

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS BARRIOS CENTRAL, ALISUCO Y LA UNIÓN DE LA PARROQUIA CUTUGLAGUA.

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

Rashelle Katherine Haro Parreño

rashelle.haro@epn.edu.ec

Wendy Valeria Tipantuña Rodríguez

wendy.tipantuña@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO, M.Sc.

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTORA: Dra. ANA LUCIA BALAREZO AGUILAR, PhD.

ana.balarezo@epn.edu.ec

Quito, octubre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por las Srtas. Rashelle Katherine Haro Parreño y Wendy Valeria Tipantuña Rodríguez como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogas en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo nuestra supervisión:



**Ing. Santiago Stalin Guerra
Salcedo, MSc.**

DIRECTOR DEL PROYECTO



PhD. Ana Lucia Balarezo Aguilar

CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotras Rashelle Katherine Haro Parreño con CI: 1721685905 y Wendy Valeria Tipantuña Rodríguez con CI: 1426086604 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 144 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.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociarán los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Rashelle Katherine Haro Parreño



Wendy Valeria Tipantuña Rodríguez

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a toda mi familia, profesores, compañeros y amigos que han sido un gran apoyo para mí y para que este proyecto se realice.

Rashelle

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por ser parte importante en mi vida.

Agradezco a mi familia por estar siempre pendientes de mí, cuidarme mucho, aguantarme tanto, darme ese apoyo incondicional y sobre todo que es lo más importante para mí, es que siempre me han entregado mucho amor.

El aprendizaje que he obtenido durante todos estos años se debe a mis profesores es por ello que también les agradezco por entregarme sus conocimientos y a formarme como profesional.

A todos mis compañeros y amigos que he logrado realizar a lo largo de mi vida porque me llenan de alegría y hacen que la vida esté llena de sonrisas y experiencias agradables.

Rashelle

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios y a mis padres, Liliana y Vicente, quienes han sido mi mayor fortaleza y motivo para seguir adelante en la construcción de este camino. Gracias por todo el amor y cariño, que me ha dado la fortaleza para afrontar cualquier reto y ser una mejor persona día tras día.

Wendy

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, quienes siempre han estado para brindarme su consejo, confianza y paciencia. Estoy agradecida con ustedes queridos padres por la persona en que me he convertido, los amo.

A mis hermanos Henry y Cristhian, quienes me han brindado su protección y consejo, a pesar de las peleas siempre voy a contar con ustedes, gracias por enseñarme el verdadero amor de hermanos.

A los ingenieros e ingenieras que han entregado sus conocimientos y experiencias para forjarnos como buenos profesionales. A mis amigos en especial a Rashelle y Edison, por hacer de mi vida universitaria una de las mejores experiencias.

Wendy

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos	3
1.3	Fundamentos teóricos	3
1.3.1	Calidad del agua.....	3
1.3.2	Parámetros físicos, químicos y biológicos.....	4
1.3.3	Índice de calidad del agua	9
1.3.4	Muestreo.....	10
1.3.5	Sistema de abastecimiento de agua potable.....	11
1.3.6	Marco legal	12
2	METODOLOGÍA	13
2.1	Acercamiento a las autoridades del GAD Cutuglagua.....	13
2.2	Visita al lugar de estudio y recopilación de información	13
2.3	Descripción de la zona de estudio	14
2.4	Plan de muestreo.....	15
2.4.1	Toma de muestras en la zona de estudio	15
2.5	Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	16
2.5.1	Parámetros <i>in situ</i>	16
2.5.2	Parámetros analizados en laboratorio.....	17
2.5.3	Parámetros realizados en laboratorio acreditado	25
2.6	Determinación del ICA	26
2.6.1	ICA punto 1.....	26
2.6.2	ICA punto 2.....	28
2.6.3	ICA punto 3.....	28
2.6.4	ICA punto 4.....	29
2.6.5	ICA punto 5.....	29
2.6.6	ICA punto 6.....	29
2.7	Análisis técnico de tanques y sistema de tratamiento	29

2.7.1	Verificación del estado de los tanques del sistema de agua potable.....	29
2.7.2	Evaluación del sistema de tratamiento.....	30
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
3.1	Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos	33
3.2	Determinación del Índice de Calidad del Agua.....	41
3.3	Evaluación de los tanques de almacenamiento de agua cruda y potable.....	42
3.4	Evaluación del sistema de tratamiento.....	49
3.5	Socialización del proyecto.....	50
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
4.1	Conclusiones	51
4.2	Recomendaciones	52
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ANEXOS.....	i
	ANEXO 1: PLAN DE MUESTREO	i
	ANEXO 2: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TANQUES Y DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN	viii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y recorrido de los puntos muestreados.	14
Figura 2. Mediciones <i>in situ</i> (temperatura, pH y oxígeno disuelto).....	16
Figura 3. Medición de turbidez (<i>in situ</i>).....	17
Figura 4. Medición de cloro libre y total.	17
Figura 5. Análisis en laboratorio de alcalinidad.....	18
Figura 6. Análisis en laboratorio de aluminio.	18
Figura 7. Análisis en laboratorio de cobre.	19
Figura 8. Análisis en laboratorio de color aparente.....	19
Figura 9. Análisis en laboratorio de la DQO.	21
Figura 10. Análisis en laboratorio de dureza.	21
Figura 11. Análisis en laboratorio de fosfatos.....	22
Figura 12. Análisis en laboratorio de hierro.	22
Figura 13. Análisis en laboratorio de manganeso.....	23
Figura 14. Análisis en laboratorio de nitritos.....	23
Figura 15. Análisis en laboratorio de nitratos.....	24
Figura 16. Análisis en laboratorio de nitrógeno amoniacal.....	24
Figura 17. Análisis en laboratorio de sólidos suspendidos y totales.	25
Figura 18. Tanque con solución madre de cloro.....	30
Figura 19. Tanque de captación de la vertiente 1.....	42
Figura 20. Tanque de captación de la vertiente 2.....	43
Figura 21. Válvulas de control fuera de funcionamiento.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volumen de muestra respecto al rango de medida de DBO ₅ esperado.....	6
Tabla 2. Clasificación de las aguas de acuerdo al rango de dureza.....	7
Tabla 3. Coeficiente de ponderación para el cálculo del ICA.	10
Tabla 4. Rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general.....	10
Tabla 5. Coordenadas del recorrido de la zona de estudio.	13
Tabla 6. Descripción de los puntos muestreados.....	14
Tabla 7. Resultados de los parámetros del punto 1 - vertiente 1.	33
Tabla 8. Resultados de los parámetros del punto 2 - vertiente 2.	34
Tabla 9. Resultados de los parámetros del punto 3 - tanque de almacenamiento.	35
Tabla 10. Resultados de los parámetros del punto 4 - entrada al sistema de tratamiento...	36
Tabla 11. Resultados de los parámetros del punto 5 - tanque La Unión.	37
Tabla 12. Resultados de los parámetros del punto 6 - tanque Central y Alisuco.....	38
Tabla 13. Resultados de los parámetros del punto 7 - casa inicial La Unión.....	39
Tabla 14. Resultados de los parámetros del punto 8 - casa final La Unión.	39
Tabla 15. Resultados de los parámetros del punto 9 - casa inicial Central y Alisuco.	40
Tabla 16. Resultados de los parámetros del punto 10 – casa final Central y Alisuco.....	40
Tabla 17. Resultados del cálculo de subíndices e ICA total.....	41
Tabla 18. Ficha catastral del tanque correspondiente a la vertiente 1.....	44
Tabla 19. Ficha catastral del tanque correspondiente a la vertiente 2.....	45
Tabla 20. Ficha catastral del tanque de almacenamiento.	46
Tabla 21. Ficha catastral del tanque de distribución del barrio La Unión.....	47
Tabla 22. Ficha catastral del tanque de distribución del barrio Central y Alisuco.	48
Tabla 23. Resultados de caudales para el hipoclorador por goteo.....	49
Tabla 24. Volúmenes de los tanques para el sistema de cloración.....	49

RESUMEN

PALABRAS CLAVE: calidad del agua, sistema de abastecimiento, desinfección con hipoclorador de calcio.

El presente proyecto evaluó la calidad del agua para consumo humano, de los barrios Central, Alisuco y La Unión, que se ubican en el cantón Mejía, parroquia Cutuglagua, con el fin de verificar que el agua de abastecimiento distribuido a los habitantes, se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano.

Se inició con la recopilación de documentos técnicos sobre el sistema de abastecimiento de agua de la parroquia Cutuglagua, y visitas al sitio, para identificar los puntos estratégicos para las actividades de muestreo de la calidad del agua. Posteriormente, se ejecutó el muestreo en los diez puntos seleccionados, a lo largo del sistema, desde la captación hasta la distribución a los usuarios; se determinaron algunos parámetros de calidad en campo y el resto se procesaron en laboratorio. Para evaluar el estado de los tanques de almacenamiento, se elaboraron fichas catastrales de cada uno, para integrar en un manual de operación y mantenimiento, del sistema.

Los resultados obtenidos de los parámetros de calidad evaluados, fueron comparados con la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1108, 6ta revisión, 2020 y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), extraído del Acuerdo Ministerial 097, 2015. Además, se determinó el Índice de Calidad de Agua (ICA), que permite interpretar los datos obtenidos de cada parámetro (físico, químico o microbiológico).

La calidad del agua del sistema de abastecimiento Cutuglagua, cumple con la normativa, es decir es apta para el consumo humano, al poseer un ICA, con valores entre 70 y 84, que se encuentran en la clasificación de aceptables en todo el recorrido. Finalmente, se brindó una propuesta de mejora para el sistema de desinfección, a través de la implementación de un hipoclorador por goteo, para asegurar una dosificación de cloro, adecuada.

ABSTRACT

KEY WORDS: water quality, supply system, disinfection with calcium hypo chlorinator.

This project evaluated the quality of water for human consumption in the main neighborhoods of Alisuco and La Unión. Which are located in the borough of Mejía, of the Cutuglagua parish. In order to verify that the water supply distributed to the inhabitants is in suitable conditions for human consumption.

It began with the compilation of technical documents on the water supply system of the Cutuglagua parish and visits to the site, to identify strategic points for water quality sampling activities. Subsequently, the sampling was carried out in the ten selected points, throughout the system, from collection to distribution to users. Some quality parameters were determined in the field and the rest were processed in the laboratory. To assess the status of the storage tanks, cadastral records were prepared for each one. To be integrated into the manual of operation and maintenance system.

The obtained results from the quality parameters were evaluated and compared with the Ecuadorian Technical Regulation INEN 1108, 6th revision, 2020 and the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULSMA), extracted from Ministerial Agreement 097, 2015. In addition, it was determined by the Water Quality Index (ICA), which makes it possible to interpret the data obtained from each parameter (physical, chemical or microbiological).

The quality of the water of the Cutuglagua supply system complies with the regulations. That is suitable for human consumption as it has an ICA, with values between 70 and 84. Which are in the acceptable classification throughout the route. Finally, an improvement proposal for the disinfection system was provided, through the implementation of a drip hypo chlorinator, to ensure adequate chlorine dosage.

1 INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un factor indispensable al momento de dotar de la misma a una determinada población, ya que es un derecho primordial para todas las personas el tener acceso a un agua segura para consumo. Sin embargo, las problemáticas en cuanto a calidad de agua se refiere persisten; algunas de estas son: pérdida de fuentes de agua subterránea y superficial, impactos asociados a la hidromorfología, aumento de nuevos contaminantes creados por el hombre, propagación de especies invasoras dentro de reservas de agua natural, etc (ONU, 2018).

Las fuentes de agua natural poseen cargas contaminantes muy altas, debido a dos causas principales: la primera es la carencia de sistemas de saneamiento de vertidos cloacales, y consecuentemente la disposición de estos vertidos en fuentes de agua limpia (Díaz, Castro, García, González, & Martín, 2007). Como segunda causa se presenta el aumento de la industria agrícola y ganadera, la cual libera emisiones de nutrientes contaminantes a fuentes de agua superficial y subterránea (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2018). Por ello se crearon leyes ambientales que se encargan de controlar la calidad de cualquier tipo de vertidos que ingresen a cauces naturales, sin embargo, el incumplimiento y la escasa propagación de las mismas han ocasionado afecciones a recursos hídricos que desembocan en una contaminación (Naciones Unidas, 2018).

