para evitar cualquier tipo de contaminación externa), es importante enterrar las tuberías para evitar daños, las mismas que permiten que el agua se dirija hacia un tanque de almacenamiento y finalmente a los domicilios (Pongutá Hurtado, 2003).

Tratamiento de agua

Es un sistema de agua cruda o residual que utiliza una secuencia de procesos para la obtención de agua apta para el consumo humano, incluye: pretratamiento (retención y remoción de materiales extraños) donde se eliminan materia de gran tamaño, procesos primarios (coagulación, floculación, sedimentación, filtración) donde se remueven mayormente solidos mediante procesos físicos, procesos secundarios (filtros biológicos de arena) donde se elimina mayormente materia orgánica mediante procesos químicos y biológicos, y la desinfección (TULSMA, 2015).

Desinfección

La desinfección es el último proceso preventivo esencial de tratamiento, que garantiza la eliminación de organismos patógenos en los sistemas de abastecimiento de agua comunitaria. Además, es la medida más importante para evitar brotes y epidemias de enfermedades que afectan a la salud de los seres humanos (Sabrina, Dierolf, & Mora, 2007).

Existen varias opciones de desinfección disponibles como se indican en la tabla 6:

Tabla 6. Métodos de desinfección (Sabrina, Dierolf, & Mora, 2007).

Físicos	Químicos
Ultrafiltración	Permanganato de potasio
Ultrasonido	Yodo
Osmosis inversa	Ozono
Radiación ionizante	Peróxido de hidrógeno
Desinfección solar	Cloro

Los métodos más utilizados para desinfección son los que utilizan cloro, ya sea en estado líquido, sólido o gaseoso ya que este método es relativamente barato, práctico y efectivo al momento de entrar en contacto con algunos tipos de bacterias, microorganismos, virus, algas y hongos, es el único que presenta propiedades residuales que se permanecen a lo largo del tiempo (brinda tratamiento desde que sale de la planta hasta los domicilios), actúa adecuadamente frente a la eliminación de sabores y olores, y además tiene la capacidad de disminuir el amonio y compuestos nitrogenados (Chaucachicaiza & Orozco Cantos , 2012).

Existen varias formas comerciales del cloro y la elección de estos es de acuerdo con diferentes parámetros, los cuales se detallarán en la tabla 7.

Tabla 7. Formas comerciales del cloro (Chaucachicaiza & Orozco Cantos , 2012)

Formas comerciales del cloro	Característica	% de cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad
Cloro gas	Gas licuado a presión	99 al 99,5 %	Muy buena, valores bajos de pérdida.	Gas tóxico, tener cuidado con fugas.
Hipoclorito de sodio	Solución líquida de color amarillo	Del 1 al 15 % máximo	Baja pérdida del 2 al 4 % mensual, mayor pérdida si la	Corrosivo, contiene sosa cáustica.

Continúa en la siguiente página

			temperatura excede los 30 °C.	
Hipoclorito de calcio “pastillas”	Polvo, granulado o en tabletas de color blanco	Tabletas: del 60 al 70 %	Buena. Del 2 al 2,5 % por año	Irritante y corrosivo. Inflamación al contacto con ácidos

Existen sistemas de dosificación manual, automatizados, equipos automáticos y utilizando un tubo Venturi. En la tabla 8 se mencionan las ventajas y desventajas de cada alternativa para la cloración.

Tabla 8. Sistemas de dosificación (Chaucachicaiza & Orozco Cantos , 2012)

Dosificación	Ventajas	Desventajas
De cloro en pastillas	<ul style="list-style-type: none"> - Sencillo - Ideal para pequeñas comunidades - No necesita energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo medio - Aprox. 10% de error en dosificación - Uso de tabletas, algunas veces no caen en la cámara de disolución - Necesidad de un operador frecuentemente que calcule la cantidad de cloro residual
Automatizada con hipoclorito de sodio	<ul style="list-style-type: none"> - Sencillo de operar - Confiable 	<ul style="list-style-type: none"> - Personal capacitado en operación y mantenimiento - Zona rural, costo medio a elevado - Requiere energía eléctrica - Corrosiva para la bomba
Automatizada con cloro gas	<ul style="list-style-type: none"> - Alta precisión de dosificación - No influye la temperatura - Se puede monitorear el cloro residual 	<ul style="list-style-type: none"> - Costosa para pueblos pequeños - Personal capacitado - Puede ser peligroso con una inadecuada operación - Se requiere energía eléctrica

El cloro resulta perjudicial cuando el agua contiene materia orgánica, ya que al unirse con el cloro como desinfectante se forman los compuestos trihalometanos que causan enfermedades serias en los consumidores. Los trihalometanos se pueden incorporar al cuerpo humano mediante ingestión de del suministro de agua, inhalación por evaporación y absorción dérmica; por ende la materia

orgánica es un parámetro elemental que se remueve para continuar con el proceso de desinfección de aguas de consumo humano.

Luego de monitorear de manera minuciosa la materia orgánica hasta su remoción, el cloro ya puede ser añadido en el agua para su desinfección, el mismo debe cumplir con los requisitos citados en la tabla 9:

Tabla 9. Parámetros de cumplimiento para una óptima desinfección (Chaucachicaiza & Orozco Cantos , 2012)

Parámetros	Rango	Descripción
Turbiedad	< 0,5 NTU	Ralentiza la acción del cloro con el agua, permite que se forme colonias de e-coli.
pH	< 8	Los pHs altos desaceleran reacciones químicas y permiten la formación de compuestos clorados.
Tiempo de retención	> 30 min	Mayor al tiempo establecido para que llegue con facilidad a los domicilios.
Contenido residual	> 0,5 mg/l	El cloro permanezca más tiempo en las redes de distribución.

Almacenamiento

El agua se almacena en tanques permitiendo regular grandes cantidades de agua que cubren las variaciones horarias del consumidor. Tiene la capacidad de decantar sólidos y oxigenar el agua; en esta etapa es donde se puede realizar el proceso de desinfección para finalmente distribuir el recurso a los domicilios (Pongutá Hurtado, 2003).

Transporte y distribución

La distribución se basa en una tubería principal que sale del tanque de almacenamiento a los consumidores, esta tubería se conecta a las tuberías de menor diámetro y a los accesorios que regulan la presión (Pongutá Hurtado, 2003).

2. Metodología

2.1. Levantamiento de la línea base

El sistema de abastecimiento cuenta con una captación de fondo y concentrado o punto 1, ya que el agua es proveniente de un ojo de agua o manantial que nace bajo la tierra, el mismo se encuentra cubierto por un tanque y una tapa de concreto, y de una tubería de salida de PVC enterrada, lo cual permite conducir el agua a un afloramiento.

Este afloramiento se encuentra cubierto por un tanque de concreto y con una tubería de salida de PVC en la superficie del terreno, la que dirige el agua hacia otros afloramientos que cuentan con las mismas características del anterior. Estas permiten conducir el agua hacia un punto de conexión.

El punto de conexión o punto 2, se lo llama así porque almacena el agua proveniente de todos los afloramientos, este punto cuenta con un tubo de entrada de material PVC el mismo contiene una malla para retener sólidos (observe figura 4), un tubo de PVC que funciona como purga cuando se limpia el tanque, y el otro tubo de PVC dirige el agua hacia la estación de los tanques de almacenamiento.



Figura 4. Malla de retención de sólidos en el punto de conexión

Cabe recalcar que en épocas de lluvias, hay una vertiente (figura 5) que se junta con todo el flujo, ya sea por medio de la escorrentía o por infiltraciones en tuberías o tanques que no se encuentran en buenas condiciones, este flujo recorre hacia el punto de conexión. Por medio de tuberías ubicadas en la superficie del terreno.

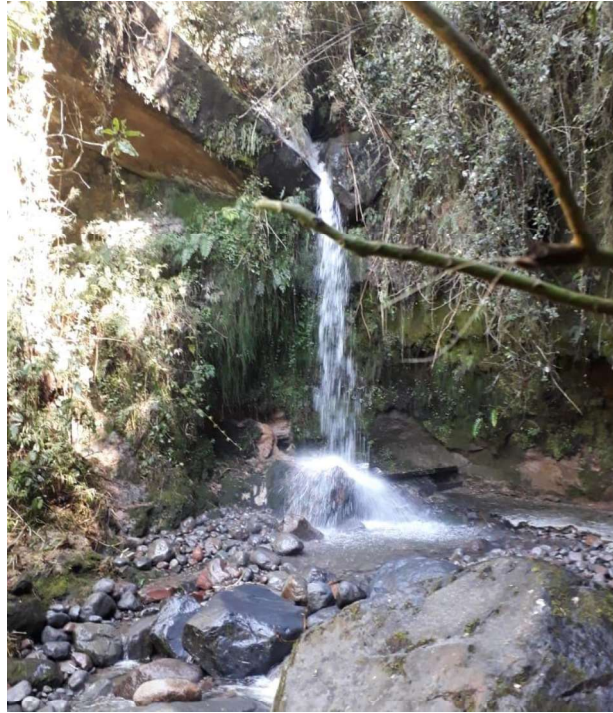


Figura 5. Vertiente en épocas de lluvia

En épocas de lluvias fuertes, se producen crecidas de agua y pequeños deslaves de la tierra, lo que provoca (figura 6) y por ende a los hogares. Esto conlleva a la suspensión total del recurso hasta reparar todo el sistema mediante mingas colaborativas.



Figura 6. Vertiente en épocas de lluvia

La estación de los tanques de almacenamiento, es un lugar cerrado y protegido el mismo que solo el personal autorizado puede ingresar, esta estación dispone de 3 tanques de concreto (figura 7), cubiertos de baldosa en su interior, con tapa metálica y con tuberías de PVC de entrada y salida, las tuberías son de material PVC las cuales permiten que el agua ingrese al primer tanque, luego al segundo y finalmente al tercero para empezar con la distribución del recurso hacia las

acometidas de cada uno de los predios, además disponen de válvulas de cierre que permiten impedir el paso del agua para cuando se necesite realizar mantenimiento a los mismos.



Figura 7. Estación de los tanques de almacenamiento

El tiempo que el agua permanece en los tanques de almacenamiento permite que gran parte de sólidos que entran al sistema puedan sedimentar y la otra parte de ellos que no sedimenta, sale por los grifos de los hogares. Es por ello que los beneficiarios hierven el agua y adquieren botellones de agua para su consumo diario.

En caso de emergencias, existe un punto al que se lo llamó punto 6, es proveniente de otro afloramiento muy separado del resto ubicado aguas abajo del ojo principal, se encuentra totalmente cerrado con una tubería negra de polietileno en todo el trayecto hasta llegar al punto de muestreo (figura 8).



Figura 8. Estación de los tanques de almacenamiento

Este punto 6 permite abastecer los hogares cuando ha existido algún tipo corte de agua en todo el sistema descrito con anterioridad.

La estructura del sistema completo se encuentra detallado en el ANEXO I.

2.1.1. Descripción del lugar de muestreo


Con dicha información y observación de la red, se tomaron 6 puntos de muestreo ubicados en sitios estratégicos a lo largo de la conducción de agua, desde su captación, distribución y llegada a los beneficiarios.

Los puntos se seleccionaron considerando todas las fuentes de agua que ingresan al sistema, con esto se aseguró que las muestras representen todo el sistema de captación y distribución.



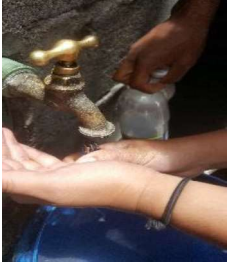
Las especificaciones de los sitios de muestreo se describen en la siguiente tabla 10 y se muestra la ubicación de cada uno de los puntos por medio de Google Earth en el ANEXO II y en el ANEXO III el perfil de la línea de conducción que se realizó con ayuda de las coordenadas tomadas.

Además, en el ANEXO IV se observa cómo se realizó la toma de las coordenadas.



Tabla 10. Descripción del lugar de muestreo

Lugar de muestreo	Descripción	Coordenadas (UTM)	Fotografía
Ojo de agua	Ubicado en las faldas del Atacazo, está cubierto por un tanque y una tapa de hormigón armado sencillo. Cuenta con una tubería de PVC de salida de 2".	Altitud: 3390 m Norte: 9960872 Este: 768354	

Continúa en la siguiente página

<p>Punto de conexión</p>	<p>Es un tanque de hormigón armado y con tapa metálica, ubicado en la ribera del río donde ingresa el agua de la vertiente, del propio río cuando crece (ojos de agua) y del ojo principal, cuenta con una malla para retener sólidos grandes y una salida con tubería PVC de 2”.</p>	<p>Altitud: 3388 m Norte: 9960827 Este: 768415</p>	
<p>Tanques de almacenamiento</p>	<p>Existen 3 tanques, ubicados en un terreno cerrado para evitar el paso de personas no autorizadas y cubierto por una tapa metálica con candado. El tanque está recubierto por baldosa y tiene una salida por una tubería de 2”</p>	<p>Altitud: 3223 m Norte: 9960483 Este: 770103</p>	
<p>Agua de suministro más cercana</p>	<p>Se encuentra a pocos metros del tanque de almacenamiento. El grifo es metálica y está ubicada en el exterior de la vivienda.</p>	<p>Altitud: 3217 m Norte: 9960483 Este: 770095</p>	



Continúa en la siguiente página

<p>Agua de suministro más lejana</p>	<p>Se encuentra a 1 km de los tanques de almacenamiento, el grifo es metálica y se encuentra en las afueras de una vivienda.</p>	<p>Altitud: 3108 m Norte: 9959814 Este: 771928</p>	
<p>Captación de emergencia</p>	<p>Se encuentra a pocos metros del ojo de agua, es una captación superficial que se utiliza cuando el ojo no abastece las necesidades.</p>	<p>Altitud: 3271 m Norte: 9960372 Este: 769993</p>	




2.1.2. Equipo de protección personal

Para evitar accidentes al momento de la toma de muestras y al realizar los análisis, se eligieron las protecciones especificadas en la tabla 11. Hay que tener en cuenta que la elección del equipo de protección personal fue de acuerdo con el trabajo que se realizó, el lugar, el ambiente, posibles condiciones de peligro, la comodidad de la persona, etc.