Las características del agua deben ser las adecuadas para precautelar la salud de los consumidores, y evitar así enfermedades como: cólera, diarrea, fiebre tifoidea, poliomiелitis y disentería; las mismas que se dan debido al consumo de agua contaminada por microorganismos y productos químicos (OMS, 2017). Los grupos más vulnerables a la mencionada problemática, son aquellos que poseen bajos ingresos y se desenvuelven en entornos rurales donde el acceso al agua y saneamiento es escaso (UNESCO, 2019). Se calcula que un gran número de habitantes mueren anualmente por diarrea a causa de la contaminación de las fuentes de potable (OMS, 2019).

Mundialmente se abordan temas sobre los problemas que genera la calidad del agua, por los daños que se ven reflejados en la salud de las personas. Por tal motivo la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha elaborado normas y reglamentos internacionales referentes a las características del recurso hídrico suministrado y el bienestar de las personas a nivel mundial (OMS, 2021).

En Ecuador, el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, han sido una herramienta de gran importancia para evaluar el estado y calidad del agua de vertientes, tanques de distribución o viviendas. Por este motivo resulta necesario comparar los resultados con normativas vigentes como son: la norma INEN 1108 6ta revisión, 2020 y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Libro VI, Anexo 1, extraído del Acuerdo Ministerial 097, 2015, para reconocer si es apta para consumo humano o si se deben tomar medidas preventivas de tratamiento (TULSMA, 2015).

En la provincia de Pichincha, es competencia de cada cantón el análisis, potabilización y distribución del agua; por tal razón es que existen algunos inconvenientes en brindar agua de calidad a los consumidores, ya que cada localidad realiza sus análisis de formas distintas y con los recursos que tienen a su disposición (Galárraga, 2000).

Cutuglagua actualmente cuenta con alrededor de 21.750 habitantes, de los cuales un 10% habitan en los barrios La Unión, Alisuco y Barrio Central. Los mencionados barrios se abastecen de la vertiente “La Merced” a cargo de la Junta Administradora de Agua, que suministra el recurso mediante tuberías y trata con cloro previo a la distribución para cubrir 100% el servicio de agua potable (GAD Municipal del Cantón Mejía, 2015-2019).

Actualmente la junta no tiene control óptimo de la calidad del agua derivada de las vertientes, que suministran a la población y además, no pueden asegurar que la dotación de agua a los barrios esté cumpliendo con los estándares estipulados en la normativa ecuatoriana. Por lo que se expone anteriormente este proyecto brindará una solución a esta problemática para resguardar y mejorar la calidad del recurso, así se preservará el medio ambiente y la integridad de las comunidades Alisuco, Central y La Unión ubicados en la parroquia Cutuglagua (TULSMA, 2015).

Para solucionar esta problemática, resultó indispensable realizar el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que fueron útiles al verificar que el estado del agua sea el óptimo para que el líquido pueda ser consumido por las comunidades, así como también para las actividades que se realicen con dicho recurso, para de esta forma evitar deterioro o daños en la salud y que cumplan con la normativa vigente en Ecuador.

1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua para consumo humano de los barrios Central, Alisuco y La Unión de la parroquia Cutuglagua.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la normativa INEN 1108 y el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 para agua cruda y consumo humano con el fin de evaluar la calidad del recurso hídrico de los barrios Central, Alisuco y, la Unión ubicados en la parroquia Cutuglagua.
- Determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para calcular el grado de contaminación del agua.
- Examinar el estado de los tanques presentes en todo el recorrido de la línea de conducción y su sistema de tratamiento del agua.

1.3 Fundamentos teóricos

1.3.1 Calidad del agua

El término “calidad de agua” resulta muy ambiguo ya que con el pasar del tiempo los conocimientos sobre el tema han ido en evolución, además de que existe una dificultad en determinar los factores y variables espaciales - temporales, utilizadas para detallar el estado de las fuentes de agua en términos cuantitativos (Sierra, 2011).

Las características cualitativas y cualitativas, son descritas por parámetros fisicoquímicos y biológicos que posee el recurso, que depende de la actividad a la cual sea destinada. Actualmente la calidad del agua es indispensable para el desarrollo de las labores cotidianas de la población que cada vez incrementa a nivel mundial (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Según Marín (2003), la contaminación acuática se produce por la interacción del hombre con la naturaleza lo que causa alteraciones como: deterioro en los organismos vivos, efectos negativos a la integridad de las personas, problemas al realizar actividades acuáticas recreativas y de riego, etc. El representar la calidad del agua puede realizarse mediante dos formas:

- Medición de parámetros físicos (turbiedad, color, etc.), químicos (pH, DQO, etc.) o microbiológicos (bioensayos).
- Uso de un índice de calidad del agua.

Ambos métodos se utilizan con la misma finalidad y las mediciones que se requieren pueden ser analizadas en campo o en el laboratorio, y se obtendrán resultados que posteriormente se han de interpretar. Para realizar los análisis mencionados anteriormente, se debe estudiar las características del agua de acuerdo a su clasificación como: agua cruda (superficial, subterránea, marina, etc.), residual y tratada (Chacón, 2016).

1.3.2 Parámetros físicos, químicos y biológicos

Para conocer el estado en el que se encuentra el agua es indispensable medir ciertos parámetros que ayudan a conocer su calidad, estos se clasifican en: físicos, químicos y microbiológicos; existen varios métodos para el monitoreo, es por ello que existen agencias mundiales encargadas de estudiar, diseñar y regular tanto estándares como metodologías para realizar los análisis en el laboratorio (Sierra, 2011).

Parámetros físicos

Son aquellos que se relacionan directamente con las condiciones estéticas del agua; así como también aquellas que son perceptibles a los sentidos. La mayoría de ellos son fáciles de evidenciar como: color, sabor, olor y turbidez (CAWST, 2013).

- **Color**

Al agua se la considera incolora, sin embargo, las causas que producen el color de un agua son: descomposición de vegetación, presencia de metales especialmente hierro, manganeso y cobre presentes en el subsuelo, residuos industriales altamente coloreados (Marín, 2003). Según Romero (2009), el color se clasifica como: verdadero y aparente.

- **Sólidos suspendidos**

También conocido como residuo no filtrable, se considera que estos sólidos (SS) son las partículas finas mayores a un micrómetro que se hallan suspendidas en el agua. Estas pueden ser materia orgánica e inorgánica particulada en el agua como: aceites, arcillas, arenas, fangos, grasas, etc. La turbidez y el color están estrechamente ligadas a los SST (Rodier, Legube, & Merlet, 2011).

- **Sólidos totales**

Los sólidos totales (ST), abarcan el material disuelto y no disuelto en el agua, es decir, son los residuos que permanecen luego del secado de una muestra a 105 °C (Campos, 2000).

- **Temperatura**

Se encuentra ligada al tiempo en que el agua puede contener oxígeno, y la rapidez con la que los nutrientes se regeneran. Cuando el agua posee temperaturas elevadas puede aumentar la proliferación de microorganismos y traer problemas en cuanto al sabor, olor, color y corrosión; así también se presenta una disminución del oxígeno disuelto (CAWST, 2013). La temperatura adecuada para el agua potable se ubica entre 4 y 10 °C, por lo que su medición es importante para realizar los análisis de laboratorio debido a que varios

parámetros se relacionan directamente, es por esto que se debe medir en el sitio de muestreo (Romero, 2009).

- **Turbiedad**

La turbiedad es la encargada de medir la dispersión o interferencia del paso de la luz en una muestra de agua, a causa de las partículas que se encuentran suspendidas; tales como: arcilla, limos, coloides, plancton, microorganismos, etc (Chacón, 2016). La turbiedad se produce ya sea por erosiones naturales que aportan residuos sólidos a los ríos; o por contaminación antrópica (Sierra, 2011).

Parámetros químicos

El agua posee una composición química natural que puede verse afectada por las diferentes labores que realizan los seres humanos, lo que provoca que nuevas sustancias se unan a las vertientes de agua y causen contaminación (García, 2013).

- **Aluminio**

Como señala la OMS (2021), es el elemento metálico más abundante, las sales que contiene este elemento se utilizan para el tratamiento del agua para bajar los niveles de color, materia orgánica, microorganismos y turbiedad. No obstante, al utilizar estas sales en forma de coagulantes se da un incremento de las concentraciones de aluminio en el agua lo que provoca turbidez y un cambio en el color del agua.

- **Cobre total**

Al cobre se lo puede encontrar en agua superficiales en su forma natural con concentraciones menores a 1 mg/l, lo que es un valor bastante bajo que no produce riesgos en la salud, pero si se bebe agua que supera el límite máximo permisible ocasionará problemas gastrointestinales e incluso lesiones renales y hepáticas a largo plazo. Su presencia se vincula estrechamente con la corrosión que se produce en las tuberías de las viviendas (Aurazo, Barrenechea, Cánepa, & Maldonado, 2004).

- **Cloro libre residual**

Chacón (2016), menciona que es la concentración de cloro presente en el recurso después de haber realizado la dosificación, la acción oxidante del mismo se lleva a cabo cuando se ha consumido en un cierto tiempo de contacto. Es importante mantener pequeñas concentraciones de cloro libre residual, en la red de distribución, para de esta forma asegurar un agua desinfectada. Sin embargo, la ausencia de este parámetro no es señal de presencia

de contaminación microbiológica. En altas concentraciones es perjudicial para la salud del consumidor (Aurazo de Zumaeta, 2004).

- **Cloruros**

Los cloruros generalmente aparecen en los cuerpos hídricos debido a la presencia de contenido mineral, por ejemplo, en aguas superficiales su contenido no sobrepasa los 60 mg/l. Cuando las fuentes hídricas presentan altos valores de cloruros produce un sabor salado; así como también provoca corrosión en estructuras metálicas (Chacón, 2016).

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

El ensayo de la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la oxidación de la materia orgánica biodegradable contenida en la muestra. La DBO₅ se la realiza en condiciones anaeróbicas, durante un periodo de 5 días y a 20°C (Romero, 2009).

La DBO₅ se relaciona indirectamente con la DQO, esto es de importancia ya que de esta premisa parten los cálculos para determinar los valores que se utilizarán en el estudio realizado en el laboratorio mediante el método OxiTop. A continuación, la tabla 1 indica un rango de medida de la DBO₅ esperada, la misma que está relacionada con un volumen de muestra a analizar (HACH, 2000).

Tabla 1. Volumen de muestra respecto al rango de medida de DBO₅ esperado.

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

Fuente: (Serrano & Santiuste, 2008).

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

El ensayo de la DQO se utiliza para establecer la carga orgánica de una muestra de agua mediante oxidación química. Al realizar el análisis de la DQO se encuentra la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica presente en el líquido (Romero, 2009). La DQO es mayor a la DBO porque en su análisis se usan componentes químicos que a más de oxidar

la materia orgánica también oxidan la materia inorgánica en una muestra de agua; además este es un ensayo mucho más rápido (Rodríguez, 2007).

- **Dureza**

El agua naturalmente contiene sales de magnesio y calcio que son las concentraciones que forman la dureza, pero también existen iones que se encuentran en menor cantidad como son el magnesio, hierro y aluminio. Los componentes principales de la dureza son los cloruros, bicarbonatos y sulfatos (García, 2013).

La gran cantidad de magnesio y calcio generan inconvenientes como, incrustaciones en tuberías o equipos mecánicos lo que afecta al sistema de distribución (Sierra, 2011). La siguiente tabla ilustra la clasificación del agua en función de la dureza.

Tabla 2. Clasificación de las aguas de acuerdo al rango de dureza.

Clasificación	Dureza (mg/l de CaCO₃)
Muy suaves	0 a 15
Suaves	16 a 75
Medias	76 a 150
Duras	151 a 300
Muy duras	Más de 300

Fuente: (Sierra, 2011).

- **Hierro total**

Su presencia en cuerpos hídricos se debe a la disipación de minerales, rocas y esencialmente a carbonatos, óxidos, silicatos y sulfuros que poseen este metal (Chacón, 2016). En presencia de oxígeno este compuesto se precipita y origina problemas como: sólidos sedimentables, dificulta los procesos de tratamiento, además de cambiar el color, olor y sabor produce manchas en la ropa y aparatos sanitarios. (Sierra, 2011).

- **Fosfatos**

Se deriva del fósforo inorgánico que está en forma de mineral en el agua, así como también se presenta como: partículas, residuos sueltos o en organismos acuáticos. Cuando se presenta en altas concentraciones se produce un crecimiento excesivo de algas, lo que altera el porcentaje de oxígeno en el agua que a su vez desemboca en eutrofización (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

- **Manganeso**

El manganeso se encuentra en gran cantidad en rocas sedimentarias. Debido a que los compuestos del óxido de manganeso se separan mediante lixiviación estos se acumulan en los suelos es por ello que se lo encuentra en aguas subterráneas (Chacón, 2016).

El agua con presencia de manganeso, al tener contacto atmosférico se vuelve turbia y cambia las condiciones estéticas del agua, se conoce que no causa afecciones a la salud, sin embargo, corroe los accesorios y líneas de conducción (Romero, 2009).

- **Nitratos**

Los nitratos forman el grupo nitrogenado que prevalece en aguas naturales, cuando sobrepasa el límite máximo permisible en el agua potable puede causar en los infantes una enfermedad llamada metahemoglobinemia. Es considerado como un nutriente primordial para microorganismos autótrofos fotosintéticos (INEN, 1981).

Se lo reconoce como un índice de contaminación ambiental de origen antrópico, pues su presencia en ríos está relacionada a los vertidos sin tratamiento previo de actividades industriales, ganaderas o urbanas y principalmente a los residuos de fertilizantes utilizados en actividades agrónomas (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

- **Nitritos**

Los nitritos se forman a partir de la biodegradación de nitratos. En el agua superficial se encuentran bajos niveles de concentración, sin embargo, al sobrepasar los límites permisibles puede generar compuestos cancerígenos, y daños a especies acuáticas. Son menos solubles y estables que los nitratos e indican contaminación fecal (Sierra, 2011).

- **Nitrógeno amoniacal**

Es el producto de la degradación del nitrógeno orgánico e indica contaminación orgánica, altas cargas de NH_3 en el agua superficial implican un vertido de aguas residuales y domésticas, lo que origina una disminución del oxígeno disuelto, el cual debe ser consumido en el proceso de degradación bacteriana de nitrógeno amoniacal y provoca un ambiente anóxico que degrada la calidad del agua, produce la muerte de especies, entre otros problemas (González, 2013).

- **Potencial hidrógeno pH**

Este parámetro mide la cantidad de iones de hidrógeno presente en el agua, expresa el grado de alcalinidad o acidez de una sustancia por medio de un intervalo que varía de 0 a 14, en donde 7 es el valor medio o neutro, si es menor a 7 indica acidez al tener más iones de

hidrógeno, mientras que, si es mayor a 7 es alcalinidad al poseer más iones de hidróxido (UCM, 2015).

El pH es de suma importancia en cuanto a sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales, valores extremos de pH causan destrucción a fauna marina y flora, así como reacciones secundarias dañinas (Fundación Nacional de Salud, 2013).

- **Zinc**

El zinc en el agua potable se origina por el contacto que tiene con las estructuras de bronce o galvanizadas, este suele ser un indicador de contaminación por descargas industriales. La aparición de zinc ocasiona daños en la salud, como anemia, vómitos, náuseas, etc; así también cambia el sabor del agua (Aurazo, Barrenechea, Cánepa, & Maldonado, 2004).

Parámetros biológicos

El riesgo más importante que se da en el agua es la presencia de enfermedades infecciosas producto de la contaminación microbiológica, por lo que se deben realizar análisis que determinen la presencia de patógenos (coliformes totales y fecales) en el recurso hídrico (OMS, 2017).

- **Coliformes totales**

Es la asociación de bacterias que habitan en plantas, suelos, animales y humanos, se utilizan para evaluar la calidad bacteriológica por medio de análisis como el número más probable o la filtración a través de una membrana con el fin de garantizar la seguridad de diversos productos que son usados para el consumo humano (Castro, 2009).

- **Coliformes fecales**

Se los conoce como un subgrupo de los coliformes totales que son utilizados como indicadores de contaminación fecal, tienden a soportar elevadas temperaturas y se pueden reproducir en biopelículas que se encuentran de las tuberías del sistema de agua potable, por eso este indicador permite identificar si existe presencia de contaminación bacteriana (Fundación Nacional de Salud, 2013).

1.3.3 Índice de calidad del agua

Es un método que permite evaluar la gestión del recurso hídrico por medio de cálculos de distintos parámetros, por lo tanto, los análisis realizados en laboratorio deben ser exactos y certificados de tal forma que las características del recurso hídrico se vean reflejados en el cálculo global de este índice (Ruiz, Carvajal, & Escobar, 2007). El ICA está relacionado con

la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que poseen un determinado grado de importancia; tal como muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente de ponderación para el cálculo del ICA.

Parámetro	Importancia	Parámetro	Importancia
pH	1	Nitratos	2
Color	1	Nitrógeno amoniacal	2
Turbiedad	0,5	Fosfatos	2
Sólidos suspendidos	1	Cloruros	0,5
Dureza total	1	Oxígeno disuelto	5
DBO	5	Coliformes fecales	4
Alcalinidad	1	Coliformes totales	3

Fuente: (Peñafiel, 2014).

Después de haber calculado el índice de calidad de agua se interpreta el resultado mediante una escala para saber el grado de contaminación del agua, como indica la tabla 4.

Tabla 4. Rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general.

Valor del índice de calidad	Clasificación
85 – 100	No contaminado
70 – 84	Aceptable
50 – 69	Poco contaminado
30 – 49	Contaminado
0 – 29	Altamente contaminado

Fuente: (Peñafiel, 2014).

1.3.4 Muestreo

Para el estudio de la calidad del agua de un sistema de distribución, es indispensable tomar muestras en diferentes puntos que sean lo más representativas para llevar a cabo análisis de los parámetros definidos en base a normas técnicas (OMS Ginebra, 2018). La OMS (2018) aconseja considerar los criterios expuestos a continuación:

- Las muestras deben ser representativas de las fuentes de agua del sistema de abastecimiento.
- Tomar muestras en donde pueda existir una fuente de contaminación ya sea por malas condiciones del sistema o fuentes no protegidas.
- Es importante que los puntos se encuentren distribuidos de manera uniforme por lo que el número de puntos a muestrear debe ser proporcional al número de conexiones.

- Los puntos deben ser de fácil acceso para la toma de la muestra.

1.3.5 Sistema de abastecimiento de agua potable

Este sistema comprende ciertos componentes fundamentales como: captación, conducción, tratamiento, tanques de distribución, red de distribución y conexiones domiciliarias; para brindar bienestar y salud a la población (Gobierno de Aragon, 2012).

Tanque de captación

Son obras civiles de un sistema hidráulico, que son consideradas como la parte inicial del sistema por lo que se encargan de captar el agua que va a abastecer a la población, es importante tomar en cuenta ciertos aspectos de la fuente de abastecimiento como la topografía, la cantidad de agua a almacenar y la localización (Jiménez, 2013).

Conducción

Conjunto de estructuras y elementos encargados de transportar el líquido desde la captación hasta un punto determinado que puede ser una planta de potabilización, un tanque de regulación o la zona de consumo (Jiménez, 2013). Los sistemas de conducción pueden funcionar a gravedad o bombeo, es decir, en el primer caso la fuerza que impulsará al líquido para que siga su recorrido será la gravedad, por otra parte, cuando un sistema funciona por bombeo existe un mecanismo que se encarga de brindar energía extra al sistema para que complete el recorrido (Pérez, 2018).

Tratamiento

Es el proceso por el cual el agua captada es potabilizada mediante procesos físicos, químicos o mecánicos, para así eliminar sólidos inertes, materia orgánica, agentes bacteriológicos, etc lo que garantiza que sea segura para consumo humano y que tenga una buena presentación (Lossio, 2012).

Tanque de almacenamiento - distribución

Estos tanques almacenan el agua proveniente de las fuentes de captación, se los conoce como elementos reguladores, ya que distribuyen el agua respecto a la demanda requerida; además aportan con un volumen extra en caso de sequía, es por ello que se debe hacer un mantenimiento frecuente de estas estructuras (Pradana & García, 2019).

Red de distribución

Es una estructura conformada por tuberías y accesorios, encargada de transportar el agua desde los tanques de distribución hasta los domicilios, con el fin de abastecer a todo momento a la población con el recurso suficiente y de alta calidad (CONAGUA, 2011). Entre los tipos

de redes, existen dos tipos: la red ramificada que posee un ramal principal del cual surgen varias derivaciones y la mallada que se caracteriza por tener varias tuberías interconectadas en un circuito cerrado (Villacis, 2018).

Conexión domiciliaria

Está formada por un conjunto de tuberías y accesorios (unión de empalme, toma de incorporación, etc.) que se conectan al sistema de distribución que provee de agua potable hasta llegar al medidor domiciliario (SENASBA, 2016).

1.3.6 Marco legal

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

El TULSMA se encarga de reunir todas las leyes y normativas que se basan en la vigilancia y cuidado de los recursos naturales para que se resuelvan los problemas ambientales existentes (Regalado, 2012).

INEN 1108

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 trata acerca del agua potable y establece los requisitos a cumplir para que sea apta para consumo humano, esta normativa aplica para los sistemas de abastecimiento de agua potable mediante redes de distribución y tanqueros, tanto públicos como privados (INEN, 2020).

2 METODOLOGÍA

2.1 Acercamiento a las autoridades del GAD Cutuglagua

En el mes de noviembre de 2020, se planificó una reunión con la Sra. Aurora Carvajal Monar presidenta del GAD Cutuglagua, quien indicó que muchos de los barrios que conforman la parroquia, presentan problemas con respecto al manejo del agua. Posteriormente se mantuvieron conversaciones con el Sr. Segundo Gualotuña (presidente de la Junta de Agua Potable), quien comentó que se han suscitado inconvenientes referentes a calidad del agua. Por consiguiente, se presentó la idea de realizar el trabajo de titulación para evaluar las características del agua que se distribuye a los barrios Alisuco, Central y La Unión.

2.2 Visita al lugar de estudio y recopilación de información

En el mes de diciembre de 2020, se programó una visita a la zona de estudio, donde se llevó a cabo el presente proyecto. La tabla 5, muestra las coordenadas que se tomaron, durante el recorrido por el sistema de abastecimiento de agua, para los puntos de muestreo, seleccionados, para la determinación de la calidad del agua. Se inició en el sitio de la captación de la vertiente, donde se encuentran dos fuentes de agua natural, y se les denominó como “Vertiente 1” y “Vertiente 2”, que llegan hacia diferentes estructuras hidráulicas, que fluyen hacia el tanque de almacenamiento de agua cruda.

Al continuar con el recorrido de la línea de conducción inicia el tratamiento del agua cruda mediante un sistema de aireación provisto de bandejas perforadas que realizan el tratamiento preliminar; para a continuación comenzar con el proceso de desinfección por medio de la adición de cloro granulado. Después, el agua pasa hacia los tanques de distribución, para posteriormente suministrar el agua a la población. Por último, se conocieron algunas viviendas que serán puntos clave para el muestreo.

Tabla 5. Coordenadas del recorrido de la zona de estudio.

Puntos GPS	Coordenadas	
	Longitud	Latitud
Vertiente 1	-78,570902	-0,362309
Vertiente 2	-78,570794	-0,362098
Tanque de almacenamiento	-78,564558	-0,363654
Entrada al sistema de tratamiento	-78,558688	-0,358424
Tanque de distribución al barrio La Unión	-78,5585	-0,358406
Tanque de distribución al barrio Central y Alisuco	-78,55861	-0,358488
Casa inicial barrio La Unión	-78,55734	-0,359458
Casa final barrio La Unión	-78,550439	-0,36538
Casa inicial barrios Central y Alisuco	-78,550318	-0,363666
Casa final barrios Central y Alisuco	-78,548661	-0,361185

2.3 Descripción de la zona de estudio

Los barrios Alisuco, Central y La Unión están ubicados al sur occidente del centro de la parroquia. La zona de estudio se encuentra a una altitud de 3137 msnm y tiene una extensión de 360 hectáreas aproximadamente, en la figura 1 se indica el recorrido que se realizó para reconocer los puntos clave que contribuyeron al desarrollo del presente proyecto (Secretaría del Agua DHE, 2020).