Tabla 11. Equipos de protección personal

EQUIPO DE PROTECCIÓN	DESCRIPCIÓN	USO	FOTOGRAFIA
<p>Guantes de Nitrilo</p>	<p>Evita el contacto directo de las manos con las muestras, reactivos o equipos</p>	<p>Laboratorio muestreo</p>	
<p>Zapatos de seguridad</p>	<p>Protege de golpes, evita heridas o lesiones y posibles derrames.</p>	<p>Muestreo</p>	

Continúa en la siguiente página

Mandil de Laboratorio	Protege la ropa y la piel de posibles derrames	Laboratorio	
Gafas de seguridad	Protege los ojos de salpicaduras	Laboratorio	
Máscara antigases	Evita la inhalación directa de gases dañinos al tracto respiratorio.	Laboratorio	

2.1.3. Selección del tipo de muestra y volumen de agua

De acuerdo con la norma NTE INEN 2169 Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras; lo recomendable para agua cruda y agua potable es tomar muestras puntuales, ya que permiten conocer las características específicas del agua en puntos específicos.

Por lo tanto, se tomaron un total de 3 muestras por punto, 2 para análisis físico-químicos y una para análisis de coliformes totales y fecales. Además, se tomaron en cuenta las condiciones climatológicas para la toma de la muestra. Las muestras recogidas se llevaron al laboratorio para su correspondiente análisis y caracterización.

Para análisis físico químico se tomó 1 litro, mientras que para bacteriológico se tomaron 15 ml de agua, las mismas que fueron utilizadas para análisis en el laboratorio.

2.1.4. Elección de parámetros

Para la elección de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, se consultó la norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes de la Secretaría del Agua, en donde se establecen los parámetros básicos para caracterización de agua cruda, siendo estos: turbiedad, color, pH y Coliformes fecales. (SecretariadelAgua, 2014)

Aparte de una decisión técnica, se tomaron en cuenta las experiencias de los pobladores en cuanto a sabor, olor, apariencia y problemas de la salud para establecer los siguientes parámetros de

estudio: dureza total, cálcica y magnésica, DBO₅, DQO, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y disueltos, fluoruros, cloruros, nitratos y nitritos.

Los métodos para analizar cada parámetro fueron tomados de la guía de laboratorio que se encuentra en el laboratorio docente de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

2.1.5. Elección de recipientes

De acuerdo con la NTE INEN 2169 Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras; las muestras pueden ser tomadas en envases de vidrio, plástico o botellas ámbar para evitar contaminación.

Por motivos de ahorro se utilizaron botellas plásticas recicladas para la toma de muestras de análisis físico-químicos (figura 9), excepto para las muestras de análisis de coliformes se utilizaron recipientes esterilizados plásticos, y para el análisis de oxígeno disuelto se utilizaron botellas de vidrio winkler (figura 10)

Las botellas para análisis físico-químico fueron debidamente lavadas para evitar interferencias en los análisis.



Figura 9. Recipientes plásticos para análisis físico-químico



Figura 10. Recipientes Winkler para análisis de OD

2.1.6. Elección de equipos *in situ* y de laboratorio

La elección de cada uno de los equipos para realizar el análisis de los parámetros, se selecciona de acuerdo a las guías y manuales del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental, los mismos se detallan a continuación en la tabla 12.

Tabla 12. Equipos para análisis *in situ* y laboratorio

Equipo	Tipo de análisis	Lugar de análisis
Espectrofotómetro	Color, DQO, nitratos, nitritos y fluoruros.	Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental
pH-metro	pH y temperatura	<i>In situ</i>
Turbidímetro	Turbiedad	<i>In situ</i>
Oxímetro	Oxígeno disuelto	<i>In situ</i>
Multiparámetros	pH y turbiedad	Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental
Estufa y desecador	Sólidos disueltos y suspendidos	Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental
Incubadora OxyTop	DBO ₅	Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental
Digestor	DQO	Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental
Incubadora Autoclave	Coliformes fecales y totales	Laboratorio de Investigación, Análisis y Monitoreo de la Secretaria de Ambiente del DMQ

2.1.7. Transporte y codificación de muestras

Las muestras se transportaron con ayuda de una hielera que cumple la función de preservar las mismas hasta llegar al laboratorio, para el análisis de ciertos parámetros es necesario añadir reactivos de conservación. Por ejemplo, para la determinación del oxígeno disuelto en el laboratorio fue importante añadir los siguientes reactivos: álcali, hidróxido de sodio y sulfato manganeso a la muestra con el fin de conservar el oxígeno.

Además, fue importante la codificación de cada una de las muestras para evitar confusiones o errores de identificación, para ello se utilizó el siguiente modelo de la tabla 13:

Tabla 13. Modelo de etiqueta

N° de la muestra:	Código:
Fecha (dd/mm/aa):	Hora:
Punto de muestreo:	
Volumen de la muestra:	Preservantes adicionados:
Tipo de análisis a realizarse:	Observaciones:
Nombre del muestreador:	

Las técnicas de conservación de muestras que se utilizaron se describen en el ANEXO V, estas fueron imprescindibles al momento de realizar los análisis.

2.2. Caracterización del agua

Las técnicas y métodos utilizados para la caracterización de los diferentes parámetros tanto *in situ* como en el laboratorio, se describen a continuación:

2.2.1. Descripción de parámetros medidos *in situ*

Los siguientes parámetros se analizan en campo llevando todo el equipo necesario, se realiza en el mismo lugar de la toma de muestra ya que estos parámetros pierden sus características rápidamente.

Medición de caudal

Para la medición del caudal, se tomó un balde de 20 litros de volumen, luego se procedió a llenarlo con agua hasta su aforo, tomando el tiempo con un cronómetro. Este se realizó por 3 veces consecutivas para tener una mayor precisión y exactitud en los resultados.

Con los datos obtenidos se analizó la medición utilizando la ecuación (4) explicada en la sección del marco teórico, con los resultados que se especifican en la tabla 14 se realizó un promedio y se obtuvo el resultado pertinente.

Turbiedad

Se tomaron 10 ml de muestra con la ayuda de una pipeta volumétrica para luego trasladar la muestra al vial del turbidímetro. Se insertó el vial en el equipo previamente calibrado, y se registró el resultado, finalmente se lavó el vial con agua destilada y se secó.

Conductividad

Antes de usar el conductímetro, en el laboratorio se calibró y se realizó la medición con estándares de valores conocidos, con el fin de verificar el buen funcionamiento de éste. Para la medición en campo, se colocó un volumen de muestra en un balde previamente lavado, luego se encendió el equipo y se insertó el sensor dentro de la muestra hasta que la lectura en el equipo se estabilizó. Finalmente se registró el valor y se lavó la sonda con agua destilada.

pH

Previo al uso del potenciómetro, en el laboratorio se lo calibró y se realizó la medición con estándares de valores conocidos, con el fin de verificar el buen funcionamiento de este. Para la medición en campo, se colocó un volumen de muestra en un balde previamente lavado, se encendió el equipo y se insertó el sensor dentro de la muestra, hasta que la lectura en el equipo se estabilizó. Finalmente se registró el valor y se lavó la sonda con agua destilada.

Oxígeno disuelto, medición in situ

Previo al uso del oxímetro, en el laboratorio se calibró y se verificó el buen funcionamiento de este; en campo, se colocó un volumen de muestra en un una jarra previamente lavada, se prendió el equipo, se insertó el sensor dentro de la muestra hasta que la lectura en el equipo se estabilizó y se registró el resultado. Finalmente, se lavó la sonda con agua destilada, (figura 11).



Figura 11. Medición *In situ* del oxígeno disuelto

2.2.2. Descripción de parámetros medidos en laboratorio

Los siguientes parámetros que se describen con aquellos que se necesita hacerlos en el laboratorio ya que se necesitan más materiales y equipos que no pueden ser transportados, su eso es exclusivamente en el laboratorio.

Oxígeno Disuelto, método Winkler

Se tomaron muestras de agua en los recipientes Winkler que se indican en la figura 10 de la sección de elección de recipientes, seguido al llenado de agua hasta su aforo se añadieron: sulfato manganoso, álcali y ácido sulfúrico para su conservación hasta el lugar de análisis.

Una vez llegadas las muestras al laboratorio se colocaron 150 ml de la misma en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, luego se llenó la bureta con tiosulfato de sodio, después de tituló la solución agregando gota a gota el agente titulante hasta observar un color amarillo pálido, en este momento se colocó de 3 a 5 gotas de almidón por lo que se tornó un color azul, finalmente se continuó con la titulación hasta la desaparición del color azul en la solución, este es el punto donde se anotó el volumen gastado de tiosulfato para los análisis pertinentes.

En la figura 12 se muestra ciertas partes del proceso.



Figura 12. Análisis en el laboratorio

Coliformes totales y fecales

Para el análisis de coliformes totales, se preparó el agua de dilución, para ello se colocaron 5 ml de tampón A, 1,25 ml de tampón B y un litro de agua destilada en un balón aforado de 1000 ml, después de realizar dicha solución se procedió a colocar 9,2 ml en los tubos Hach. Luego se preparó el medio de cultivo conocido como caldo lactosado, para ello se utilizaron 13 g de caldo y 0,001 g del indicador púrpura de bromocresol por cada litro de agua destilada que se necesitó, para disolver totalmente se utilizó un agitador magnético y una plancha de agitación, luego se colocaron 10 ml de este en tubos de ensayo por triplicado y se taparon. Finalmente, se autoclavaron todos los tubos junto con las puntas de micropipetas.

Después de sacar todos los tubos del autoclave, se etiquetaron y se colocaron ordenadamente desde la dilución 10^1 a la 10^{-7} en una gradilla, para comenzar con las diluciones se colocó 1 ml de la muestra en el primer triplicado de caldo (10^0) y en la primera dilución, luego se pasó 1 ml del agua de la primera dilución a la siguiente dilución y así hasta llegar a la dilución (10^{-7}), continuo a esto se tomó 1 ml del tubo de dilución y se pasó al triplicado con caldo lactosado, se realizó el mismo procedimiento para el resto de los tubos con caldo, luego de terminar este proceso se dejaron los tubos en la incubadora a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se registraron resultados a las 24 y 48 horas.

Posteriormente, se preparó el medio para coliformes fecales, para lo cual se utilizaron 35 g de medio EC para un litro de agua destilada, se utilizó una plancha de agitación y un agitador magnético para su dilución total, luego para se colocaron 10 ml de medio en los tubos Hach, se colocó un tubo Durham en el mismo tubo y se tapó. Finalmente, se autoclavaron todos los tubos. Después se sacaron los tubos del autoclave y se procedió a realizar la resiembra, para ello se tomaron los tubos con caldo lactosado positivos, con ayuda de un mechero se calentó el asa al rojo vivo y se enfrió en el medio EC para luego tomar una burbuja de caldo lactosado positivo y

trasladarla al medio EC mediante 3 asadas consecutivas. Luego de terminar este proceso se taparon los tubos Hach™ que contenían los tubos Durham y se llevaron a la incubadora a 45 °C durante 24h, al finalizar este tiempo se registraron resultados.

En la siguiente figura 13 se puede apreciar que, los tubos 1 y 3 no están contaminados y el tubo 2 presenta contaminación ya que su líquido es turbio.

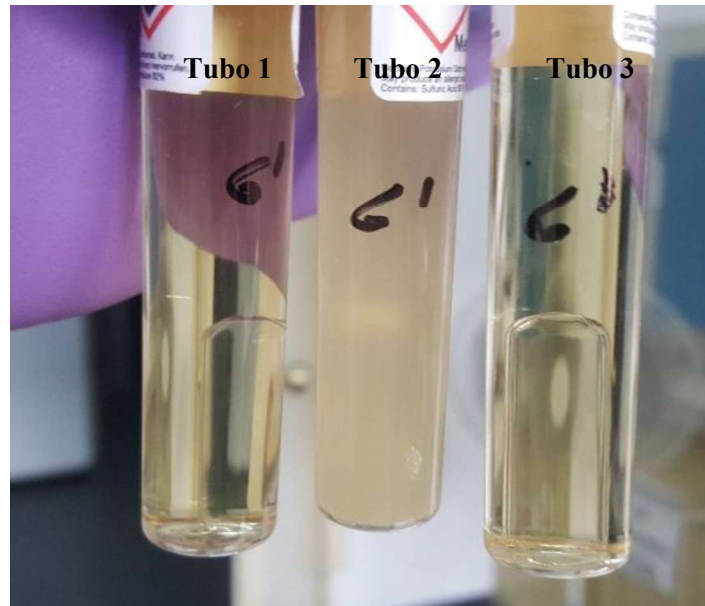


Figura 13. Análisis de coliformes fecales

Color

Para la determinación del color real se filtraron 20 ml de agua destilada con ayuda del equipo de filtrado al vacío para colocar 10 ml de la misma en una celda de muestra (blanco), luego se filtraron 20 ml de muestra y se colocaron en una segunda celda de muestra; después de este proceso, se prendió el espectrofotómetro Hach, se seleccionó la longitud de onda correspondiente (455 nm) y se colocó celda del blanco en el equipo, se cerró el escudo para la luz y se encendió, una vez encendido se colocó la segunda celda, se cerró el escudo para la luz y se registró el resultado (figura 14).