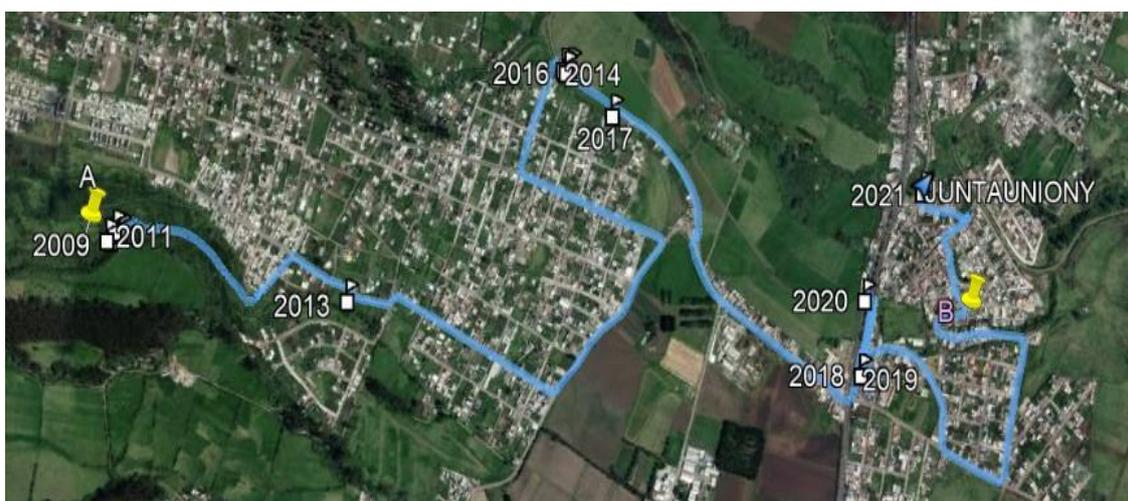


Figura 1. Ubicación y recorrido de los puntos muestreados.

En la tabla 6 se presentan los puntos estratégicos que se designaron para llevar a cabo el plan de muestreo en la Junta Administradora de Agua perteneciente a los barrios Central, Alisuco y La Unión de la parroquia Cutuglagua. Además, se indican como fueron denominados los sitios clave, que fueron una guía al momento de realizar las visitas técnicas y el monitoreo de la calidad del agua.

Tabla 6. Descripción de los puntos muestreados.

Puntos	Descripción
2010	Vertiente 1
2011	Vertiente 2
2013	Tanque de almacenamiento
2014	Entrada al sistema de tratamiento
2015	Tanque de distribución al barrio La Unión
2016	Tanque de distribución a los barrios Central y Alisuco
2017	Casa inicial barrio La Unión
2019	Casa final barrio La Unión
2020	Casa inicial barrios Central y Alisuco
2021	Casa final barrios Central y Alisuco

2.4 Plan de muestreo

El plan de muestreo propuesto está sujeto a normativas ecuatorianas lo que garantizó que el trabajo en campo sea el adecuado, además de brindar información acerca de la conservación y preservación de las muestras tomadas, ya que así se asegura que no se hayan alterado las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras de agua recolectada, por lo tanto, se empleó como guía de muestreo y análisis de parámetros el “Manual de Análisis de Agua HACH” y el plan de muestreo realizado por las autoras del presente trabajo (Ver Anexo 1).

2.4.1 Toma de muestras en la zona de estudio

El muestreo se efectuó en las vertientes 1, y 2, tanque de almacenamiento, antes del tratamiento, tanques de distribución y viviendas estratégicas. Las muestras se receptaron para realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio; para lo cual se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Análisis fisicoquímicos

Para la recolección de este tipo de muestras se utilizaron botellas de vidrio químicamente limpias. Además, al momento de realizar la toma de muestra cada recipiente se homogeneizó dos o tres veces para curarlo y el volumen de muestra que se tomó fue de aproximadamente 1 litro, para cada uno de los puntos sujetos a estudio.

Análisis bacteriológicos

Para el almacenamiento de estas muestras se utilizaron envases químicamente estériles. Para realizar la recolección de las muestras se tomó en cuenta dos aspectos importantes, el primero es evitar la homogeneización de los envases, el segundo y más importante el no llenar completamente el frasco, para dejar un “colchón de aire” el cual previno la muerte de los microorganismos.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para la toma de muestras en campo, a lo largo de todo el recorrido indicado en la figura 1.

- **Tanques**

Al tener un difícil acceso para realizar la toma de muestras del recurso se utilizó el método del balde y la soga, con el cual se tomó una cantidad representativa de líquido para posteriormente, y con la ayuda de jarras, proceder a llenar los recipientes que contuvieron las muestras que fueron llevadas al laboratorio. Se tomó en cuenta el curar el balde, y tener

cuidado de no rozar las paredes del tanque, para así evitar interferencias en los posteriores análisis.

Este método se utilizó únicamente para muestras correspondientes a análisis fisicoquímicos, por tal razón se etiquetó de manera adecuada cada uno de los contenedores de muestras.

Por el contrario, el muestreo para realizar análisis microbiológicos, no pudo realizarse mediante el método anteriormente mencionado, ya que para este tipo de muestras el recipiente no se homogeneizó, sino más bien se tomó inmediatamente el líquido y se dejó un colchón de aire para conservar a los microorganismos vivos.

- **Grifos de agua domiciliaria**

Para la toma de muestras correspondientes a análisis fisicoquímicos, se realizó la apertura del grifo y se dejó correr el agua por 5 minutos ininterrumpidos. Después se procedió a colocar el recipiente a una distancia considerable del grifo y a llenarlo por completo.

Por otra parte, antes de recolectar las muestras destinadas a análisis microbiológicos, es necesario dejar circular el agua por 5 minutos ininterrumpidos, luego se procedió a esterilizar el grifo con la ayuda de una fosforera. Finalmente, se realizó la toma de la muestra, y se tuvo en cuenta el dejar un “colchón de aire”.

2.5 Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

2.5.1 Parámetros *in situ*

La medición de parámetros empezó por aquellos que es posible realizarlos *in situ*, estos fueron: temperatura, pH y oxígeno disuelto, esto se consiguió con la ayuda de un equipo llamado medidor multiparámetros portátil, tal como muestra la figura 2. Este equipo brinda valores cuantitativos de los indicadores anteriormente nombrados, es por ello que este aparato debe estar calibrado, para evitar errores en la medición.



Figura 2. Mediciones *in situ* (temperatura, pH y oxígeno disuelto).

El parámetro de turbidez también se lo realizó en campo, para ello se tomó la muestra de agua, se procedió a curar la celda 2 o 3 veces y luego se llenó con 10 ml de la misma.

Posteriormente se introdujo en el turbidímetro para realizar la medición, tal como indica la figura 3.



Figura 3. Medición de turbidez (*in situ*).

El cloro libre y total se midió con el equipo llamado medidor de cloro, al ser un equipo portátil se pudo realizar estos análisis *in situ*, para ejecutar la medición se utilizaron dos celdas que contenían 10 ml de muestra. Una de ellas fue destinada para ser el blanco y encendió el equipo, por otra parte, a la segunda celda se le agregó una bolsa de polvo de reactivo cloro DPD libre y total, respectivamente. Finalmente se insertó la celda con reactivo al medidor, como muestra la figura 4.



Figura 4. Medición de cloro libre y total.

Para analizar los parámetros restantes, en apoyo con el laboratorio de la Escuela de Formación de Tecnólogos “ESFOT” y el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental “LDIA”, se hizo uso de sus instalaciones para realizar los debidos procedimientos según sea el caso. A continuación, se detallarán estos parámetros con su debido procedimiento.

2.5.2 Parámetros analizados en laboratorio

Alcalinidad total

Para determinar la alcalinidad se empleó el método volumétrico, para lo que se utilizaron 100 ml de muestra a ser titulada y como agente titulante ácido sulfúrico 0.02 N. La muestra se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se agregaron 2 gotas de indicador naranja de metilo, lo que causó que la muestra se torne de un color amarillento. Después con la ayuda del agente titulante que previamente se colocó en una bureta se realizó el proceso de titulación hasta que la muestra realizó un ligero viraje a color naranja, como indica la figura 5.



Figura 5. Análisis en laboratorio de alcalinidad.

Una vez registrado el volumen que se gastó durante la titulación, se procedió a calcular la alcalinidad total mediante la ecuación descrita a continuación.

$$\text{Alcalinidad total} = \frac{V_{H_2SO_4} * N_{H_2SO_4} * 50000}{V_{muestra}}$$

Ecuación 1: Alcalinidad total (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Donde:

- $V_{H_2SO_4}$ = Volumen titulante H_2SO_4 (ml)
- $N_{H_2SO_4}$ = Concentración de H_2SO_4 (eq. químico/l)
- $V_{muestra}$ = Alícuota de la muestra titulada (ml)

Aluminio

Para iniciar con este análisis se procedió a colocar 50 ml de la muestra en un matraz aforado, después se añadió una bolsa de ácido ascórbico y una bolsa de polvo de reactivo de aluminio AluVer 3™ y se agitó al agregar cada compuesto. Después, se colocó esta mezcla en dos celdas, en una de las celdas se añadió una bolsa de polvo Blanqueador 3, la misma que fue el blanco en el análisis.

Para finalizar con la medición de este parámetro, se utilizó un espectrofotómetro HACH DR 2700, donde se colocó la celda que contenía el blanco y se procedió a encerrar el equipo, para después colocar la celda con la muestra a ser analizada. La figura 6 presenta la determinación de aluminio.

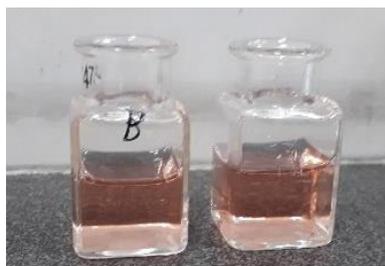


Figura 6. Análisis en laboratorio de aluminio.

Cobre

La determinación de cobre total se realizó al añadir 10 ml de la muestra en una celda. Esta fue utilizada como el blanco, se introdujo en el espectrofotómetro HACH DR 1900 y se encendió. En una segunda celda se añadieron 10 ml de muestra, a continuación, se agregó una bolsa de polvo reactivo de cobre CuVer 1™ y se diluyó el contenido con movimientos circulares sobre la palma de la mano. Una vez realizada la disolución, comenzó un tiempo de espera de dos minutos. Finalizado el tiempo se tomó la segunda celda, se insertó al espectrofotómetro y se realizó la medición. La figura 7 indica la determinación de cobre.



Figura 7. Análisis en laboratorio de cobre.

Color aparente

Para comenzar a realizar este análisis se procedió a llenar una celda con 10 ml de agua destilada la cual se insertó en el espectrofotómetro HACH DR 1900 y se encendió el equipo. Después se colocaron 10 ml de muestra en otra celda para llevar a cabo la medición del color aparente. La figura 8 presenta la determinación de color aparente del líquido muestreado.



Figura 8. Análisis en laboratorio de color aparente.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Para este parámetro se empleó el método respirométrico manométrico con la ayuda de un equipo WTW™, el cual contabilizó el consumo de oxígeno durante 5 días. Este procedimiento es sencillo ya que se colocó un volumen determinado de muestra en la botella color ámbar, además fue necesario insertar un agitador magnético para que el líquido se encuentre en continuo movimiento. En la parte superior de la botella se encuentra un manómetro que midió el descenso de presión de aire y lo expresó como unidades de mg/l de la DBO. La ecuación

presentada a continuación indica el cálculo para obtener la DBO₅ esperada, a partir de la cual se halló el volumen de la muestra que debe ingresar a la botella como indica la tabla 1.

$$DBO_{5 \text{ esperado}} = 80\% * DQO$$

Ecuación 2: Demanda bioquímica de oxígeno esperado (Navarro, 2007).

Donde:

- $DBO_{5 \text{ esperado}}$ = Demanda bioquímica de oxígeno esperado (mg/l)
- DQO = Demanda química de oxígeno (mg/l)

Después, se insertaron dos pastillas de NaOH en el receptáculo de caucho ubicado en la parte superior de la botella, luego se colocó la cabeza del OxiTop, y se presionó S y M en conjunto durante 2 segundos, para encerrar así el equipo. Por último, se introdujo la botella en el agitador del equipo y se lo incubó a 20 °C durante 5 días. Con el valor registrado en el equipo se procedió a calcular la DBO₅ real mediante la siguiente ecuación.

$$DBO_5 = Valor \text{ registrado} * factor$$

Ecuación 3: Demanda bioquímica de oxígeno (Navarro, 2007).

Donde:

- DBO_5 = Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)
- $Valor \text{ registrado}$ = Medición en laboratorio (mg/l)
- $Factor$ = Valor adimensional, tomado de la tabla 1

Demanda química de oxígeno (DQO)

Para realizar el análisis de este parámetro se utilizaron viales de rango bajo para DQO, ya que debe presentar niveles bajos de contaminación al ser un agua cruda.

Primero se encendió el digestor para que alcance una temperatura de 150 °C, mientras tanto, con la ayuda de una pipeta serológica se tomaron 2 ml de agua destilada y se colocaron en uno de los viales. A su vez se preparó otro vial en donde se introdujeron 2 ml de la muestra, ambos viales se taparon para agitarlos suavemente, inmediatamente se retiró la tapa de cada vial para eliminar los gases que se produjeron por la mezcla del ácido junto con la muestra.

Una vez hecho este procedimiento, se introdujeron los viales nuevamente tapados en el digestor durante dos horas. Al transcurrir este tiempo se retiraron los viales del digestor y se dejaron enfriar en una rejilla, cuando estos han tomado una temperatura manipulable, se realizó la medición con la ayuda del espectrofotómetro HACH DR 1900. La figura 9 muestra la determinación de la DQO mediante un análisis en laboratorio.



Figura 9. Análisis en laboratorio de la DQO.

Dureza total

Para medir este parámetro se empleó un método volumétrico. Con una pipeta se colocaron 25 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer, luego se agregaron 5 gotas de cloruro de amonio y con la ayuda de una espátula se añadió una porción pequeña de negro de ericromo, se homogeneizó y la disolución se tornó lila. Posteriormente se tituló con EDTA de concentración 0.01 N, hasta que se tornó de color lila al azul como se indica en la figura 10.



Figura 10. Análisis en laboratorio de dureza.

Una vez registrado el volumen que se gastó durante la titulación, se procedió a calcular la dureza mediante la ecuación descrita a continuación.

$$Dureza\ total = \frac{V_{EDTA} * M_{EDTA} * 100091}{V_{muestra}}$$

Ecuación 4: Dureza total (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Donde:

- V_{EDTA} = Volumen titulante EDTA (ml)
- M_{EDTA} = Concentración de EDTA (mol/l)
- $V_{muestra}$ = Alícuota de la muestra titulada (ml)
- **100091** = Peso atómico del carbonato de calcio (mg/mol)

Fosfatos

En primer lugar, se preparó el blanco, por lo que se colocaron 10 ml de la muestra en una celda, luego se introdujo la celda en el espectrofotómetro HACH DR 1900 y se encendió. Después en otra celda se añadieron 10 ml de la muestra y se agregó una bolsa de polvo reactivo de fosfatos PhosVer 3™, a continuación, se agitó la mezcla hasta que las partículas sólidas desaparezcan, finalmente se esperó dos minutos para que la muestra reaccione con el compuesto agregado y así poder medir el parámetro como indica la siguiente figura.



Figura 11. Análisis en laboratorio de fosfatos.

Hierro

Este parámetro fue analizado por espectrofotometría, para lo se preparó una disolución con 10 ml de muestra y una bolsa de polvo reactivo de hierro FerroVer™. Luego se agitó hasta obtener una mezcla homogénea. Seguido de esto se inicia un tiempo de reacción de tres minutos, durante ese tiempo se preparó una celda con 10 ml de muestra para ser utilizado como el blanco, se insertó la celda y se encendió el equipo. Por último, se realizó la medición de la disolución tal como indica la figura 12.



Figura 12. Análisis en laboratorio de hierro.

Manganeso

El análisis de este parámetro inició con la preparación de la disolución que estuvo compuesta de 10 ml de la muestra, una bolsa de polvo reactivo de ácido ascórbico, doce gotas de reactivo de cianuro alcalino y doce gotas de solución indicadora PAN 0.1%; durante la adición de cada compuesto se agitó la muestra. Se tuvo un tiempo de espera de dos minutos para que se dé la reacción, entre tanto se preparó el blanco, para lo cual se llenó una celda con 10 ml de

agua destilada, la misma que fue utilizada para encerrar el equipo. Finalmente se realizó la medición de manganeso tal como indica la figura 13.



Figura 13. Análisis en laboratorio de manganeso.

Nitritos

La medición de este parámetro dio inicio con la preparación del blanco. En una celda se colocaron 10 ml de la muestra, la cual sirvió para encerrar el espectrofotómetro. Seguido de ello se preparó la disolución en donde se mezclaron 10 ml de la muestra y una bolsa de polvo reactivo de nitritos NitrVer 3™ y se agitó. Finalmente se esperó diez minutos para que el compuesto añadido reaccione, para de esta forma analizar la cantidad de nitritos contenidos en la muestra como detalla la figura 14.



Figura 14. Análisis en laboratorio de nitritos.

Nitratos

Para el análisis se utilizaron dos celdas. Para elaborar el blanco, se añadieron 10 ml de muestra a una celda que inmediatamente se introdujo al espectrofotómetro y se encerró. Posteriormente se colocó otra celda con 10 ml de muestra, se agregó una bolsa de polvo reactivo de nitrato NitraVer 5™ y se agitó durante un minuto. Después se esperó cinco minutos para que se diera la reacción. Una vez pasado este tiempo se insertó en el espectrofotómetro HACH DR 1900 y se realizó la medición. La figura 15 presenta la determinación de nitratos del líquido recolectado.



Figura 15. Análisis en laboratorio de nitratos.

Nitrógeno amoniacal

Para cuantificar este parámetro se utilizó el método Nessler, se usaron 2 matraces aforados de 25 ml, uno de ellos se llenó con 25 ml de muestra, mientras que el otro con 25 ml de agua destilada, para ser este el blanco. A cada matraz se le agregaron 3 gotas de estabilizador mineral y se agitó hasta tener todo integrado, luego se colocaron 3 gotas del agente de dispersión de alcohol polivinílico a cada matraz, se mezcló hasta incorporar todo y se esperó 1 minuto. Con la ayuda de una pipeta se colocó 1 ml del reactivo Nessler en cada matraz, se agitó para mezclar. Por último, se trasladaron las soluciones a celdas de 10 ml, se encendió el espectrofotómetro con la celda que contenía la solución con agua destilada y se efectuó la medición con la celda que contenía la solución con la muestra. La figura 16 representa la determinación de nitrógeno amoniacal.



Figura 16. Análisis en laboratorio de nitrógeno amoniacal.

Sólidos totales y sólidos suspendidos totales

La figura 17 presenta la determinación de estos parámetros mediante el método gravimétrico, el cual se basa en realizar una serie de pesajes de distintos elementos. Con la ayuda de una balanza analítica se tomó el peso de un crisol (P_1), luego se colocó 100 ml de la muestra (V_m) en el crisol que posteriormente se introdujo a la estufa a 105 °C durante dos horas, donde se evaporó el líquido hasta que este desaparezca. Después de retirar el crisol de la estufa se colocó en un desecador, para que este se enfríe y poder manipularlo de tal manera que se pueda registrar un nuevo peso (P_2).

Por otra parte, se filtraron 150 ml de la muestra con ayuda de un Kitasato y papel filtro, seguido de esto se tomó 100 ml de la muestra filtrada (V_m) y se colocó en un crisol previamente pesado

(P_1'), para inmediatamente ser llevado a la estufa a 105 °C durante dos horas. Donde se evaporó el líquido hasta que este desapareció. Después de retirar el crisol de la estufa se colocó en un desecador, para que este se enfríe y poder manipularlo de tal manera que se pueda registrar un nuevo peso (P_2').



Figura 17. Análisis en laboratorio de sólidos suspendidos y totales.

Al obtener los resultados del laboratorio se determinó la concentración de estos sólidos con ayuda de las ecuaciones presentadas a continuación.

$$SDT = \frac{P_2' - P_1'}{V_m'} \quad ; \quad SS = ST - SDT \quad ; \quad ST = \frac{P_2 - P_1}{V_m}$$

Ecuación 5. Sólidos disueltos, suspendidos y totales (APHA; AWWA, WPCF, 1992).

Donde:

- SDT = Sólidos disueltos totales (mg/l)
- P_2' = Peso del crisol con residuos sólidos (mg)
- P_1' = Peso del crisol (mg)
- V_m' = Volumen de la muestra filtrada (l)
- SS = Sólidos suspendidos (mg/l)
- ST = Sólidos totales (mg/l)
- P_2 = Peso del crisol A con residuos sólidos (mg)
- P_1 = Peso del crisol A (mg)
- V_m = Volumen de la muestra (l)

2.5.3 Parámetros realizados en laboratorio acreditado

La emergencia sanitaria que atraviesa el país imposibilitó que las autoras del presente trabajo pudieran realizar los análisis de coliformes fecales, coliformes totales, cloruros y zinc. Por este motivo se encargó al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) la ejecución de los análisis correspondientes mediante una metodología certificada, para finalmente entregar los resultados cuantitativos.

2.6 Determinación del ICA

Para decidir que las características del agua en todos los puntos analizados sean aptas para el consumo humano, se determinó el índice de calidad del agua ya que este método se alinea con los valores cuantitativos obtenidos en el laboratorio. Además, es una metodología de fácil interpretación, ya que proponen ecuaciones que son el resultado de una secuencia de estudios propuestos por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Peñañiel, 2014). A continuación, se presenta la ecuación para cálculo del *ICA*.

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ecuación 6. Cálculo del ICA total (Peñañiel, 2014).

Donde:

- *ICA* = Índice de calidad del agua total
- *I_i* = Índice de calidad para el parámetro *i*
- *W_i* = Coeficiente de ponderación del parámetro *i*
- *n* = Número total de parámetros

Para el cálculo de este índice fue necesario tener las mediciones de ciertos parámetros presentados en la tabla 3 que se encuentra en el apartado de marco teórico. A continuación, se determinaron los subíndices de calidad de cada parámetro los mismos que fueron multiplicados por su respectivo coeficiente de ponderación, y finalmente se realizó la sumatoria correspondiente, tal como indica la ecuación 6.

2.6.1 ICA punto 1

El primer punto de análisis fue una vertiente que proviene del volcán Atacazo, al ser una fuente de agua superficial fue oportuno realizar la medición del grado de contaminación, para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones que dependen del parámetro de estudio.

pH

Si el potencial de hidrógeno es mayor a 7,3 se utilizó la siguiente ecuación.

$$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 \text{ pH}}$$

Ecuación 7. Índice del potencial de hidrógeno (Peñañiel, 2014).

Color

$$I_C = 123 (C)^{-0.295}$$

Ecuación 8. Índice de color (Peñañiel, 2014).

Turbidez

$$I_T = 108 (T)^{-0.178}$$

Ecuación 9. Índice de turbidez (Peñafiel, 2014).

Sólidos suspendidos

$$I_{SS} = 266.5 (SS)^{-0.37}$$

Ecuación 10. Índice de sólidos suspendidos (Peñafiel, 2014).

Alcalinidad

$$I_A = 105(A)^{-0.186}$$

Ecuación 11. Índice de alcalinidad (Peñafiel, 2014).

Dureza total

$$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174 (DT)}$$

Ecuación 12. Índice de dureza total (Peñafiel, 2014).

Nitrato

$$I_{N-NO_3} = 162.2 (N - NO_3)^{-0.343}$$

Ecuación 13. Índice de nitrato (Peñafiel, 2014).

Nitrógeno amoniacal

$$I_{NH_3} = 45.8 (N - NH_3)^{-0.343}$$

Ecuación 14. Índice de nitrógeno amoniacal (Peñafiel, 2014).

Fosfatos

$$I_{PO_4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46}$$

Ecuación 15. Índice de fosfatos (Peñafiel, 2014).

Cloruros

$$I_{Cl^-} = 121 (Cl)^{-0.223}$$

Ecuación 16. Índice de cloruros (Peñafiel, 2014).

Oxígeno disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100$$

Ecuación 17. Índice de oxígeno disuelto (Peñafiel, 2014).

DBO

$$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$$

Ecuación 18. Índice de demanda bioquímica de oxígeno (Peñafiel, 2014).

Coliformes fecales

$$I_{CF^-} = 97.5 [5 (CF)]^{-0.27}$$

Ecuación 19. Índice de coliformes fecales (Peñafiel, 2014).

Coliformes totales

$$I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27}$$

Ecuación 20. Índice de coliformes totales (Peñafiel, 2014).

2.6.2 ICA punto 2

El segundo punto analizado fue la vertiente que proviene del volcán Corazón, al ser una fuente de agua superficial fue oportuno realizar la medición del grado de contaminación, para lo cual se utilizaron las ecuaciones desde la 8 hasta la 20, que corresponden a los parámetros de color, turbidez, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza total, nitrato, nitrógeno amoniacal, fosfatos, cloruros, oxígeno disuelto, DBO, coliformes fecales y coliformes totales; respectivamente.

Por otra parte, para determinar el índice de potencial de hidrógeno cuando el pH es menor a 6,7 se utilizó la ecuación presentada a continuación.

$$I_{pH} = 10^{0.2335pH+0.44}$$

Ecuación 21. Índice del potencial de hidrógeno (Peñafiel, 2014).