Por otra parte, para la determinación de color aparente, se realizó el mismo proceso y la misma longitud de onda descrito anteriormente, con la única diferencia que tanto el agua de dilución como la muestra no se filtraron.

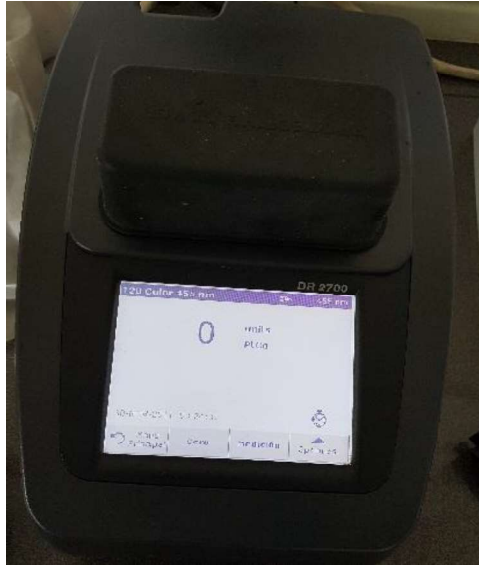


Figura 14. Medición del blanco

Dureza total, cálcica y magnésica

Para la dureza total

Se colocaron 50 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, 6 gotas de la solución buffer de dureza y una pizca de cristales del indicador Negro de Eríocromo, hasta que la muestra adquirió un color violeta, luego se homogenizó. Después, se colocaron 10 ml de EDTA en la bureta y se procedió a titular hasta que se tornó un color azul intenso. Finalmente se registró el volumen de titulación.

Para la dureza cálcica

Se tomaron 50 ml de la muestra y se la colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y con la ayuda de un gotero, se añadieron 4 gotas de la solución de hidróxido de sodio NaOH [4M] junto con una pizca de cristales del indicador murexida hasta que la muestra adquirió un color rojizo y se homogenizó la solución. Después, se colocaron 10 ml de EDTA en la bureta y se tituló hasta que ésta se tornó de color lila. Finalmente se registró el volumen de titulación.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Se seleccionó el tipo de viales a utilizar, en este caso se tomaron viales de rango bajo por deberse a agua cruda, luego se precalentó el digestor de DQO a 150 °C. Después se homogenizó la muestra para tomar 2 ml de ésta y colocar en un vial, en otro vial se colocaron 2 ml de agua destilada para la realización del blanco (vial de calibración).

Posteriormente se taparon y se agitaron los viales, teniendo cuidado ya que se tornan calientes, finalmente se colocaron los viales en el digestor precalentado (Figura 15) y se cerró la celda, luego se esperó 2 horas para que se realice la digestión, transcurrido este tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente y se midió cada vial en el espectrofotómetro Hach para registrar resultados.



Figura 15. Digestor de DQO

Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Se seleccionó el volumen de la muestra a utilizar, de acuerdo con la tabla 2 se colocaron 432 ml en una botella ámbar junto con nueve gotas de inhibidor de nitrificación y un agitador magnético, a continuación se colocó un tapón de caucho con dos pellets de hidróxido de sodio.

Finalmente, se tapó la muestra con el equipo OxyTop, se encendió y se colocaron las muestras en la incubadora durante 5 días, pasado este tiempo se tomaron los resultados para los cálculos respectivos.

En la figura 16, se indica el equipo de medición de DBO₅.



Figura 16. Equipo para DBO₅

Sólidos suspendidos y disueltos

Se colocaron los crisoles y el papel filtro en el horno a 105 °C durante 24 horas, pasado este tiempo se pasaron dichos materiales al desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente como se

muestra en la figura 17. Luego se pesaron los crisoles y los crisoles con papel filtro en una balanza analítica para registrar la medida, a continuación, se midieron 50 ml de muestra y se colocaron en un equipo de filtración, donde se colocó el filtro pesado anteriormente; una vez pasada la muestra por el filtro, se colocó en el mismo crisol en el que se pesó, posteriormente se lo llevó al horno por 24 horas a 105 °C.

Después, se tomó la parte de la muestra filtrada que se encontró en el Kitasato y se lo colocó en un crisol sin filtro para llevarlo al horno a 105°C por 24 horas, pasado este tiempo se colocaron los crisoles y los filtros en un desecador hasta llegar a la temperatura ambiente. Finalmente se pesaron los crisoles y los crisoles con papel filtro para obtener los resultados.



Figura 17. Análisis de sólidos

Cloruros

Una vez tomada la muestra se colocaron 25 ml de esta en un matraz Erlenmeyer de 50 ml y con la ayuda de un gotero, se añadieron 5 gotas de K_2CrO_4 . Luego se homogenizó la muestra y se colocaron 10 ml de $AgNO_3$ en la bureta. Después, se procedió a titular la muestra con $AgNO_3$, hasta que ésta cambió de amarillo a rojo ladrillo como se muestra en la figura 18, finalmente se registró el volumen de titulación.



Figura 18. Determinación de cloruros

Nitratos, nitritos y fluoruro

Se colocaron 10 ml de muestra en un vial y 10 ml de agua destilada en otro vial (blanco). Luego, se colocó el reactivo a utilizar y se homogenizó según lo descrito en el manual Hach. Finalmente, se colocó cada vial en el espectrofotómetro y se realizó la medición.

En la figura 19, se observa el agua de muestra y blanco junto con el reactivo, el mismo que cambia a un color rojizo.

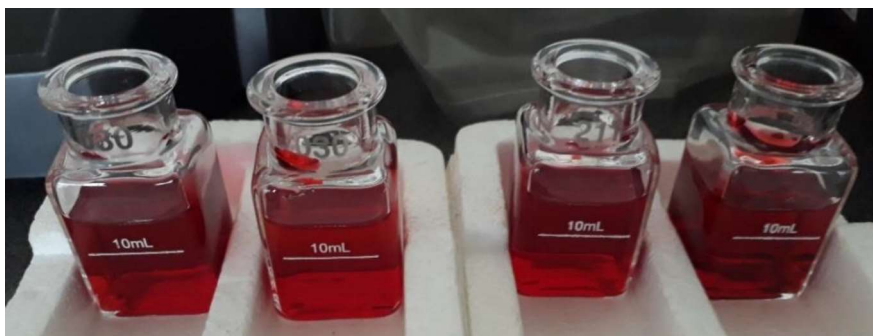


Figura 19. Determinación de fluoruro

2.3. Evaluación de alternativas de tratamiento

2.3.1. Evaluación técnica – económica

Con la información de los parámetros que excedan los criterios máximos permisibles para que el agua sea aceptable para el consumo humano, se acudió a bibliografía sobre tratamientos que aseguren que estos parámetros se encuentren dentro de la norma, así se tomaron las alternativas que son técnicamente viables.

Con las alternativas técnicas se procedió a adquirir información de varios criterios tomando en cuenta los materiales necesarios y los equipos que se necesitarían para la colocación de cada una.

Para poder seleccionar la alternativa más viable se realizaron las siguientes tablas, en la tabla 14 se puede encontrar los criterios tomados en cuenta para las alternativas de tratamiento junto con el porcentaje que representa la importancia de este criterio en este estudio. Con ayuda de la tabla 15, se compararon las alternativas entre sí de acuerdo con los criterios, por lo que se proporcionó un número de 1 al 5 siendo 1 desfavorable y 5 viable.

Para determinar qué tipo alternativa de desinfección tanto la dosificación como el tipo de producto, se acudió a bibliografía y a técnicas más utilizadas en el Ecuador, así como también se buscó costos y viabilidad del método. Para ello se comparó con cinco criterios como indica la tabla 16 y 18; en las tablas 17 y 19 se contrastaron las alternativas entre sí mediante números del 1 al 5, siendo 1 desfavorable y 5 viable.

Tabla 14. Criterios para escoger el diseño de las alternativas de tratamiento

Criterios	Porcentaje
Área ocupada	10%
Eficiencia de remoción	35%
Costos	25%
Mantenimiento	10%
Manejo operativo	20%

Tabla 15. Descripción y detalle de los criterios

Criterios	Descripción	Detalle de la puntuación
Área ocupada	Es el espacio físico usado por la estructura del sistema, considerando que este espacio no se encuentra en el actual sistema	1: 50 a 80 m ²
		2: 50 a 30 m ²
		3: 30 a 15 m ²
		4: 15 a 5 m ²
		5: No necesita nueva área
Eficiencia de remoción	Capacidad que tiene el sistema para remover los agentes contaminantes que posee el agua.	1: Nada eficiente
		2: Poco eficiente
		3: Medio
		4: Eficiente
		5: Muy eficiente
Costos	Valor total que se necesita para la implementación el sistema.	1: 20 000 a 15 000
		2: 15 000 a 10 000
		3: 10 000 a 5 000
		4: 5 000 a 1 000
		5: 500 a 1000
Mantenimiento	Operaciones necesarias para mantener el sistema en funcionamiento, tomando en cuenta el tiempo, facilidad de a los conocimiento necesarios del operador.	1: Requiere conocimientos técnicos, mantenimiento 1 vez al semana.
		2: Requiere conocimientos técnicos, mantenimiento 2 veces al mes.
		3: Requiere conocimientos técnicos, mantenimiento 3 veces al años

Continúa en la siguiente página

		4: No requiere conocimientos técnicos, mantenimiento 2 veces al años
		5: No requiere conocimientos técnicos, mantenimiento 1 vez al años
Manejo operativo	Cantidad de trabajo que debe realizar el operador para que el sistema se mantenga en funcionamiento.	1: Presencia las 24h
		2: Presencia al menos 12h al día
		3: Presencia al menos 8 h al día
		4: Presencia al menos 1 h al día
		5: Presencia únicamente en mantenimiento y emergencias

Tabla 16. Criterios para el tipo de producto en la desinfección

Criterios	Porcentaje
Facilidad de manejo	25%
Estabilidad en el tiempo	30%
Contenido de cloro	30%
Costo del producto	15%

Tabla 17. Comparación de alternativas para escoger el tipo de producto en la desinfección

Criterios	Descripción	Detalle de la puntuación
Facilidad de manejo	Tiempo, recursos, mano de obra y personal necesarios para la utilización del producto.	1: Muy sencillo
		2: Sencillo
		3: Medio
		4: Difícil
		5: Muy difícil
Estabilidad en el tiempo	Tiempo en que el producto se queda diluido en el agua y se mantiene en la distancia	1: Muy baja
		2: Baja
		3: Media
		4: Buena
		5: Muy buena
Contenido de cloro	Concentración de cloro activo que contienen las diferentes formas comerciales del cloro.	1: Del 1 al 20%
		2: del 20 al 40%

Continúa en la siguiente página

		3: Del 40 al 60%
		4: Del 60 al 80 %
		5: Del 80 al 100 %
Costo del producto	Precio por kilogramo de producto. Valor considera de acuerdo a las cotizaciones	1: \$ 20 o más
		2: \$ 15 a 20
		3: \$ 12 a 15
		4: \$ 1 a 12
		5: menos de \$ 1

Tabla 18. Criterios para la dosificación de cloro en la desinfección

Criterios	Porcentaje
Precisión y confiabilidad	40%
Facilidad de montaje	10%
Área ocupada	20%
Operación y Mantenimiento	10%
Costo del sistema	20%

Tabla 19. Comparación entre alternativas para la dosificación de cloro

Criterios	Descripción	Detalle de la puntuación
Precisión y confiabilidad	Los datos tomados sean lo más cercanos a la realidad y tengan la menor cantidad de errores	1: Ni preciso ni confiable
		2: Poco preciso y poco confiable
		3: Poco preciso y confiable
		4: Preciso y poco confiable
		5: Muy preciso y muy confiable
Facilidad de montaje	Tiempo, recursos, mano de obra y personal necesarios para poner en funcionamiento el sistema.	1: Muy sencillo
		2: Sencillo
		3: Medio
		4: Difícil
		5: Muy difícil

Continúa en la siguiente página

Área ocupada	Espacio necesario para el sistema de dosificación completo.	1: 25 a 50 m ²
		2: 15 a 25 m ²
		3: 10 a 15 m ²
		4: 5 a 10 m ²
		5: 1 a 5 m ²
Operación y Mantenimiento	Operaciones necesarias para mantener el sistema en funcionamiento, tomando en cuenta el tiempo, facilidad de a los conocimientos necesarios del operador.	1: Muy difícil
		2: Difícil
		3: Medio
		4: Sencillo
		5: Muy sencillo
Costo del sistema	Éste incluye todos los materiales, equipos y tipos de producto que se necesita para el sistema de dosificación.	1: \$ 2 000 a 1 000
		2: \$ 500 a 1 000
		3:\$ 500 a 300
		4: \$ 300 a 100
		5:\$ 100 a 50

2.4. Presentación de alternativas

Se realizó un análisis técnico de todo el sistema de abastecimiento de agua, las cuales fueron importantes las siguientes.

2.4.1. Exposición de alternativa seleccionada

Se utilizó el método de facilitación, que permite realizar varias dinámicas con retroalimentación colocadas en forma de cronograma, esta técnica ayudó a que las personas saquen conclusiones por sí mismas, evitando los problemas ocasionados por la técnica de exposición tradicional. En la tabla 20, se muestra el cronograma que se siguió en la facilitación a la comunidad para presentar las alternativas que se estudiaron durante el proyecto y cuál fue la seleccionada de acuerdo con el estudio realizado, la misma tiene una duración de 1 hora aproximadamente.

Tabla 20. Cronograma de facilitación

Técnica	Materiales	Nº personas	Tiempo	Descripción	Objetivo	Facilitadoras
Mesa redonda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sillas ○ Mesa 	10 a 20	5 a 10 min	Las facilitadoras acomodaron las sillas en forma circular con una mesa en el centro e invitaron a los participantes a tomar asiento. Una vez todos estuvieron sentados se describieron el tema y las razones para la reunión	Introducir a los participantes al tema principal	Karen Sánchez Diana Betancourth
La telaraña	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ovillo de lana 	10 a 20	5 a 10 min	Se organizó a los participantes en un círculo, uno de los ellos agarró la punta del ovillo y lo arrojó a otra persona, pero mientras hacia esta actividad mencionó en voz alta su nombre y la expectativa que tiene del evento. A medida que fue arrojando el ovillo, se formó una especie de telaraña. Seguidamente, se desenredó la telaraña, para lo cual se siguió el mismo procedimiento y el orden anterior, con la diferencia de que en esta oportunidad la persona que inicia el juego (del desenredo) es la última persona que agarró el ovillo de lana, la cual debe arrojar el ovillo a la persona que anteriormente	Presentarse entre facilitador y participantes y romper el hielo para iniciar el evento.	Karen Sánchez Diana Betancourt

Continúa en la siguiente página

				le lanzó y mientras lo hace debe mencionar en voz alta el nombre y la expectativa del compañero(a) anterior que le pasó el ovillo.		
Ser humano-Naturaleza	<ul style="list-style-type: none"> ○ Imágenes ○ Cinta adhesiva ○ Foto familia 	10-20	10 a 15 min	La facilitadora proyectó un dibujo de la familia a la vista de todos los participantes. Lo cual permitió preguntar ¿qué necesita esta familia para vivir? , los participantes respondieron algunas de las necesidades básicas de la familia, por ejemplo, “agua”, “leña”, “alimentos”, etc. A continuación, se discutió sobre la importancia de tener agua para obtener cada necesidad. Después se realizó la siguiente pregunta ¿Qué retribución hacemos para mantener este recurso? Y se discutió las respuestas obtenidas.	Mostrar la importancia que tiene el recurso hídrico en la vida diaria. Reflexionar sobre las acciones que se deben realizar para cuidar el recurso hídrico.	Karen Sánchez Diana Betancourt
Descanso	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sánduche ○ Vasos ○ Gaseosas ○ Servilletas 	10-20	15 a 20 min	Las facilitadoras repartieron los sánduches y las gaseosas a los participantes, mientras la comunidad se sirvió el refrigerio se dialogó con la comunidad ya que tenían algunas preguntas que se quedaron con algunas inquietudes durante la exposición.	Descansar de las actividades realizadas y conseguir un ambiente de mayor confianza.	Karen Sánchez Diana Betancourth

Continúa en la siguiente página

Exposición	<ul style="list-style-type: none"> ○ Carteles ○ Cinta adhesiva ○ Imágenes 	10 a 20	10 a 15 min	<p>Se realizaron las preguntas ¿Qué agua tomas?, ¿Por qué no bebes el agua deel grifo?, con el fin de que la comunidad se involucre un poco más con el tema tratado.</p> <p>Se presentaron las alternativas para solucionar las razones por las cuales no beben agua deel grifo. Después se presentaron las ventajas y desventajas de cada alternativa para finalizar con la presentación de la elección de la mejor opción de tratamiento para la comunidad.</p> <p>Se realizó un compromiso escrito con los participantes y se colocó en un lugar visible para toda la comunidad, esto permitió que los moradores se acerquen y dejen una firma de compromiso</p>	Mostrar a los participantes las alternativas de tratamiento analizadas con anterioridad	<p>Karen Sánchez</p> <p>Diana Betancourth</p>
------------	--	---------	-------------	--	---	---

3. Resultados y discusión

3.1. Medición de caudal

Tabla 21. Datos y resultados de la medición del caudal

Datos para la obtención del caudal		
Medición 1	Medición 2	Medición 3
Volumen: 2 l	Volumen: 2 l	Volumen: 2 l
Tiempo: 0,261 s	Tiempo: 0,240 s	Tiempo: 0.250 s
Caudal: 7.662 l/s	Caudal: 8.333 l/s	Caudal: 8.0 l/s

De acuerdo con las determinaciones del caudal que se encuentran en la tabla 21, se procedió a realizar un promedio de los tres valores lo cual dio como resultado un caudal de **8 l/s**.

3.2. Calidad del agua

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización de los diferentes puntos de muestreo, se procedió a compararlos con los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico de la norma de calidad ambiental del LIBRO VI ANEXO 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiental (TULSMA) y con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 1108:2011 - para agua potable.

Los resultados fueron obtenidos ya sea en forma directa por medio de un equipo o, por medio de ecuaciones para obtener el resultado adecuado. Las ecuaciones utilizadas se especifican en el ANEXO VI.

Las siguientes tablas expuestas son los resultados de cada uno de los puntos de muestreo con su respectiva comparación, los parámetros que no aplican según las normativas se realizaron por pedido de la comunidad, para poder comparar con análisis anteriormente realizados, además de que los sólidos son los parámetros que más preocupaba a la comunidad, debido a que en épocas de lluvia el agua llegaba a sus casas de color grisácea.

Tabla 22. Resultados de la caracterización-Ojo de agua

Punto 1							
Parámetro	Expresión	Unidad	Valores Obtenidos	Límite máximo permisible (TULSMA)	Cumplimiento	Límite máximo permisible (INEN 1108)	Cumplimiento
Conductividad		µs	60	-	No aplica	-	No aplica
Color		Pt-Co	13	75	Cumple	15	Cumple
Potencial Hidrogeno	pH		6,12	6 - 9	Cumple	-	No aplica
Sólidos Totales	ST	mg/L	0,193	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Disueltos	SD	mg/L	0,190	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Suspendidos	Ss	mg/L	0,003	-	No aplica	-	No aplica
Temperatura		°C	9,2	-	No aplica	-	No aplica
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	1,65	100	Cumple	5	Cumple
Cloruros	Cl	mg/L	1,021	-	No aplica	-	No aplica
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	0,82	< 2	Cumple	-	No aplica
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	3,4	< 4	Cumple	-	No aplica
Dureza total	CaCO ₃	mg/L	34,03	-	No aplica	-	No aplica

Continúa en la siguiente página

Dureza Cálcica	Ca 2+	mg/L	33,03	-	No aplica	-	No aplica
Dureza Magnésica	Mg 2+	mg/L	1,00	-	No aplica	-	No aplica
Fluoruro	F ⁻	mg/L	0,04	1,5	Cumple	1,5	Cumple
Nitratos	NO ₃	mg/L	0,85	50	Cumple	50	Cumple
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,004	0,2	Cumple	3,0	Cumple
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	4,51	-	No aplica	-	No aplica
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	0	1000	Cumple	< 1,1* < 1**	Cumple

< 1,1 *, significa que en el ensayo del NMP utilizado 5 tubos de 20 cm³ o 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo.

< 1 ** significa que no se observan colonias

Tabla 23. Resultados de la caracterización- Punto de conexión

Punto 2							
Parámetro	Expresión	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible (TULSMA)	Cumplimiento	Límite máximo permisible (INEN 1108)	Cumplimiento
Conductividad		µs	61	-	No aplica	-	No aplica
Color		Pt-Co	14	75	Cumple	15	Cumple
Potencial Hidrogeno	pH		6,0	6 - 9	Cumple	-	No aplica
Sólidos Totales	ST	mg/L	0,195	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Disueltos	SD	mg/L	0,192	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Suspendidos	Ss	mg/L	0,003	-	No aplica	-	No aplica
Temperatura		°C	9,1	-	No aplica	-	No aplica
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	1,62	100	Cumple	5	Cumple
Cloruros	Cl	mg/L	0,784	-	No aplica	-	No aplica
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	8,2	< 2	No cumple	-	No aplica
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	34	< 4	No cumple	-	No aplica
Dureza total	CaCO ₃	mg/L	28,025	-	No aplica	-	No aplica
Dureza Cálcica	Ca 2+	mg/L	20,018	-	No aplica	-	No aplica

Continúa en la siguiente página

Dureza Magnésica	Mg 2+	mg/L	8,007	-	No aplica	-	No aplica
Fluoruro	F ⁻	mg/L	0,19	1,5	Cumple	1,5	Cumple
Nitratos	NO ₃	mg/L	1,05	50	Cumple	50	Cumple
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,004	0,2	Cumple	3,0	Cumple
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6,97	-	-	-	-
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	0	1000	Cumple	< 1,1* < 1**	Cumple

< 1,1 *, significa que en el ensayo del NMP utilizado 5 tubos de 20 cm³ o 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo.

< 1 ** significa que no se observan colonias

TABLA 24. Resultados de la caracterización-Tanques de almacenamiento

Punto 3							
Parámetro	Expresión	Unidad	Resultados Obtenidos	Límite máximo permisible (TULSMA)	Cumplimiento	Límite máximo permisible (INEN 1108)	Cumplimiento
Conductividad		μs	92,4	-	No aplica	-	No aplica
Color		Pt-Co	13	75	Cumple	15	Cumple
Potencial Hidrogeno	pH		6,12	6 - 9	Cumple	-	No aplica
Sólidos Totales	ST	mg/L	0,870	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Disueltos	SD	mg/L	0,866	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Suspendidos	Ss	mg/L	0,004	-	No aplica	-	No aplica
Temperatura		°C	10,2	-	No aplica	-	No aplica
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	1,74	100	Cumple	5	Cumple
Cloruros	Cl	mg/L	0,357	-	No aplica	-	No aplica
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	3,2	< 2	No cumple	-	No aplica
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	12,5	< 4	No cumple	-	No aplica
Dureza total	CaCO ₃	mg/L	70,064	-	No aplica	-	No aplica
Dureza Cálctica	Ca 2+	mg/L	27,025	-	No aplica	-	No aplica

Continúa en la siguiente página

Dureza Magnésica	Mg 2+	mg/L	43,039	-	No aplica	-	No aplica
Fluoruro	F ⁻	mg/L	0,12	1,5	Cumple	1,5	Cumple
Nitratos	NO ₃	mg/L	0,75	50	Cumple	50	Cumple
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,009	0,2	Cumple	3,0	Cumple
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6,48	-	No aplica	-	No aplica
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	5,48	1000	Cumple	< 1,1* < 1**	Cumple

< 1,1 *, significa que en el ensayo del NMP utilizado 5 tubos de 20 cm³ o 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo.

< 1 ** significa que no se observan colonias

Tabla 25. Resultados de la caracterización-casa más cercana

Punto 4							
Parámetro	Expresión	Unidad	Resultados Obtenidos	Límite máximo permisible (TULSMA)	Cumplimiento	Límites máximos permisibles (INEN 1108)	Cumplimiento
Conductividad		μs	101,8	-	No aplica	-	No aplica
Color		Pt-Co	14,1	75	Cumple	15	Cumple
Potencial Hidrogeno	pH		6,3	6 - 9	Cumple	-	No aplica
Sólidos Totales	ST	mg/L	1,001	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Disueltos	SD	mg/L	0,996	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Suspendidos	Ss	mg/L	0,005	-	No aplica	-	No aplica
Temperatura		°C	11,8	-	No aplica	-	No aplica
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	1,98	100	Cumple	5	Cumple
Cloruros	Cl	mg/L	0,476	-	No aplica	-	No aplica
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	11,2	< 2	No cumple	-	No aplica
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	18,5	< 4	No cumple	-	No aplica
Dureza total	CaCO ₃	mg/L	28,025	-	No aplica	-	No aplica
Dureza Cálceica	Ca 2+	mg/L	55,050	-	No aplica	-	No aplica

Continúa en la siguiente página

Dureza Magnésica	Mg 2+	mg/L	0	-	No aplica	-	No aplica
Fluoruro	F ⁻	mg/L	0,35	1,5	Cumple	1,5	Cumple
Nitratos	NO ₃	mg/L	0,6	50	Cumple	50	Cumple
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,005	0,2	Cumple	3,0	Cumple
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6,85	-	No aplica	-	No aplica
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	5,48	1000	Cumple	< 1,1* < 1**	Cumple

< 1,1 *, significa que en el ensayo del NMP utilizado 5 tubos de 20 cm³ o 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo.

< 1 ** significa que no se observan colonias

TABLA 26. Resultados de la caracterización-Casa más lejana

Punto 5							
Parámetro	Expresión	Unidad	Resultados Obtenidos	Límite máximo permisible (TULSMA)	Cumplimiento	Límites máximos permisibles (INEN 1108)	Cumplimiento
Conductividad		µs	69,5	-	No aplica	-	No aplica
Color		Pt-Co	0,5	75	Cumple	15	Cumple
Potencial Hidrogeno	pH		6,03	6 - 9	Cumple	-	-
Sólidos Totales	ST	mg/L	0,248	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Disueltos	SD	mg/L	0,243	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Suspendedos	Ss	mg/L	0,005	-	No aplica	-	No aplica
Temperatura		°C	9,2	-	No aplica	-	No aplica
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	2	100	Cumple	5	Cumple
Cloruros	Cl	mg/L	1,191	-	No aplica	-	No aplica
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	0,28	< 2	Cumple	-	No aplica
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	9	< 4	No cumple	-	No aplica
Dureza total	CaCO ₃	mg/L	26,024	-	No aplica	-	No aplica
Dureza Cálceica	Ca 2+	mg/L	13,012	-	No aplica	-	No aplica

Continúa en la siguiente página

Dureza Magnésica	Mg 2+	mg/L	13,012	-	No aplica	-	No aplica
Fluoruro	F ⁻	mg/L	0,16	1,5	Cumple	1,5	Cumple
Nitratos	NO ₃	mg/L	1,8	50	Cumple	50	Cumple
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,013	0,2	Cumple	3,0	Cumple
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6,15	-	No aplica	-	No aplica
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	0	1000	Cumple	< 1,1* < 1**	Cumple

< 1,1 *, significa que en el ensayo del NMP utilizado 5 tubos de 20 cm³ o 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo.