2.6.3 ICA punto 3

Los parámetros analizados en laboratorio pertenecientes a este punto brindaron valores indispensables para determinar el índice de calidad del líquido que desemboca en un tanque encargado de juntar los caudales de las vertientes mencionadas en el punto 1 y 2. Los índices que se determinaron en este punto fueron: color, turbidez, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza total, nitrato, nitrógeno amoniacal, fosfatos, cloruros, oxígeno disuelto, DBO, coliformes fecales, coliformes totales y pH; los mismos que se encuentran expresados en las ecuaciones desde la 8 a la 21 respectivamente.

2.6.4 ICA punto 4

Este punto de análisis junta el caudal que ha recorrido toda la red de agua potable, desde la captación hasta el ingreso al tratamiento. En este sitio se decidió evaluar los índices correspondientes a color, turbidez, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza total, nitrato, nitrógeno amoniacal, fosfatos, cloruros, oxígeno disuelto, DBO, coliformes fecales, coliformes totales y pH; los mismos que se encuentran expresados en las ecuaciones desde la 8 a la 21 respectivamente.

2.6.5 ICA punto 5

El agua tratada llega hacia el primer tanque de distribución perteneciente al barrio la Unión, donde se determinaron los índices correspondientes a los parámetros de color, turbidez, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza total, nitrato, nitrógeno amoniacal, fosfatos, cloruros, oxígeno disuelto, DBO, coliformes fecales, coliformes totales y pH; los mismos que se encuentran descritos en las ecuaciones desde la 8 a la 20 respectivamente.

Al haber obtenido un valor de pH que se encuentra en un intervalo de 6,7 a 7,3; se utilizó la ecuación presentada a continuación.

$$I_{pH} = 100$$

Ecuación 22. Índice del potencial de hidrógeno (Peñafiel, 2014).

2.6.6 ICA punto 6

Para analizar el índice de calidad del líquido que desemboca en el tanque de distribución que pertenece a los barrios Central y Alisuco, es así que se decidió determinar los índices correspondientes a los parámetros de color, turbidez, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza total, nitrato, nitrógeno amoniacal, fosfatos, cloruros, oxígeno disuelto, DBO, coliformes fecales, coliformes totales y pH; los mismos que se encuentran descritos en las ecuaciones desde la 8 hasta la 21, respectivamente.

2.7 Análisis técnico de tanques y sistema de tratamiento

2.7.1 Verificación del estado de los tanques del sistema de agua potable

Para presentar datos técnicos de estas estructuras, se seleccionó un formato para realizar fichas catastrales de todos los tanques presentes en la red de agua potable. Los estudios de Pradana & García (2019), han determinado los aspectos necesarios con los que debe contar este tipo de documentos técnicos, entre estos se encuentran: ubicación geográfica de la estructura, dimensiones (largo, ancho y profundidad), volumen máximo y mínimo, y otras características.

En el apartado de resultados se presentarán las 5 fichas catastrales correspondientes a los tanques existentes en la zona de estudio.

2.7.2 Evaluación del sistema de tratamiento

Al reconocer el sistema de saneamiento se observó una estructura preliminar al tratamiento, la cual está provista de bandejas perforadas, que según la bibliografía presentada por Lossio (2012), es una fase inicial correcta para tratar el recurso hídrico en pequeñas comunidades, además aporta beneficios a la calidad de la misma al remover olores, sabores y algunos gases (metano, cloro y amoníaco).

Por otra parte, la fase principal del sistema de tratamiento corresponde a la desinfección mediante cloración, la cual en un inicio se realizaba al añadir cloro gaseoso, lo cual resultó ser desfavorable para la comunidad ya que implica mayores costos de mantenimiento y accionamiento. Por este motivo se implantó un sistema básico de cloración que se asemeja a un hipoclorador por goteo, sin embargo, en la inspección técnica realizada se observó que la solución madre de cloro tenía una concentración excesiva de cloro, además presentaba sedimentos por lo que no era una solución homogénea y sus concentraciones eran variables e irregulares tal como indica la figura 18.



Figura 18. Tanque con solución madre de cloro.

Por todo lo mencionado anteriormente, se propuso una mejora al sistema de cloración, que en este caso fue un hipoclorador por goteo, que consta de: un tanque que contiene la solución madre de hipoclorito de calcio al 70% (la concentración de esta solución no debe sobrepasar los 5000 mg/l), el cual debe conectarse a un pequeño reservorio que estará compuesto por dos elementos principales, uno de estos es un flotador que controla el nivel del líquido presente y asegura que el reservorio siempre se mantenga lleno. El segundo elemento es un controlador de caudal, el cual regulará el número de gotas que caen hacia el agua a tratar (COSUDE, 2018).

A continuación, se presentarán los cálculos para hallar las dimensiones del tanque que contendrá la solución madre, la cantidad de hipoclorito de calcio a colocar dentro del mismo y el caudal de goteo que se mezclará con el agua a tratar.

Para empezar con el dimensionamiento del hipoclorador se determinó un caudal de ingreso, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación.

$$Q_{med} = \frac{Población * Dotación}{86400}$$

Ecuación 23. Caudal medio (COSUDE, 2018).

Donde:

- Q_{med} = Caudal medio (l/s)
- $Población$ = 1500 habitantes (Secretaría del Agua DHE, 2020)
- $Dotación$ = 60 (l/hab*día) (COSUDE, 2018).

Una vez determinado el caudal medio (Q_{med}), se procedió a maximizarlo al multiplicarlo por un factor K tal como indica la ecuación detallada a continuación.

$$Q_{máx} = Q_{med} * K$$

Ecuación 24. Caudal máximo (COSUDE, 2018).

Donde:

- $Q_{máx}$ = Caudal máximo (l/s)
- Q_{med} = Caudal medio (l/s)
- K = Coeficiente de mayorero, igual a 2,5 (COSUDE, 2018).

Después se calculó el volumen a ser dosificado con cloro en un período de tiempo tal como muestra la siguiente ecuación.

$$V = Q_{máx} * T$$

Ecuación 25. Volumen de agua a ser clorado (COSUDE, 2018).

Donde:

- V = Volumen de agua a clorar (l)
- $Q_{máx}$ = Caudal máximo (l/día)
- T = Tiempo de recarga de la solución clorada (días)

Una vez calculado el volumen a ser tratado, se procedió a hallar la cantidad de $CaClO_2$ que deberá ingresar a la solución madre, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación.

$$P_{CaClO_2} = \frac{V * C}{\% Cl * 10}$$

Ecuación 26. Peso de hipoclorito de calcio ($CaClO_2$) (COSUDE, 2018).

Donde:

- P_{CaClO_2} = Peso del hipoclorito de calcio (g)
- \forall = Volumen de agua a clorar (l)
- C = Concentración teórica del $CaClO_2$, igual a 1,5 (mg/l) (COSUDE, 2018).
- $\% Cl$ = Concentración de hipoclorito de calcio, igual a 70% (COSUDE, 2018).

Al conocer la cantidad de cloro que se encargará de tratar el caudal de ingreso, se halló el volumen de la solución madre, al utilizar la ecuación detallada a continuación.

$$\forall sol = \frac{\%Cl * 10 * P_{CaClO_2}}{C_{m\acute{a}x}}$$

Ecuación 27. Volumen de solución madre (COSUDE, 2018).

Donde:

- $\forall sol$ = Volumen de solución madre (l)
- $\% Cl$ = Concentración de hipoclorito de calcio, igual a 70% (COSUDE, 2018).
- P_{CaClO_2} = Peso del hipoclorito de calcio (g)
- $C_{m\acute{a}x}$ = Concentración de la solución madre, = 5000 (mg/l) (COSUDE, 2018).

Según COSUDE (2018), el hipoclorador por goteo debe tener 2 tanques, el primero contendrá la solución madre ($\forall sol$), que desembocará en un segundo tanque de 40 l de capacidad el cual controlará el caudal de goteo que se halló con la siguiente ecuación.

$$Qg = \frac{\forall sol}{T}$$

Ecuación 28. Caudal de goteo (COSUDE, 2018).

Donde:

- Qg = caudal de goteo (ml/min)
- $\forall sol$ = Volumen de solución madre (ml)
- T = Tiempo de recarga de la solución clorada (min)

Finalmente se determinó el número de gotas al dividir el caudal de goteo (Qg) para 0,12 ml que corresponde a la cantidad de líquido que contiene una gota de agua.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos en cada punto de muestreo. Además, se compararon estos resultados con las normativas TULSMA, extraídas del Acuerdo Ministerial 097, 2015 e INEN 1108, 6ta revisión, 2020. Dentro de los resultados que corresponden a mediciones (ver tablas desde la 7 hasta la 16), se pueden encontrar valores con las siguientes expresiones: < 5, < 1,1; las mismas que indican que estos parámetros se encuentran por debajo del límite de detección del equipo.

Tabla 7. Resultados de los parámetros del punto 1 - vertiente 1.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Alcalinidad	mg/l	120	-	-
Cloruros	mg/l	< 5	-	-
Cobre	mg/l	0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	16	-	15
DBO ₅	mg/l	1	< 2	-
DQO	mg/l	6	< 4	-
Dureza total	mg/l	32,28	-	-
Fosfatos	mg/l	0,51	-	-
Hierro total	mg/l	0,04	1	-
Manganeso	mg/l	< 0,006	-	0,4
Nitratos	mg/l	1,20	50	50
Nitritos	mg/l	1	0,2	3
Nitrógeno amoniacal	mg/l	< 0,4	-	1
Oxígeno disuelto	mg/l	7,03 - 145,86%*	-	-
pH		7,33	6 a 9	6,5 a 8
SS	mg/l	70	-	-
ST	mg/l	230	-	-
Temperatura	°C	14,64	-	-
Turbidez	NTU	1,50	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Los valores registrados en laboratorio indicaron que los parámetros de color aparente, DQO y nitritos se encuentran por encima del límite máximo permisible de las normativas ecuatorianas. La alta concentración de humus y otra materia vegetal en el punto de estudio se ven reflejados al haber obtenido un color de 16 UPtCo. Por otra parte, se evidenció la presencia de sólidos suspendidos y materia orgánica en proceso de descomposición generando eutrofización; proceso por el cual se origina un excedente de nutrientes y un alto consumo de oxígeno disuelto, lo que dificulta que los microorganismos puedan consumir la materia presente en el agua, reflejando concentraciones altas de DQO.

Tabla 8. Resultados de los parámetros del punto 2 - vertiente 2.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Alcalinidad	mg/l	117	-	-
Cloruros	mg/l	< 5	-	-
Cobre	mg/	< 0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	1	-	15
DBO ₅	mg/l	1	< 2	-
DQO	mg/l	17	< 4	-
Dureza total	mg/l	26,52	-	-
Fosfatos	mg/l	< 0,1	-	-
Hierro total	mg/l	0,12	1	-
Manganeso	mg/l	< 0,006	-	0,4
Nitratos	mg/L	0,80	50	50
Nitritos	mg/L	1	0,2	3
Nitrógeno amoniacal	mg/l	< 0,4	1	1
Oxígeno disuelto	mg/l	7,08 - 137,55%*	-	-
pH		6,50	6 a 9	6,5 a 8
SS	mg/l	6	-	-
ST	mg/l	108	-	-
Temperatura	°C	14,48	-	-
Turbidez	NTU	1,26	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Los resultados de los parámetros *in situ* fueron valores que cumplen con la normativa vigente, mientras que dos de los parámetros analizados en laboratorio como son la DQO y los nitritos

poseen concentraciones elevadas, lo que indica que el líquido en este punto tiene una gran cantidad de nutrientes bioacumulables que se encuentran adheridos a las paredes del tanque. Además, la presencia de vegetación y sedimentos provenientes del suelo de la zona elevan las concentraciones de los parámetros mencionados anteriormente.

Finalmente, resulta importante mencionar que el parámetro que corresponde a nitritos solo es superior al compararlo con el TULSMA, esto puede deberse a que la normativa INEN 1108 es más flexible en este aspecto.

Tabla 9. Resultados de los parámetros del punto 3 - tanque de almacenamiento.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Alcalinidad	mg/l	117	-	-
Cloruros	mg/l	< 5	-	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	3	-	15
DBO ₅	mg/l	1	< 2	-
DQO	mg/l	21	< 4	-
Dureza total	mg/l	28,90	-	-
Fosfatos	mg/l	< 0,1	-	-
Hierro total	mg/l	0,03	1	-
Manganeso	mg/l	< 0,006	-	0,4
Nitratos	mg/l	0,80	50	50
Nitritos	mg/l	1	0,2	3
Nitrógeno amoniacal	mg/l	< 0,4	-	1
Oxígeno disuelto	mg/l	7,09 - 184,56%*	-	-
pH		6,50	6 a 9	6,5 a 8
SS	mg/l	5	-	-
ST	mg/l	52	-	-
Temperatura	°C	14,55	-	-
Turbidez	NTU	1,35	100	5

En el punto 3, denominado tanque de almacenamiento se evidencia que los resultados obtenidos se alinean al límite estipulado por las normativas seleccionadas, con excepción de la DQO y los nitritos que se encuentran por encima del límite máximo permisible. Esto se debe a que en este punto se juntan los caudales de las vertientes, las mismas que tienen

altas concentraciones de sedimentos y nutrientes que aportan carga contaminante a este punto de estudio. Además, dentro del tanque el agua se ha mezclado con materia orgánica proveniente de la zona, debido a que las tapas de estas estructuras no son las adecuadas y el líquido entra en contacto con el ambiente.

Tabla 10. Resultados de los parámetros del punto 4 - entrada al sistema de tratamiento.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Alcalinidad	mg/l	117	-	-
Cloruros	mg/l	< 5	-	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPTCo	1	-	15
DBO ₅	mg/l	1	< 2	-
DQO	mg/l	11	< 4	-
Dureza total	mg/l	28,53	-	-
Hierro total	mg/l	0,02	1	-
Manganeso	mg/l	< 0,006	-	0,4
Nitratos	mg/l	0,90	50	50
Nitritos	mg/l	1	0,2	3
Nitrógeno amoniacal	mg/l	< 0,4	-	1
Oxígeno disuelto	mg/l	7,05 - 132,43%*	-	-
pH		6,50	6 a 9	6,5 a 8
SS	mg/l	1	-	-
ST	mg/l	54	-	-
Temperatura	°C	15,06	-	-
Turbidez	NTU	0,90	100	5

Los resultados obtenidos señalan que el agua al ingreso del sistema de tratamiento, se rige a la normativa TULSMA e INEN 1108, al poseer valores que se están bajo el límite máximo permisible. Sin embargo, hay dos parámetros que no se alinean a la normativa, estos son los nitritos y la DQO, que como se mencionó en los resultados de los anteriores puntos se debe a la presencia de materia orgánica y nutrientes. Por consiguiente, el líquido debe recibir un tratamiento previo a la distribución.

Tabla 11. Resultados de los parámetros del punto 5 - tanque La Unión.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Alcalinidad	mg/l	115	-	-
Aluminio	mg/l	< 0,008	-	-
Cloro libre	mg/l	0,88	-	0,3 a 1,5
Cloro total	mg/l	1,04	-	-
Cloruros	mg/l	< 5	-	-
Cobre	mg/l	< 0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	3	-	15
DBO ₅	mg/l	1	< 2	-
DQO	mg/l	8	< 4	-
Dureza total	mg/l	29,23	-	-
Fosfatos	mg/l	< 0,1	-	-
Hierro total	mg/l	0,03	1	-
Manganeso	mg/l	< 0,006	-	0,4
Nitratos	mg/l	0,90	50	50
Nitritos	mg/l	1	0,2	3
Nitrógeno amoniacal	mg/l	< 0,4	-	1
Oxígeno disuelto	mg/l	6,77 - 89,14%	-	-
Ph		6,75	6 a 9	6,5 a 8
SS	mg/l	0	-	-
ST	mg/l	56	-	-
Temperatura	°C	17,06		-
Turbidez	NTU	1,36	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Desde este punto en adelante fue pertinente analizar la cantidad de cloro libre y total ya que resulta importante conocer si la cantidad de cloro añadida en el tratamiento es la correcta. Al analizar las normativas vigentes en Ecuador y otros reglamentos latinoamericanos, se puede afirmar que la concentración de cloro libre en los tanques de distribución serán valores menores a 1,5 ppm, caso contrario se tendrán inconvenientes posteriores en la red de distribución y repercusiones a la salud de los pobladores.

Existen dos parámetros a tener en cuenta como son la DQO y nitritos, ya que en este punto se registraron valores que superan la normativa, esto ocurre debido a la presencia de materia inorgánica que no ha sido eliminada en los procesos anteriores; razón por la cual se propuso una mejora al sistema de desinfección, que asegura la disminución de las concentraciones de estos parámetros.

Tabla 12. Resultados de los parámetros del punto 6 - tanque Central y Alisuco.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Alcalinidad	mg/l	118	-	-
Aluminio	mg/l	< 0,008	-	-
Cloro libre	mg/l	1,25	-	0,3 a 1,5
Cloro total	mg/l	1,26	-	-
Cloruros	mg/l	< 5	-	-
Cobre	mg/l	< 0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	8	-	15
DBO ₅	mg/l	0	< 2	-
DQO	mg/l	7	< 4	-
Dureza total	mg/l	29,78	-	-
Fosfatos	mg/l	< 0,1	-	-
Hierro total	mg/l	0,03	1	-
Manganeso	mg/l	< 0,006	-	0,4
Nitratos	mg/l	0,90	50	50
Nitritos	mg/l	1	0,2	3
Nitrógeno amoniacal	mg/l	< 0,4	-	1
Oxígeno disuelto	mg/l	7,09 - 89,79%	-	-
pH		6,54	6 a 9	6,5 a 8
SS	mg/l	2	-	-
ST	mg/l	48	-	-
Temperatura	°C	14,70	-	-
Turbidez	NTU	1,57	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Tras realizar un análisis de los valores obtenidos en laboratorio se puede señalar que el agua en este punto posee características que la hacen ser un líquido apto para consumo de los

barrios Central y Alisuco. Sin embargo, se debe tener en cuenta colocar una dosis adecuada de cloro en ambos tanques, para de esta manera bajar los niveles de la DQO y los nitritos, esto se conseguirá mediante una mejora en el tratamiento ya existente.

Tabla 13. Resultados de los parámetros del punto 7 - casa inicial La Unión.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Aluminio	mg/l	< 0,008	-	-
Cloro libre	mg/l	1,18	-	0,3 a 1,5
Cloro total	mg/l	1,19	-	-
Cobre	mg/l	< 0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	< 0	-	15
DQO	mg/l	< 3	< 4	-
Oxígeno disuelto	mg/l	7,09 - 127,7%*	-	-
pH		7,81	6 a 9	6,5 a 8
Temperatura	°C	14,75	-	-
Turbidez	NTU	0,45	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Tabla 14. Resultados de los parámetros del punto 8 - casa final La Unión.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Aluminio	mg/l	< 0,008	-	-
Cloro libre	mg/l	0,30	-	0,3 a 1,5
Cloro total	mg/l	0,35	-	-
Cobre	mg/l	< 0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	< 0	-	15
DQO	mg/l	5	< 4	-
Oxígeno disuelto	mg/l	7,05 - 65,82%	-	-
pH		7,81	6 a 9	6,5 a 8
Temperatura	°C	15,31	-	-
Turbidez	NTU	0,26	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Tabla 15. Resultados de los parámetros del punto 9 - casa inicial Central y Alisuco.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Aluminio	mg/l	< 0,008	-	
Cloro libre	mg/l	0,60	-	0,3 a 1,5
Cloro total	mg/l	0,64	-	-
Cobre	mg/l	< 0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	3	-	15
DQO	mg/l	5	< 4	-
Oxígeno disuelto	mg/L	7,18 - 80,67%	-	-
pH		8	6 a 9	6,5 a 8
Temperatura	°C	14,42	-	-
Turbidez	NTU	0,67	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Tabla 16. Resultados de los parámetros del punto 10 – casa final Central y Alisuco.

Parámetro	Unidad	Valor registrado	Límite máximo permisible del TULSMA	Límite máximo permisible norma INEN 1108
Aluminio	mg/l	< 0,008	-	-
Cloro libre	mg/l	0,60	-	0,3 a 1,5
Cloro total	mg/l	0,63	-	-
Cobre	mg/l	< 0,04	2	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1,1	1000	< 1,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 1,1	-	-
Color aparente	UPtCo	< 0	-	15
DQO	mg/l	6	< 4	-
Oxígeno disuelto	mg/l	7,05 - 66,08%	-	-
pH		8,01	6 a 9	6,5 a 8
Temperatura	°C	15,36	-	-
Turbidez	NTU	0,26	100	5
Zinc	mg/l	< 0,10	-	-

Los resultados presentados desde la tabla 13 hasta la 16, corresponden a los parámetros analizados en las viviendas estratégicas del sistema de distribución, los mismos que fueron

de utilidad para determinar si las características del agua que consumen los pobladores son las adecuadas. De esta manera se puede afirmar que el agua posee la calidad adecuada para ser consumida, sin embargo, se debe tener en cuenta el reducir en 2 o 3 unidades las concentraciones de la DQO y los nitritos, para que de esta manera todos los parámetros sigan la normativa estrictamente.

Por otra parte, resulta importante analizar la concentración y el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto en todos los puntos que pertenecen a la red de distribución, ya que existieron inconvenientes en la medición *in situ* con la calibración del equipo. Por esta razón existen valores elevados (*) de este parámetro que pueden afectar a las líneas de conducción del sistema. Además, se recomienda que en este recorrido las concentraciones de cloro libre estén por debajo de los 0,5 mg/l, para que de esta forma no existan afecciones futuras a la salud de las personas.

3.2 Determinación del Índice de Calidad del Agua

La tabla que se muestra a continuación presenta los valores obtenidos una vez realizado el procedimiento detallado en la sección de metodología correspondiente a este índice. Estos resultados pertenecen a 6 puntos de importancia que son: dos tanques de captación, tanque de almacenamiento, ingreso al sistema de tratamiento y dos tanques distribuidores. Con la finalidad de calcular el ICA total se utilizaron 14 de los parámetros analizados para de esta manera determinar los subíndices correspondientes a cada uno de estos y finalmente realizar las operaciones matemáticas necesarias.

Tabla 17. Resultados del cálculo de subíndices e ICA total.

P	IpH	IC	IT	ISS	IA	IDT	IN-NO ₃	INH ₃	IPO ₃	ICl ⁻	IOD	IDBO	ICF	ICT	ICA total
1	118,12	54,29	100	55,34	43,1	82,76	100	100	46,64	100	7,03	100	100	100	75,24
2	90,24	100	100	100	43,30	84,69	100	100	100	100	7,08	100	100	100	81,16
3	88,32	88,95	100	100	43,30	83,89	100	100	100	100	7,09	100	100	100	77,64
4	89,28	100	100	100	43,30	93,24	100	100	100	100	7,05	100	100	100	78,34
5	100	88,95	100	100	43,44	83,78	100	100	100	100	6,77	100	100	100	77,59
6	92,70	66,60	99,67	100	43,23	83,60	100	100	100	100	7,09	100	100	100	76,85

La presente tabla indica el resultado de cada uno de los subíndices calculados donde se pueden evidenciar valores de 100 los cuales representan datos asignados a dichos parámetros. Los estudios realizados por Peñafiel (2014), indican que:

- IC (color): Cuando la concentración es < a 2,018 UPt-Co se asignó un valor de 100.
- IT (turbiedad): Al obtener resultados menores a 1,54 NTU se asignó un valor de 100.
- IN-NO₃ (nitratos): Se asignó un valor de 100 a los resultados menores a 4,097 mg/l.
- INH₃ (nitrógeno amoniacal): Cuando la concentración es menor a 0,11 mg/l se asignó un valor de 100.
- IPO₃ (fosfatos): Se asignó un valor de 100 cuando las concentraciones sean menores o iguales a 0,0971 mg/l.
- ICl⁻ (cloruros): Al obtener resultados menores a 2,351 mg/l se asignó un valor de 100.
- IDBO (demanda bioquímica de oxígeno): Se dio un valor de 100 cuando las concentraciones sean menores o iguales a 1,311 mg/l.
- ICF (coliformes fecales): Para mediciones con un resultado de 0 NMP/100 ml, se asignó un valor de 100.
- ICT (coliformes totales): Para mediciones con un resultado de 0 NMP/100 ml, se asignó un valor de 100.

Los valores que se ilustran en la tabla 17 indican que el índice de calidad del agua que se determinó desde la captación del líquido proveniente de las dos vertientes hasta el almacenamiento en los tanques distribuidores, entran en la clasificación de aceptable al mantenerse en todo este recorrido en un rango de 70 a 84. Esto asegura que el agua posee buenas características para ser distribuida una vez realizada una adecuada desinfección.

3.3 Evaluación de los tanques de almacenamiento de agua cruda y potable

Actualmente el sistema está compuesto por 5 tanques, en la parte inicial se ubican 2 de estas estructuras como se muestra en la figura 19 y 20, las mismas que cumplen la función de captar el caudal proveniente de las vertientes que dotan del líquido vital a los barrios de estudio.



Figura 19. Tanque de captación de la vertiente 1.