< 1 ** significa que no se observan colonias

TABLA 27. Resultados de la caracterización-Toma de emergencia

Punto 6							
Parámetro	Expresión	Unidad	Resultados Obtenidos	Límite Máximo permisible (TULSMA)	Cumplimiento	Límites máximos permisibles (INEN 1108)	Cumplimiento
Conductividad		µs	62,1	-	No aplica	-	No aplica
Color		Pt-Co	7,5	75	Cumple	15	Cumple
Potencial Hidrogeno	pH		6,43	6 - 9	Cumple	-	No aplica
Sólidos Totales	ST	mg/L	0,209	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Disueltos	SD	mg/L	0,204	-	No aplica	-	No aplica
Sólidos Suspendidos	Ss	mg/L	0,006	-	No aplica	-	No aplica
Temperatura		°C	11,7	-	No aplica	-	No aplica
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	2,22	100	Cumple	5	Cumple
Cloruros	Cl	mg/L	0,851	-	No aplica	-	No aplica
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	Debajo del límite detectable	< 2	Cumple	-	No aplica
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	12,5	< 4	No cumple	-	No aplica
Dureza total	CaCO ₃	mg/L	27,025	-	No aplica	-	No aplica

Continúa en la siguiente página

Dureza Cálctica	Ca 2+	mg/L	13,012	-	No aplica	-	No aplica
Dureza Magnésica	Mg 2+	mg/L	14,013	-	No aplica	-	No aplica
Fluoruro	F ⁻	mg/L	0,23	1,5	Cumple	1,5	Cumple
Nitratos	NO ₃	mg/L	0,95	50	Cumple	50	Cumple
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,035	0,2	Cumple	3,0	Cumple
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	7,29	-	No aplica	-	No aplica
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	5,48	1000	Cumple	< 1,1* < 1**	Cumple

< 1,1 *, significa que en el ensayo del NMP utilizado 5 tubos de 20 cm³ o 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo.

< 1 ** significa que no se observan colonias

A continuación, se presenta la relación y la variación que tienen los parámetros a medida que el agua recorre por los puntos de muestreo seleccionados:

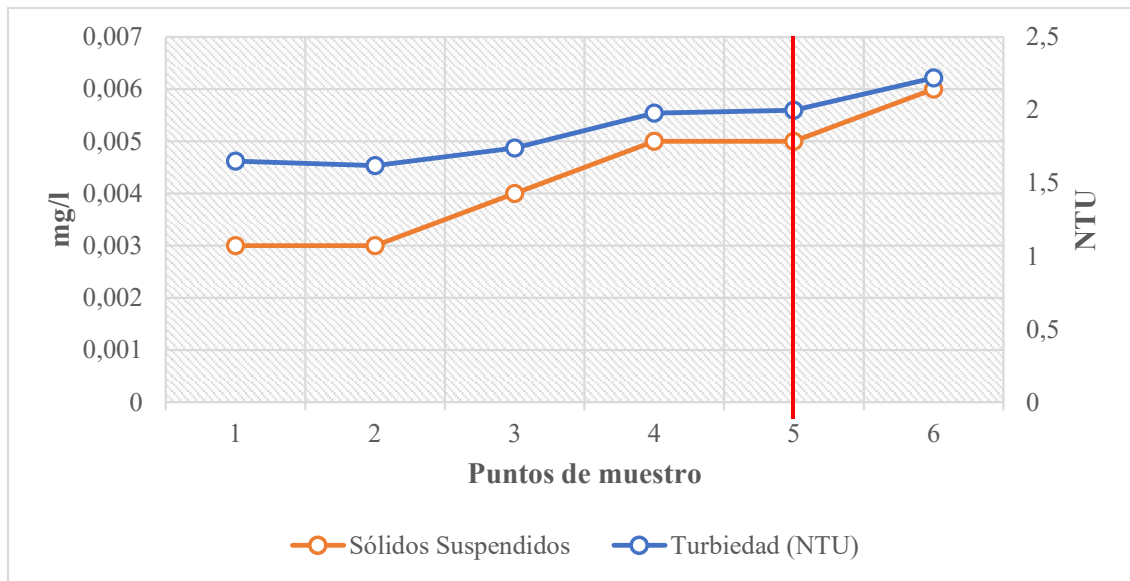


Figura 20. Variación de la turbiedad vs sólidos suspendidos desde el punto 1 al 5

De acuerdo a la figura 20, se observa que si la cantidad de sólidos suspendidos es mayor, mayores serán los valores de la turbiedad.

Por lo tanto en el punto 1 se observa que tanto los sólidos como la turbiedad se estabilizan hasta llegar al punto 2, pero desde este punto sube la cantidad de sólidos y turbiedad debido a la escorrentía del agua por el suelo, el agua va atrapando material suspendido hasta el punto 4 y, para el punto 5 el valor de los sólidos es baja ya que el fluido tiene varios metros de recorrido y esto hace que las partículas se vayan quedando a lo largo del mismo o que sean imprescindibles.

Además, se muestra que la cantidad de sólidos suspendidos y turbiedad existentes son valores muy bajos, lo cual no causan ningún tipo de problemática en la red, permitiendo a los consumidores utilizar el recurso con normalidad.

A pesar de que no sea un parámetro que causa problemática, el problema se genera en épocas de lluvias fuertes ya que afecta al sistema de captación y conducción debido a deslizamientos de tierra, esta tierra convertida en lodo ingresa al sistema hasta colapsar e ingresar a la red de distribución domiciliaria.



Figura 21. Sedimentos en tanque de almacenamiento

En la siguiente figura 21 se indica la cantidad de solidos que llegan al tanque de almacenamiento tras un día de haber limpiado el mismo.

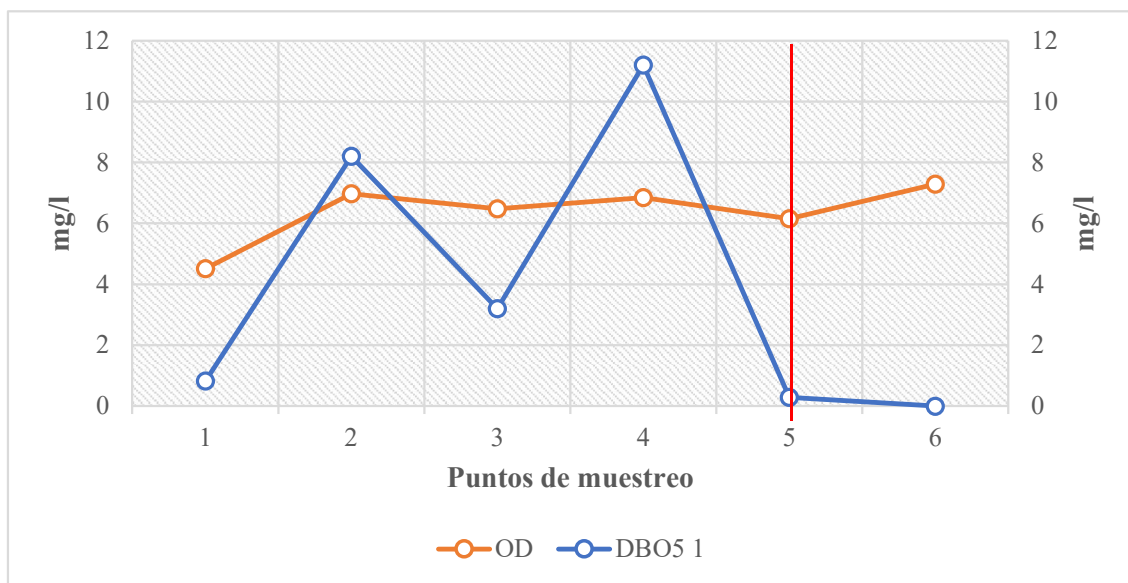


Figura 22. Variación de la DBO₅ vs OD del punto 1 al 5

De acuerdo a los análisis realizados, se determinó que la DBO₅ no cumple con el valor máximo permisible del TULSMA en los puntos 2, 3 y 4; y el OD no aplica para ninguna de las dos normativas utilizadas, sin embargo fue de utilidad para observar la variación que tiene con la DBO₅.

En la figura 22, se puede observar que mientras aumenta la DBO₅ menor es el resultado del OD, y mientras mayor es el valor del OD menor es el resultado de la DBO₅; esto da una idea general de que el agua está contaminada con algún factor externo y contiene materia orgánica debido a la

degradación de plantas, microorganismos que estuvieron vivos en algún momento y por la existencia de ganado aguas arriba.

Todo este material que causa contaminación se une a la escorrentía de la vertiente, de tal manera que se infiltra al punto 1 con concentración de DBO_5 muy baja, de igual manera dicha vertiente se une con los afloramientos y con la materia orgánica que se encuentran a lo largo del recorrido hasta ingresar al punto 2, por ende sigue fluyendo por los puntos 3 y 4; esto hace que desde el punto 2 al 4 los valores sobrepasen el límite permisible.

En el punto 4 se determinó la mayor cantidad de materia orgánica con respecto a los otros puntos, esto da una idea de que existe contaminación ingresando al mismo, lo que evidencia que las tuberías del hogar necesitan ser reemplazadas ya que estas se encuentran deterioradas por estar en la intemperie, o por posibles rupturas las que dejan que contaminantes externos ingresen a la red.

En las casas más lejanas a la captación se reducen los parámetros críticos debido a la depuración natural que realiza el agua a medida que avanza por la tubería de distribución, es por esto que en el punto 5 se obtuvo el menor valor en consideración a los demás.

En el punto 6 los valores de la caracterización se encuentran dentro del rango permisible de las normativas, esto nos da una idea de que la tubería está en buenas condiciones y que aún se encuentra dentro del tiempo de vida útil.

De acuerdo a lo expuesto, es necesario la disminución de DBO_5 en los puntos que exceden este valor para la posterior desinfección con cloro, ya que de no hacerlo la materia orgánica y el cloro reaccionan formando los compuestos trihalometanos, la cantidad y proporción de estos dependerá de la cantidad de cloro añadido.

Dichos compuestos pueden incorporarse al cuerpo humano mediante ingesta directa de agua del grifo, por evaporación de agua y absorción dérmica durante el baño en ducha o piscina, los cuales causan cáncer a largo plazo. Por ende, este es el principal factor que debe disminuir para su posterior desinfección.

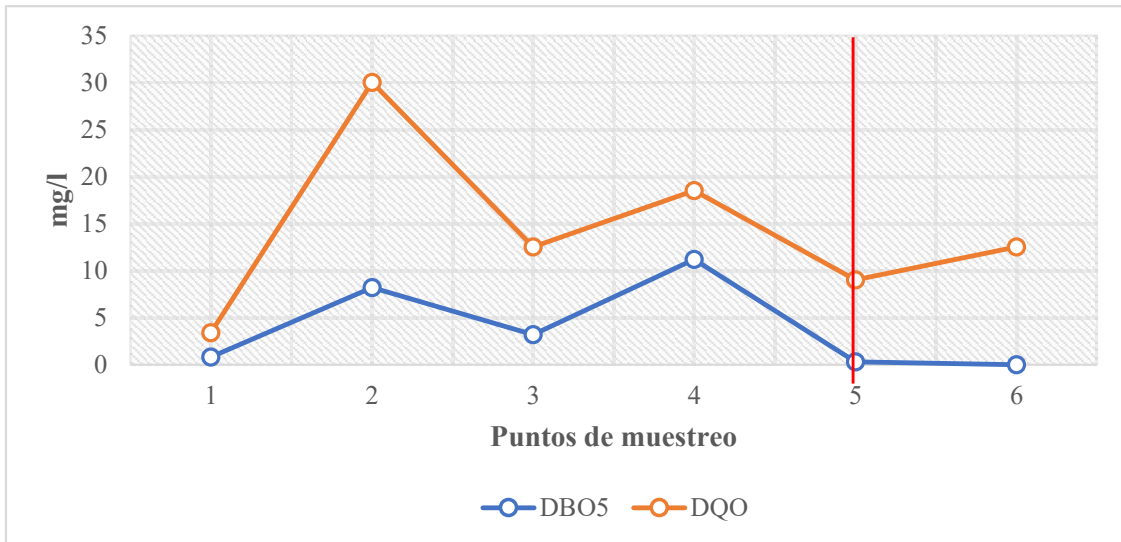


Figura 23. Variación de la DQO vs DBO₅

Otro de los parámetros fuera del límite máximo permisible es la DQO en los puntos 2, 3, 4, 5 y 6; lo cual va de la mano de la DBO₅ ya que la DQO siempre se encuentra en rangos más elevados a la DBO.

Este parámetro nos da una idea de la existencia de material degradable y biodegradable en el agua de manera química e informa la existencia de contaminantes en el recurso.

En la figura 23, se observa que el punto dos tiene el mayor valor de DQO en consideración a los otros resultados, esto indica que la materia biodegradable conforma la mayor parte con relación a la degradable. En los otros puntos se observa que la DBO como la DQO se encuentra de manera proporcional.

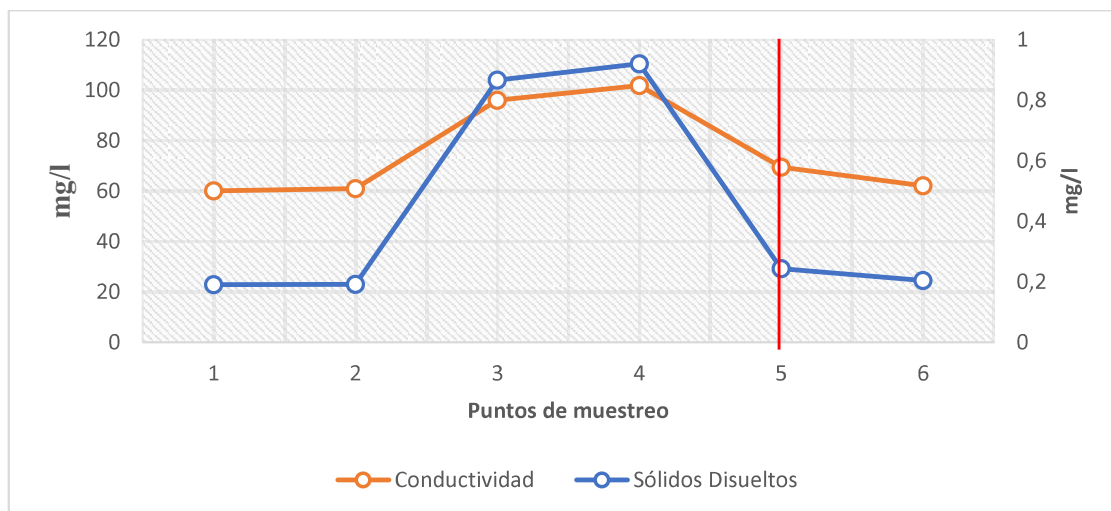


Figura 24. Variación de la conductividad vs sólidos disueltos

La conductividad permitió medir indirectamente la cantidad de sólidos disueltos en las muestras de agua, por lo tanto si el agua contiene un número mayor de iones disueltos, mayor será el resultado de la conductividad.

De acuerdo al análisis de resultados se observa en la figura 24 que en cada uno de los puntos, la conductividad es directamente proporcional a los sólidos disueltos, en los puntos 3 y 4 se observa que los valores son más altos en comparación de los otros, sin embargo son valores no aplicables para las normativas utilizadas, pero fueron totalmente para tener una idea de que los análisis realizados en el 2010 por la junta de agua fueron correctos.

Tabla 28. Resultados del pH en los puntos de muestreo

Puntos	Resultados obtenidos	Límite Máximo permisible (TULSMA)	Cumplimiento
1	6,12	6 – 9	Cumple
2	6,0	6 – 9	Cumple
3	6,12	6 – 9	Cumple
4	6,3	6 – 9	Cumple
5	6,03	6 – 9	Cumple
6	6,43	6 – 9	Cumple

En la tabla 28, se muestra los valores obtenidos del análisis de pH que a pesar de estar en el rango permisible se encuentran en el límite, si es que llegase a bajar del límite es necesario controlarlo. La desinfección alcaliniza el agua, lo que puede ayudar a que el pH se normalice y se mantenga dentro del rango.

3.3. Evaluación de alternativas

3.2.1. Técnica

El diagnóstico que se realizó al sistema de abastecimiento y al flujo actual demostró que posee algunos problemas en sus diferentes etapas, por lo cual se plantearon las siguientes alternativas para mejora que se describen a continuación:

Tabla 29. Alternativas de propuestas de tratamiento

Criterios	Tratamiento Primario	Tratamiento primario y secundario	Mejora de la captación y conducción
Área ocupada	2	1	5
Eficiencia de remoción	3	5	4

Continúa en la siguiente página

Costos*	4	2	5
Mantenimiento	4	4	4
Manejo operativo	4	4	5
Total	3.4	3.7	4.5

*El criterio de costos está basado en la tabla 32.

Adicionalmente, se propone un sistema de desinfección ya que no se dispone de ningún tipo de tratamiento, para ello se planteó las siguientes alternativas como las más viables, las mismas que serán evaluadas técnica y económicamente de acuerdo como se describe en las siguientes tablas 30 y 31:

Tabla 30. Comparación de alternativas del tipo de producto en la desinfección

Criterios	Cloro gas	Hipoclorito de sodio 250 kg	Hipoclorito de calcio en pastillas 25 kg
Facilidad de manejo	4	2	2
Estabilidad en el tiempo	5	4	2
Contenido de cloro	5	1	4
Costo del producto	2	5	4
Total	4.3	2.8	2.9

*Criterio de costos basado en la tabla 33.

Tabla 31. Alternativas propuestas para la dosificación

Criterios	Dosificación de cloro en pastillas	Dosificación automatizada con hipoclorito de sodio	Dosificación automatizada con cloro gas
Precisión y confiabilidad	2	3	5
Facilidad de manejo	3	3	5
Área ocupada	5	3	2
Operación y Mantenimiento	4	3	2
Costo del sistema	4	3	1
Total	2.9	2.71	3.15

*Criterio de costos basado en la tabla 33.

3.2.2. Económica

La estimación de costos fue calculada mediante cotizaciones de empresas privadas y criterios de tesis especificadas en cada alternativa, las cotizaciones se especifican en el ANEXO X.

Tabla 32. Comparación de costos de las alternativas de tratamiento

Alternativa	Costos Materiales	Costos mano de obra	Costo total
Tratamiento Primario	\$ 1 500,00	\$ 300,00	\$ 1 800,00
Tratamiento primario y secundario	\$ 10 500,00	\$ 600,00	\$ 11 100,00
Mejora de la captación y conducción	\$ 900,00	\$ 50,00	\$ 950,00

Tabla 33. Comparación de costos de las alternativas de desinfección

Alternativa	Costos del producto	Costo de materiales e implementación
Dosificación de gas cloro	\$ 850, 00 = 1 tanque con 50 kg de contenido	\$ 1500,00
Dosificación automatizada con hipoclorito de sodio	\$ 0,55 = 1 kg	\$ 200,00
Dosificación automatizada con hipoclorito de calcio en pastillas	\$ 0, 25 = cada pastilla de 20 g	\$ 300,00

3.3. Selección de la mejor alternativa

A partir del estudio realizado, se determina que la alternativa a utilizar para el caso de la junta de agua es la de mejorar la captación y distribución de agua de consumo. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta la desinfección como parte del tratamiento, así se explica la alternativa a continuación:

3.3.1. Mejoramiento de la captación y la conducción

En esta etapa es necesario brindar un mejoramiento a la infraestructura, de tal manera que el tanque de la captación sea herméticamente cerrado, esto evitara la contaminación del recurso debido a fuentes externas (ingreso de la vertiente). Constará de una nueva tapa que facilite la manipulación más sencilla pero que permita la protección total de ingreso de contaminantes, una cámara húmeda donde se almacena el recurso y una cámara que contenga válvulas, las mismas que facilitarán las labores de inspección y/o limpieza.

Por otra parte, es necesario construir tanques de captación en todos los afloramientos que existen en el transcurso de la red con el fin de que no tengan contacto con otras fuentes externas contaminadas. Además, la construcción de un canal de escurrimiento aguas arriba para evitar el ingreso de esta agua superficial a la captación, de igual manera unas cunetas para desviar las aguas

lluvias que se quedan estancadas o fluyen hacia el sistema de captación. Esto evitará colapsos en cualquier parte de la red y el ingreso de sedimentos hasta las viviendas.

Además, las tuberías serán enterradas, cuando los terrenos sean rocosos se debe profundizar la excavación a unos 10 a 20 cm y encima del mismo se debe colocar 10 cm arena, con el fin de proteger el sistema de tuberías (IEOS, 1999).

Por lo tanto, al ser unos afloramientos que provienen del suelo, es necesario realizar captaciones de fondo y concentrado en cada sección que se necesite, lo cual se detalla sus dimensiones y diseño hidráulico a continuación, sin embargo las ecuaciones y proceso de cómo se obtuvo cada característica se encuentra en el ANEXO VII y en el ANEXO VIII se encuentra el gráfico el cual representa el modelo del tanque de captación

Tabla 34. Dimensiones y diseño hidráulico de la captación

Diseño de fondo y concentrado		
Cámara húmeda	Ancho de pantalla	Establecido por la junta
	Altura total	Ht = 57 cm
	Altura requerida	H = 0,029 cm
Canastilla	Longitud	L=28 cm
	Diámetro	$D_{canastilla} = 4 \text{ pulgadas}$
	Numero de ranuras	178
	Área de ranuras	$At = 0,0062 \text{ m}^2$
	Área de ranura	$Ar = 0,000035 \text{ m}^2$
Tubería de rebose y limpia	Diámetro	1,5 pulgadas
Cámara seca	Altura	0,60 m
	Espesor	0,15 m
	Ancho	Igual que la cámara húmeda

Gracias al mejoramiento de esta etapa, la materia orgánica será eliminada en su totalidad, lo que permitirá que este contaminante no cause problemática a la hora de la cloración. Es por esto que se recomienda, que la primera obra a realizarse sea la descrita en párrafos anteriores, luego de esto es necesario un nuevo análisis fisicoquímico para la detección de los parámetros fuera del límite permisible, y si estos ya se encuentran dentro del rango, se podrá realizar el sistema de cloración.

3.3.2. Dosificación con cloro gas

La dosificación con cloro gas, se realizará una vez reducidos los valores que exceden el límite máximo permisible de la DBO5 y de la DQO.

La alternativa más viable escogida técnicamente es el cloro gaseoso, ya que de acuerdo al análisis realizado este es más eficiente que el hipoclorito de sodio y el cloro en pastillas, debido a su poder de dispersión con mayor facilidad y de mantenerse con el tiempo.

La aplicación de un sistema de dosificación es necesario para que calidad el agua mejore, por lo que, de acuerdo con la comparación y análisis realizado a las alternativas antes mencionadas, la opción más viable es la aplicación de un sistema de dosificación de cloro gas, y gracias a la colaboración de un sistema automático por parte de una empresa a la Junta de agua, se procede a explicar el diseño, dimensionamiento y principales características que debe tener dicho sistema.

Esta etapa funcionará mediante un sistema de lazo cerrado de tal manera que considere el caudal y el cloro libre residual, el sistema automatizado tiene gran beneficio en la eficiencia de trabajo permitiendo que el desinfectante esté presente en todo momento.

Un sistema de cloración inicialmente dosifica en función del caudal de ingreso luego de que completa la reacción con el cloro entra en funcionamiento con el sensor de cloro libre, el mismo que enviará una señal de retroalimentación al analizador para comandar la válvula automática.

Componentes esenciales

Tabla 35. Componentes del sistema de dosificación

Componente	Descripción
Clorador	Debe contar con una manguera de ventilación
El inyector	Es tipo Venturi, el cual permite la succión de cloro a través de una línea de vacío, luego sale a través de la boquilla hacia el agua.
Cilindros con cadena de protección	Se necesitan mínimo 3 cilindros de reserva, el cilindro a elegir debe tener un fisible de escape de gas en casos de emergencia.
Válvula de control	Permite el control del paso del gas hacia el inyector. Se debe realizar un mantenimiento continuo ya que a menudo se tapona con impurezas del cloro
Medidor de caudal	Este en un tubo de vidrio que indica el paso del gas a través del equipo.

Continúa en la siguiente página

Sistema de bombeo	Permite el aumento de presión en la línea donde se desea inyectar el cloro gas.
Equipo de detección de fugas	Los equipos más importantes son: sistema de alarma (alarmas de pared, alarmas internas de los equipos) y equipo de protección para los operadores.
Analizador de cloro residual	Permite el cálculo de cuanto cloro residual hay en el sistema

Finalmente se detalla la tabla 36, la que presenta un resumen general del diseño del sistema de desinfección, los cuales se obtuvieron con ecuaciones tal como detalla el ANEXO IX.

Tabla 36. Resultados del diseño de una estación general de cloración

Criterio	Resultado	Unidad
Caudal mínimo requerido para el inyector	0,0068 (10) ⁻³	m ³ /s
Capacidad requerida del equipo	86,4	g/h
Capacidad mínima del clorador	19,45	g/h
Área de la tubería	7,6 (10) ⁻⁶	m ²
Diámetro de la tubería de alimentación de agua	1/2	Pulgada
Potencia mínima del equipo de bombeo	0,0032	HP

Otra de las áreas importantes en el sistema de dosificación es:

Almacenamiento del cloro

El lugar donde se almacena los tanques de cloro debe ser amplio, con ventilación, con puertas que se abran hacia afuera y con aberturas, con sistemas de alarma para la detección de fugas, y de uso exclusivo. Estas especificaciones son para evitar que posibles fugas de gas sean atrapadas y causen desastres peligrosos a la persona que ingrese al cuarto de almacenamiento, será de uso exclusivo ya que en este lugar solamente ingresara personal capacitado de tal manera que no se produzcan peligros.

Los cilindros inferiores a 75 kg se deben ubicar de manera vertical, unidos con una cadena de seguridad para evitar que se caigan en caso de que se produzca un fenómeno natural, también deben ser protegidos de la luz solar para evitar riegos de explotación, tal como se indica en la figura 25.



Figura 25. Ejemplo del uso de la cadena en los cilindros

Seguridad

Es importante que los operadores utilicen máscaras protectoras, las mismas que se especifican a continuación, y el operario elegirá de acuerdo a su conveniencia.

- Mascarilla canistel, se debe cambiar con frecuencia y no sirve para altas concentración de cloro en el ambiente.
- Máscara con tanque de aire, es permitido trabajar hasta 35 min con ella.
- Máscara de oxígeno, permitido trabajar mínimo 45 minutos.

Además de la mascarilla es importante, que se cubran ojos, manos y pies, y piel.

Para el cambio rutinario de los cilindros, por seguridad es importante que estén al menos 2 operarios.

En caso de incendio, se debe dar prioridad de los cilindros ya que no es resistente al calor.

3.4. Informe de costos

En la siguiente tabla 37 se detalla el informe de costos tanto para las obras de captación y conducción como para el sistema de dosificación. Del valor final, se omitió el costo por mano de obra ya que la junta de agua cuenta con personas voluntarias que ayudan en este tipo de trabajos.

Las cotizaciones que realizadas para la determinación de los precios se encuentran detalladas en el ANEXO X.

Tabla 37. Informe de costos

Accesorio/Material	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Tubería PVC 2" por metro	20	1,73	34,60
Tubería PVC 1" por metro	2	1,25	2,50
Yee PVC de 2"	4	2,24	8,96
Unión PVC 2"	30	1,65	49,50
Codo PVC 2" x 90°	20	1,42	28,40
Tee PVC 2"	2	1,60	3,20
Kalipega litro	1	18,36	18,36
Tubería PVC 4" por metro	1	4,23	4,23
Válvula de bola PVC 2"	2	0,50	100,00
Cemento sacos	4	8,25	33,00
Arena sacos	4	1,75	7,00
Sistema de cloración	1	2 350, 00	2 350, 00
Subtotal			2 639,75
IVA 12%			316,77
TOTAL			2 956,52

3.5. Socialización del proyecto

La socialización se realizó gracias a la participación de la directiva de la junta de agua y a los moradores, lo cual se habló desde un tema muy específico como el uso del agua hasta un tema de tratamiento, ventajas y desventajas de la mejor alternativa y de cuando se debe implementar cada propuesta.

Se empezó realizando una mesa semi redonda para dar breve presentación y explicar el motivo de la reunión, luego se realizó una actividad en el que todos los participantes nos pudimos conocer y tener un poco más de confianza ya que muchas personas de la comunidad se sentían intimidados.

Por motivos de facilidad y de tiempo, se utilizó un proyector para mostrar una serie de imágenes a los participantes en los que ellos debían escoger las actividades que se realizan con el agua, esto permitió que todos nos sintamos más apegados al tema que íbamos a tratar minutos después.

Para la exposición de alternativas, se preguntó qué tipo de agua bebían, con esto confirmaron que el agua no se bebe directamente del grifo y siempre la hierven para el uso diario, esto nos permitió introducirnos en la explicación de los análisis que fueron realizados y las alternativas más pertinentes para el caso de la junta de agua.

Con esto se evidenció que la comunidad consume el agua cuando esta hervida, lo que es adecuado ya que así se permite la desinfección temporal del recurso, sin embargo se recomendó que esta agua hervida debe ser refrigerada o de ser posible consumida el mismo día para evitar cualquier tipo de contaminación por insectos u otro tipo de organismo.

Además, se comprobó que la mayor parte de las personas están interesadas en que su agua mejore, de tal manera que ellos se sienten contentos de ayudar en las mingas para el mantenimiento de la red.

En comparación con el costo de agua en Quito que es de 0,48 ctvs por m³ el costo dentro de la comunidad es bajo, llegando a costar hasta 0,10 ctvs por m³, este es uno de los factores por el cual los moradores gastan más agua de la necesaria.

Por otra parte, al final de la exposición cada participante firmó o dejó una señal de que se comprometen a cuidar el recurso vital, de tal manera que lo usaran de manera adecuada sin generar desperdicios y siempre estarán atentos a la ayuda que necesite el sistema de abastecimiento.

En el ANEXO XI se detalla la asistencia de los participantes y en el ANEXO XII se muestra una de las primeras reuniones realizadas para hablar sobre la ejecución del proyecto y la última socialización con algunas personas de la comunidad cuando el proyecto ya se culminó.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Con los resultados obtenidos en la caracterización, se establece que DBO y DQO sobrepasan los límites máximos permisibles de la norma vigente en el Ecuador para agua de consumo humano en diferentes puntos de la distribución.

El lugar donde entra la mayor contaminación está en el punto 2, debido a que no se encuentra correctamente cerrado y es propenso a daños por aumento de agua del río o deslaves en tiempos de lluvias.

El punto de toma de agua de emergencia cumple con todos los parámetros para consumo humano pero no tiene la capacidad de abastecer al sistema.

Se propuso mejorar la captación, ya que evitará el ingreso de contaminantes externos al sistema, esto permitirá brindar un agua de calidad a los usuarios del barrio San José de Cutuglagua.

Los tanques de las captaciones deberán colocarse en todos los puntos de captación de agua para asegurar la calidad de agua de consumo.

Es necesario la utilización de válvulas de desfogue de presión de gas en el sistema para evitar la cavitación dentro de las tuberías.

Se propuso un sistema automatizado de cloro gas ya que ayuda a controlar la cantidad de cloro que ingresa al sistema, esto facilita el trabajo a realizar por los miembros de la junta de agua.

Se mostró a la comunidad el trabajo realizado mediante el método de facilitación para que los moradores estén al tanto de lo que se realiza en su comunidad.

4.2. Recomendaciones

Hervir la cantidad necesaria de agua para consumo diario y si aún sobra para días posteriores se debe refrigerar.

Verificar el tiempo de vida del ojo de agua mediante estudios geológicos para asegurar la cantidad de agua disponible para el futuro.

Utilizar el punto de emergencia como otra fuente de abastecimiento de agua para asegurar el caudal necesario.

Hay que informar a la comunidad de cada proyecto realizado por la junta, para poder asegurar el cuidado de las fuentes de abastecimiento desde los mismos usuarios.

Actualizar el costo que se cobra a los miembros de la comunidad ya que este incide en gran parte con la cantidad de consumo.

Asegurar el cambio de las tuberías que hayan cumplido su vida útil tanto en el sistema de abastecimiento como en la casa de los usuarios.

Limitar el paso a la fuente de agua para evitar vandalismos o contaminación por personas externas.

Es conveniente que antes de iniciar la desinfección, se realicen nuevos análisis para asegurar que los contaminantes biológicos se redujeron con el mejoramiento de la captación.

Bibliografía

- Aguero, R. (2004). Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales . Lima , Perú.
- Barreto Sáenz, P., Espiniza López , G., Leyva Collas , M., & Antúnez Mayolo, S. (25 de Febrero de 2010). Protocolo de Monitoreo de Agua. Madrid.
- Camacho, C. (16 de Junio de 2011). Tratamiento de agua para consumo humano. San Marcos, Perú.
- Catadeña, S. A. (2008). *Abastecimiento de agua por gravedad*.
- Chaucachicaiza, A. F., & Orozco Cantos , L. S. (2012). Diseño e implementación de un sistema de automatizado para la dosificación de cloro en el tratamiento de agua potable en la comunidad de San Vicente de Lacas. Riobamba, Ecuador.
- Cisneros, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México: LIMUSA, S. A.
- Fibras&Normas(S.A.S). (2004). Caudal: Definición y método de medición. Colombia.
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño , L., & Oteo, C. (2006). CAP 5: Hidrogeología. En *Ingeniería Geológica* (págs. 297-300). Madrid-España.
- González H., A., Martín D., A., & Figueroa , R. (2000). *Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano*. México.
- González Toro, C. (Octubre de 2011). *Monitoreo de la calidad del agua*. Obtenido de El pH: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-862/maguaph.pdf>
- HACH-COMPANY. (2000). *HACH Company*. Obtenido de Conductividad: https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf
- IEOS. (1999). *Instituto Ecuatoriano de Obras Públicas*. Quito-Ecuador .
- INEN. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana: https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HAS_H01a4.dir/doc.pdf
- INEN-9297. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 9297, Calidad de agua- Determinación de cloruros*. Quito-Ecuador.
- Jong-wook, D. (Noviembre de 2004). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/facts2004/es/
- LaHora. (12 de Febrero de 2018). Noticias de Quito. *El agua potable y el alcantarillado son necesidades urgentes en Cutuglagua*. Quito, Ecuador .
- López, A. E. (2013). Diseño de un sistema para las aguas residuales de la cabecera parroquial San Luis-Provincia de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Lozano Rivas , W. A., & Lozano Bravo , G. (2015). *Potabilización del agua*. Bogotá, Colombia.
- Martínez , M., & Osorio, A. (23 de Enero de 2018). Validación de un método para el análisis de color real en el agua. Medellín, Colombia.

- Molinares, I. T. (31 de Mayo de 2006). *Procedimiento para la Medición de Sólidos Totales*. Obtenido de <http://www.utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf>
- Moreno Tovar , A. A., Toro Botero, M., & Carvajal, L. F. (22 de Octubre de 2008). Revisión de criterios y metodologías de diseño de redes para el monitoreo de la calidad del agua en ríos. Medellín.
- NTE-INEN-1106. (01 de Junio de 2013). *Aguas. Determinación del oxígeno disuelto*. Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1106-AGUAS.-DETERMINACION%20DE-OX%20GENO-DISUELTO.pdf>
- OMS. (2018). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de Guías para la calidad del agua de consumo humano: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- ONU. (17 de Febrero de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Agua y saneamiento ambiental : <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pérez Bornstein, M. (Junio de 2014). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y SOCIAL DE SOLUCIONES DE DESINFECCIÓN MEDIANTE CLORACIÓN EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RURALES. APLICACIÓN A LAS COMUNIDADES DE MAORE Y KIHURIO, EN EL DISTRITO DE SAME, TANZANIA*. Obtenido de <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/538efe0425c04.pdf>
- Pérez, S. (2012). *Elementos de Protección Personal*. Córdoba: UNC.
- Pongutá Hurtado, J. J. (Agosto de 2003). Guía para el almacenamiento, manejo y conducción del agua. Bogotá, Colombia.
- Raffo Lecca , E., & Ruiz Lizama , E. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno*. Lima-Perú.
- Ramos Olmos , R., Sepúlveda Marqués , R., & Villalobos Moreto, F. (2003). El agua en el medio ambiente - Muestreo y Analisis. México: plazayvaldez.com.
- Ramos, D. S. (11 de Mayo de 2016). Calidad del agua y su control . *Calidad de Aguas* . España.
- Salazar Rojas , L. V., & Vasquez Diaz , L. M. (2016). *Estandarización del metodo para la determinación de olor y sabor en el agua de consumo, mediante el método 2150B, 2160B y 2170B del Standard Methods*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6232/628161S161.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SecretariadelAgua. (2014). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA*. Quito.
- Severiche Sierra , C. A., Castillo Bertel , M. E., & Acevedo Barrios , R. L. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas* . Cartagena-Colombia .
- Soto, J. (2010). *La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias*. 167-77.

Torres , P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (05 de 10 de 2009). índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Medellín, Colombia.

TULSMA. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundarioa del Ministerio del Ambiente. Quito-Ecuador.

Valencia, A. G. (2014). *Manual Piraguero*. Obtenido de Medición de caudal:
http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf

Varó Galvañ, P., & Segura Beneyto, M. (2009). Curso de manipulador de agua de consumo humano. Alicante - San Vicente.

ANEXOS

ANEXO I: Sistema completo de abastecimiento de agua de la Junta Administradora.

ANEXO II: Puntos de muestreo de acuerdo a las coordenadas obtenidas en la tabla 10



Figura 26. Localización de puntos de muestreo en Google Earth

ANEXO III: Perfil de la línea de conducción

ANEXO IV: Toma de las coordenadas con el GPS



Figura 27. Uso del GPS para la toma de coordenadas

ANEXO V: Técnicas de preservación de muestras

Tabla 38. Conservación de muestras

Parámetros	Unidad	Técnica de preservación	Tiempo de conservación
Temperatura	°C	Medición En sitio	No aplica
Oxígeno disuelto	mg/l	Medición En sitio	No aplica
Turbiedad	NTU	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	24 horas
Color aparente	PtCo	Refrigeración 1 °C y 5 °C	5 días
Color verdadero	PtCo	Refrigeración 1 °C y 5 °C	5 días
Solidos suspendidos totales	mg/l	Refrigeración 1 °C y 5 °C	2 días
Solidos totales	mg/l	Refrigeración 1 °C y 5 °C	24 horas
Coliformes fecales	NMP	Refrigeración 1 °C y 5 °C	24 horas
Coliformes totales	NMP	Refrigeración 1 °C y 5 °C	24 horas

FUENTE: (INEN 2169:2013)

ANEXO VI: Cálculos para obtener los resultados de ciertos parámetros

Cálculo de dureza total, cálcica y magnésica.

$$\text{Dureza } \text{mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} = \frac{V_{EDTA} * [\text{EDTA}] * 100091}{V_{muestra}}$$

- Dureza total

Datos:

$$V_{EDTA} = 2,65\text{mL}$$

$$[\text{EDTA}] = 0,01\text{M}$$

$$V_{muestra} = 50\text{mL}$$

$$\text{Dureza total } \text{mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} = \frac{2,65\text{mL} * [0,01\text{M}] * 100091}{50\text{mL}}$$

$$\text{Dureza total } \text{mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} = 53,04$$

- Dureza cálcica

Datos:

$$V_{EDTA} = \frac{2,2 \text{ mL} + 2,3 \text{ mL}}{2} = 2,25\text{mL}$$

$$[\text{EDTA}] = 0,01\text{M}$$

$$V_{muestra} = 50\text{mL}$$

$$\text{Dureza cálcica } \text{mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} = \frac{2,25\text{mL} * [0,01\text{M}] * 100091}{50\text{mL}}$$

$$\text{Dureza cálcica } \text{mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} = 45,04$$

- Dureza magnésica

$$\text{Dureza magnésica} = \text{Dureza total} - \text{Dureza cálcica}$$

$$\text{Dureza magnésica} = 53,04 \text{ mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} - 45,04 \text{ mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}}$$

$$\text{Dureza magnésica} = 8 \text{ mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}}$$

Cálculo de cloruros

$$\frac{\text{AgNO}_3 \text{ gastado} * \text{AgNO}_3 [\text{N}] * 0.03545 * 1000}{\text{Volumen de la muestra}}$$

$$\frac{1 \text{ ml AgNO}_3 * 0.0096 \text{ N AgNO}_3 * 0.03545 * 1000}{25 \text{ ml}}$$

$$= 0,0136 \frac{\text{g}}{\text{l}} \text{Cl} \times \frac{100 \text{ mgCl}}{1 \text{ gCl}}$$

$$= 13,6 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{Cl}$$

ANEXO VII: cálculos del diseño y dimensionamiento del tanque de captación

Cámara húmeda

La cámara húmeda será construida de concreto, contendrá una canastilla que permite que salga el flujo y pase a la válvula de salida y de una tubería de limpia y rebose que se encontrara en la parte inferior de cámara. Sus especificaciones se detallan a continuación:

Ancho de la pantalla

Se determina de acuerdo con las características del afloramiento de tal manera que tenga la capacidad de captar totalmente el flujo. Sin embargo, este dimensionamiento ya está establecido por la junta.

- Altura total (Ht)

$$Ht = (Al + D + Hc + E) \leq \text{Altura natural que alcanza el agua}$$

Donde:

- Al = altura recomendada para que pueda ocurrir sedimentación de partículas
- D = diámetro de la tubería de salida
- Hc = Altura de agua sobre la canastilla
- E = borde libre recomendado

Por lo tanto, se tiene los siguientes datos:

$$Al = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$D = 63 \text{ mm} = 0.063 \text{ m}$$

$$Hc = 0,3 \text{ cm} = 0.003 \text{ m}$$

$$E = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$$

$$Ht = Al + D + Hc + E$$

$$Ht = 0,1 \text{ m} + 0,063 \text{ m} + 0,003 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$Ht = 0,466 \text{ m}$$

- Altura requerida (h)

Es aquella que permite determinar la altura de agua para que el gasto de salida de la captación pueda fluir por la tubería de conducción. Por lo tanto, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H = 1,56 \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- $V =$ velocidad
- $g =$ gravedad

Para ello se tienen los siguientes datos:

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$V =$ se recomienda 0,6 m/s

$$H = 1,56 \frac{V^2}{2g}$$

$$H = 1,56 \frac{(0,6 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H = 0,029 \text{ m}$$

Dimensionamiento de la canastilla

- Diámetro

$$D_{canastilla} = 2D_{TC}$$

Donde:

- $D_{TC} =$ diámetro de la tubería de conducción

Por lo tanto, se obtiene que:

$D_{TC} =$ se asume una tubería de 2 pulgadas

$$D_{canastilla} = 2(2 \text{ pulgadas})$$

$$D_{canastilla} = 4 \text{ pulgadas}$$

- Longitud de la canastilla (l)

Se recomienda que la longitud sea mayor a $3D_{TC}$ y menor de $6D_{TC}$.

$$L = 3 * 6,3 \text{ cm} = 18,9 \text{ cm}$$

$$L = 6 * 6,3 \text{ cm} = 37,8 \text{ cm}$$

$$L = 18,9 \text{ cm}$$

De acuerdo con los resultados, se toma el valor promedio de la longitud, de tal manera no se pase de los valores calculados. Por ende, se establece una longitud de:

$$L = \frac{18,9 \text{ cm} + 37,8 \text{ cm}}{2}$$

$$L = 28,35 \text{ cm} \cong 28 \text{ cm}$$

- Área total de ranuras (at)

$$At = 2A_{TC}$$

Donde:

- At = Área total de ranuras
- A_{TC} = Área total de la conducción

Para la fórmula, se considera que el diámetro de la canastilla debe ser el doble del diámetro de la tubería, y se estable los siguientes datos:

Datos:

$$D = 63 \text{ mm} = 0.063 \text{ m}$$

$$A_{TC} = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$A_{TC} = \pi * \frac{(0,064 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{TC} = 0,0031 \text{ m}^2$$

$$At = 2A_{TC}$$

$$At = 2 * 0,0031 \text{ m}^2$$

$$At = 0,0062 \text{ m}^2$$

- Área de ranura (ar)

Se recomienda las siguientes medidas de ranura:

Ancho: 5 mm

Largo: 7 mm

Por lo tanto, se obtiene:

$$Ar = 5 \text{ mm} * 7 \text{ mm}$$

$$Ar = 35 \text{ mm}^2 = 0,000035 \text{ m}^2$$

- Número de ranuras

$$N^{\circ} \text{ ranuras} = \frac{\text{área total de ranuras}}{\text{área de ranura}} + 1$$

$$N^{\circ} \text{ ranuras} = \frac{0,0062 \text{ m}^2}{0,000035 \text{ m}^2} + 1$$

$$N^{\circ} \text{ ranuras} = 178,14 = 178$$

Tubería de rebose y de limpia

Se recomienda pendiente de 1 a 1,5 %, se considera el caudal máximo y para el cálculo del diámetro de la tubería se usará la ecuación de Hazen Williams.

$$D = \frac{0,71 Q^{0,38}}{S^{0,21}}$$

Donde:

- D = Diámetro en pulgadas
- Q = gasto máximo de la fuente
- S = pérdida de carga

Entonces, para el cálculo se tiene los siguientes datos:

$$Q = 0,75 \text{ t/s}$$

S = se recomienda un valor de 0,015 m/m

$$D = \frac{0,71 (0,75 \text{ lt/s})^{0,38}}{0,015 \text{ m/m}^{0,21}}$$

$$D = 1,54 \text{ pulgadas} = 1,5 \text{ pulgadas}$$

Cámara seca

Esta estructura será construida de concreto, se encontrará junto a la cámara húmeda pero separada por una sección de 0,60 m de altura y 0,15 m de espesor.

ANEXO IX: cálculos del diseño y dimensionamiento del sistema de desinfección

Sistema de dosificación

De acuerdo con la práctica diaria en varias citas bibliográficas, se establece que las dosis óptimas son las siguientes:

Tabla 39. Dosis optima de acuerdo a la fuente

Dosis óptima	Unidades	Criterio
0,3	mg/l	Cantidad de dosificación mínima en la red de distribución.
1	mg/l	Agua subterránea limpia en poblaciones pequeñas o medianas
1,5 a 2	mg/l	Agua subterránea limpia en sistemas de acueducto para ciudades.
2 a 5	mg/l	Agua superficial con pos y precloración

Se tiene lo siguiente para el cálculo de un sistema general de cloración:

- Caudal mínimo para el funcionamiento del inyector (q)

$$q = \frac{Q * D_M}{C}$$

Donde:

- Q = caudal de diseño
- D_M = dosis máxima
- C = concentración de la solución

Entonces, se tiene los siguientes datos:

$$Q = 8 \text{ L/s}$$

$$D_M = \text{se asume } 5 \text{ mg/L}$$

$$C = \text{se asume un valor de } 3\,500 \text{ mg/L}$$

$$q = \frac{8 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 3 \text{ mg/l}}{3\,500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1000}$$

$$q = 0,0068 (10)^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Capacidad requerida del equipo (W)

$$W = Q * D_M$$

Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$W = \frac{8 \frac{lt}{s} * 3 \frac{mg}{l} * 3600}{1000}$$

$$W = 86,4 \text{ g/h}$$

- Capacidad mínima del clorador (W_{min})

$$W_{min} = \frac{\text{Capacidad del clorador}}{20}$$

La capacidad del clorador se obtiene de acuerdo con los siguientes criterios:

Tabla 40. Tamaños comerciales de cloradores (Lozano Rivas & Lozano Bravo , 2015)

Capacidad del clorador		Temperatura ambiente
g/h	lb/día	°C
-	100	24
1400	75	13
750	40	2
280	15	- 3
120	6	- 5
50	2	- 5,6

De acuerdo a la tabla 35, se asume una capacidad de 1400 g/h de acuerdo a la temperatura ambiente que se presenta en la zona, lo que permite realizar el cálculo como se indica a continuación:

$$W = \frac{1400 \frac{g}{h}}{20}$$

$$W = 19,45 \text{ g/h}$$

- Área de la tubería (a)

$$A = \frac{q}{V}$$

Donde:

- q = caudal mínimo para la operación del inyector
- V = velocidad en la tubería de alimentación

Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$q = 0,0068 \text{ m}^3/\text{s}$$

V = se asume un valor de 0,9 m/s

$$A = \frac{0,0068 (10)^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,9 \text{ m/s}}$$

$$A = 7,6 (10)^{-6} \text{ m}^2$$

- Diámetro de la tubería de alimentación de agua (d)

$$d = \sqrt{L * \frac{A}{\pi}}$$

Donde:

- L = longitud de la tubería de alimentación de agua
- A = área de la tubería

Por lo tanto, se determina lo siguiente:

L = se un valor de 4 m

$$d = \sqrt{4 * \frac{7,6 (10)^{-6} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$d = 0,0031 \text{ m} = 0,12 \text{ pulgadas} \cong 1/2 \text{ pulgada}$$

- Potencia mínima (p)

$$P = \delta * q * \frac{H}{75 * E}$$

Donde:

δ = peso específico del agua

H = carga dinámica total

E = eficiencia del equipo de bombeo

Para trabajar con la ecuación expuesta es necesario el cálculo de lo siguiente:

- Pérdida de carga por fricción (Ho)

$$H_o = f * \frac{L}{d} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

- f = coeficiente de fricción

Por lo tanto se asumió un coeficiente de fricción de 0,03 y se trabajó con el valor del diámetro comercial, lo cual se tiene lo siguiente:

$$H_o = 0,03 * \frac{4}{0,5} \left(\frac{0,6^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$H_o = 0,0044 \text{ m}$$

- Pérdida de carga menor (Hm)

$$Hm = K * \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

- K = pérdida de carga total por accesorios

Tabla 41. Valores de K

Accesorios	K
Te de paso directo	0,25
Válvula de compuerta	0,25
Filtro "Y"	3,5
Dodo	0,40
Suma total	4,45

De acuerdo a los accesorios necesarios, se estableció que K es igual a 4,45, por lo tanto, se tiene:

$$Hm = 4,45 * \left(\frac{0,6^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$Hm = 0,082 \text{ m}$$

- Carga dinámica total (H)

$$H = h + H_o + H_m$$

Donde:

- h = presión requerida por el inyector

Para el siguiente cálculo, se asumió un valor igual a 30 m de presión requerida:

$$H = 30 \text{ m} + 0,0044 \text{ m} + 0,082 \text{ m}$$

$$H = 30,09 \text{ m}$$

Una vez determinada la carga total, se utilizó el peso específico del agua y se asumió el valor de la eficiencia del equipo de bombeo igual a 0,85, y se obtiene lo siguiente:

$$P = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0068 (10)^{-3} \text{ m}^3/\text{s} * \frac{30,09 \text{ m}}{75 * 0,85}$$

$$P = 0,0032 \text{ HP} = 2,386 \text{ V}$$

ANEXO X: Cotizaciones para el informe de costos



PRODUQUIMIC DEL VALLE

HIPOCLORITO DE SODIO (Cloro Líquido)

Tambores de 250 Kg

- Procesos de potabilización de agua y limpieza de superficies por sus características oxidantes que actúan como fungicida y bactericida.
- En el hogar en el lavado de la ropa blanca, y la acción desinfectante en la limpieza de los baños, pisos, etc.

<http://produquimic.com.ec>

0958968183 Produquimic

ventasvalle@produquimic.com.ec



Tienes un mensaje de tu vendedor de Hipoclorito De Sodio

Buenas noches, es al 10% el costo del kilo en tanque de 250kg es de 0,40 cada kilo más iva

Reciba un cordial saludo de la empresa PRODUQUIMIC, para enviarle una proforma necesito que me ayude con los siguientes datos:

- Cantidad que necesita del producto:
- Dirección de Entrega
- Correo electrónico

[Responder mensaje](#)

Figura 28. Cotización del hipoclorito de sodio

ANEXO XI: Hoja de registro de los moradores de la comunidad

HOJA DE REGISTRO CAPACITACIÓN	
SAN JOSE DE CUTUGLAGUA	
FECHA: 17/08 2019	
NOMBRE	FIRMA
Ana Rosa	[Signature]
Gladys Chumal	[Signature]
Paola Panguiza	[Signature]
Maria Toca	[Signature]
Martha Zupuy	[Signature]
Cecilia Chasi	[Signature]
Olga Buro	[Signature]
Luz Lillo	[Signature]
Sonia Torres	[Signature]
Susy Alpina	[Signature]
Susy Bismarck	[Signature]
Miguel Panguiza	[Signature]
Celso Salazar	[Signature]

Figura 29. Hoja de registro para los moradores

ANEXO XII: Socialización del proyecto



Figura 30. Primera facilitación con los de la junta.



Figura 31. Sociabilización del proyecto culminado



Figura 32. Moradores presentes en la sociabilización