Figura 20. Tanque de captación de la vertiente 2.

Estos tanques se encuentran en mal estado ya que desde su construcción no se ha realizado un mantenimiento adecuado, esto debido a que las válvulas de ingreso y desagüe no se encuentran en funcionamiento, lo que imposibilita realizar un lavado y desinfección tal como indica la figura 19. Además, al no poder vaciar el tanque y mantenerlo así por un período de tiempo hace imposible realizar mejoras en el interior de las estructuras, para evitar infiltraciones y pérdidas aguas abajo.



Figura 21. Válvulas de control fuera de funcionamiento.

El tercer tanque se encarga de reunir los caudales provenientes de los tanques descritos anteriormente, esta estructura al igual que las otras se encuentra en un estado regular, al no poseer válvulas que permitan controlar el caudal, para realizar trabajos de mantenimiento.

Por último, una vez realizada la desinfección el caudal se divide hacia dos tanques de distribución, uno de estos provee del recurso hídrico a los barrios Central y Alisuco, mientras que la segunda estructura suministra agua potable al barrio La Unión. Estos tanques se encuentran en un estado óptimo porque reciben mantenimientos semestrales y poseen válvulas de compuerta que permiten el correcto control del flujo, si resulta necesario realizar algún trabajo en las estructuras. Adicionalmente se realizó un manual de operación y mantenimiento para estas estructuras (Ver Anexo 2).

A continuación, en las siguientes tablas se presentarán los levantamientos catastrales de cada uno de los tanques presentes en el sistema de agua potable.

Tabla 18. Ficha catastral del tanque correspondiente a la vertiente 1.

LEVANTAMIENTO DE FICHA TÉCNICA DE TANQUES DE CAPTACIÓN					
UBICACIÓN			Anexar fotografía del tanque descrito		
Coordenadas geográficas:					
Longitud	-78.570902				
Latitud	-0.362309				
CARACTERÍSTICAS					
Descripción física: Las paredes exteriores están llenas de maleza y musgo, las paredes internas y el fondo del tanque se encuentran deterioradas. La tapa es inadecuada y de difícil manejo.					
Modelo:	Rectangular				
Material:	Cemento				
Clase → X					
Elevado					
Semienterrado	X				
Enterrado					
DIMENSIONES					
Capacidad máxima (l)	Capacidad mínima (l)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	
2507,5	501,5	2,34	1,14	1,14	
Observaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> Las válvulas de ingreso y desagüe se encuentran inhabilitadas. No se ha realizado ningún mantenimiento desde la construcción del tanque, por esta razón el apartado de intervenciones se encuentra vacío. 					
Fecha levantamiento	Fecha de elaboración	Versión	Hoja	Levantó	Firma
1/8/2021	15/8/2021	1	1 de 5	Wendy Tipantuña	Wendy Tipantuña
INTERVENCIONES DE CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
Fecha	Funciona (Sí/No)	Deficiencias halladas	Trabajo realizado	Observaciones	Firma

Tabla 19. Ficha catastral del tanque correspondiente a la vertiente 2.

LEVANTAMIENTO DE FICHA TÉCNICA DE TANQUES DE CAPTACIÓN					
UBICACIÓN		Anexar fotografía del tanque descrito			
Coordenadas geográficas:					
Longitud	-78.570794				
Latitud	-0.362098				
CARACTERÍSTICAS					
Descripción física:					
Las paredes exteriores están llenas de maleza y musgo, las paredes internas del tanque se encuentran deterioradas.					
La tapa es inadecuada y de difícil manejo.					
No posee un tubo cuello de ganso para la salida de gases (orificio descubierto).					
Modelo:	Rectangular				
Material:	Cemento				
Clase → X					
Elevado					
Semienterrado	X				
Enterrado					
DIMENSIONES					
Capacidad máxima (l)	Capacidad mínima (l)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	
1153,8	230,8	1,01	0,84	1,56	
Observaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> Las válvulas de ingreso y desagüe se encuentran inhabilitadas. No se ha realizado ningún mantenimiento desde la construcción del tanque, por esta razón el apartado de intervenciones se encuentra vacío. 					
Fecha levantamiento	Fecha de elaboración	Versión	Hoja	Levantó	Firma
1/8/2021	15/8/2021	1	2 de 5	Wendy Tipantuña	Wendy Tipantuña
INTERVENCIONES DE CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
Fecha	Funciona (Sí/No)	Deficiencias halladas	Trabajo realizado	Observaciones	Firma

Tabla 20. Ficha catastral del tanque de almacenamiento.

LEVANTAMIENTO DE FICHA TÉCNICA DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO					
UBICACIÓN		Anexar fotografía del tanque descrito			
Coordenadas geográficas:					
Longitud	-78.564558				
Latitud	-0.363654				
CARACTERÍSTICAS					
Descripción física: No posee una tapa adecuada, las paredes exteriores están llenas de maleza y musgo.					
Modelo:	Rectangular				
Material:	Cemento				
Clase → X					
Elevado					
Semienterrado					
Enterrado	X				
DIMENSIONES					
Capacidad máxima (l)	Capacidad mínima (l)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	
3198,0	639,6	1,64	1,50	1,50	
Observaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> Las válvulas de ingreso y desagüe se encuentran inhabilitadas. Se observó que en los alrededores existe la presencia de ganado. No se ha realizado ningún mantenimiento desde la construcción del tanque, por esta razón el apartado de intervenciones se encuentra vacío. 					
Fecha levantamiento	Fecha de elaboración	Versión	Hoja	Levantó	Firma
1/8/2021	15/8/2021	1	3 de 5	Wendy Tipantuña	Wendy Tipantuña
INTERVENCIONES DE CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
Fecha	Funciona (Sí/No)	Deficiencias halladas	Trabajo realizado	Observaciones	Firma

Tabla 21. Ficha catastral del tanque de distribución del barrio La Unión.

LEVANTAMIENTO DE FICHA TÉCNICA DE TANQUES DE DISTRIBUCIÓN					
UBICACIÓN			Anexar fotografía del tanque descrito		
Coordenadas geográficas:					
Longitud	-78.5585				
Latitud	-0.358406				
CARACTERÍSTICAS					
Descripción física: El tanque se encuentra dentro de la planta de tratamiento y en excelentes condiciones.					
Modelo:	Circular				
Material:	Cemento				
Clase → X					
Elevado					
Semienterrado					
Enterrado	X				
DIMENSIONES					
Capacidad máxima (l)	Capacidad mínima (l)	Diámetro (m)	Profundidad (m)		
41233,40	8246,68	5,0	2,10		
Observaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> • Posee dos válvulas tipo compuerta para controlar el caudal de ingreso y de desagüe 					
Fecha levantamiento	Fecha de elaboración	Versión	Hoja	Levantó	Firma
1/8/2021	15/8/2021	1	4 de 5	Wendy Tipantuña	Wendy Tipantuña
INTERVENCIONES DE CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
Fecha	Funciona (Sí/No)	Deficiencias halladas	Trabajo realizado	Observaciones	Firma
15/07/2020	Si	Ninguna	Revisión y limpieza de válvulas	Ninguna	Segundo Gualotuña
20/01/2020	Si	Ninguna	Revisión de documentos técnicos de la calidad del agua	Excesiva dosificación de cloro	Servicio de laboratorio contratado
10/07/2021	Si	Ninguna	Limpieza de los alrededores	Ninguna	Segundo Gualotuña

Tabla 22. Ficha catastral del tanque de distribución del barrio Central y Alisuco.

LEVANTAMIENTO DE FICHA TÉCNICA DE TANQUES DE DISTRIBUCIÓN					
UBICACIÓN		Anexar fotografía del tanque descrito			
Coordenadas geográficas:					
Longitud	-78.55861				
Latitud	-0.358488				
CARACTERÍSTICAS					
Descripción física: El tanque se encuentra dentro de la planta de tratamiento y en excelentes condiciones.					
Modelo:	Circular				
Material:	Cemento				
Clase → X					
Elevado					
Semienterrado					
Enterrado	X				
DIMENSIONES					
Capacidad máxima (l)	Capacidad mínima (l)	Diámetro (m)	Profundidad (m)		
58904,86	11780,97	5,0	3,0		
Observaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> • Posee dos válvulas tipo compuerta para controlar el caudal de ingreso y de desagüe 					
Fecha levantamiento	Fecha de elaboración	Versión	Hoja	Levantó	Firma
1/8/2021	15/8/2021	1	5 de 5	Wendy Tipantuña	Wendy Tipantuña
INTERVENCIONES DE CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
Fecha	Funciona (Sí/No)	Deficiencias halladas	Trabajo realizado	Observaciones	Firma
15/07/2020	Si	Ninguna	Revisión y limpieza de válvulas	Ninguna	Segundo Gualotuña
20/01/2020	Si	Ninguna	Revisión de documentos técnicos de la calidad del agua	Excesiva dosificación de cloro	Servicio de laboratorio contratado
10/07/2021	Si	Ninguna	Limpieza de los alrededores	Ninguna	Segundo Gualotuña

3.4 Evaluación del sistema de tratamiento

Este sistema cuenta con dos fases de tratamiento, la primera está provista de un sistema de bandejas que cumplen la función de retirar las partículas sólidas y airear el líquido de ingreso. Después, el caudal ingresa a una etapa de desinfección al pasar por un hipoclorador por goteo que actualmente realiza un proceso ineficiente. Por este motivo se realizó una propuesta de mejora, en la cual se determinaron nuevos valores de caudales y volúmenes que serán presentados a continuación.

Tabla 23. Resultados de caudales para el hipoclorador por goteo.

Caudales	Valor
Caudal medio	1,04 l/s
Caudal máximo	2,6 l/s
Caudal de goteo	46,38 ml/min
Número de gotas por minuto	387 gotas

Tabla 24. Volúmenes de los tanques para el sistema de cloración.

Volumen	Valor
Volumen del tanque de la solución madre	470 l
Volumen del reservorio	40 l

Se determinó que el caudal que ingresará al sistema de desinfección será de 2,6 l/s para lo cual se diseñó un hipoclorador por goteo de carga constante de doble recipiente, el mismo que tendrá un tanque con una capacidad de 470 l, donde se preparará la solución madre que contendrá 3339,6 g de CaClO_2 al 70%, la cual deberá tener un período cada 7 días. Este tanque estará conectado a un reservorio de 40 l, que tendrá en su interior un flotador, el cual se encargará de mantener una carga hidráulica constante. A la salida de este reservorio se colocarán válvulas que controlarán el caudal de goteo que será de 46,38 ml/min, es decir, caerán aproximadamente 387 gotas por minuto hacia el caudal de ingreso a ser tratado, que posteriormente desembocará en los tanques de distribución.

Adicionalmente, se elaboró una memoria técnica, que será entregada a la Junta perteneciente a los tres barrios de la parroquia de Cutuglagua. Este documento contendrá de manera detallada la metodología utilizada para la obtención de resultados, análisis del ICA, manual de operación y mantenimiento de los tanques y el dimensionamiento del hipoclorador por goteo.

3.5 Socialización del proyecto

Se realizó una reunión presencial con los pobladores de la zona, la Junta Administradora de Agua de la parroquia Cutuglagua y técnicos del GAD Mejía. En esta reunión se presentaron los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad del agua de los barrios Central, Alisuco y La Unión, además de una memoria técnica con el siguiente contenido:

- Introducción del problema a ser resuelto y zonas a ser analizadas para determinar las características que posee el agua de consumo.
- Método y explicación de los parámetros analizados y cálculos realizados.
- Fichas catastrales para la evaluación de los tanques presentes en el sistema de agua potable.
- Cálculos de diseño para el sistema de desinfección provisto de un hipoclorador por goteo.
- Plan de muestreo para analizar el recurso hídrico desde su captación hasta la distribución a los pobladores.
- Manual de inspección y mantenimiento de los tanques presentes en la zona de estudio.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se puede afirmar que el agua que es distribuida a los barrios Central, Alisuco y La Unión posee buenas características físicas, químicas y biológicas al alinearse con la normativa INEN 1108 y el TULSMA.
- Los análisis de parámetros como metales (aluminio, hierro, cobre y zinc), coliformes fecales, coliformes totales y materia orgánica (DBO y DQO) confirman que el agua captada, almacenada y distribuida no ha de producir ninguna alteración a la salud de los pobladores. Teniendo en cuenta que se debe dar un enfoque específico a la DQO, nitritos y cloro libre, ya que estos parámetros se deben regir a la normativa vigente en todo el sistema.
- Mediante el cálculo del índice de calidad del agua que se realizó desde la captación del líquido proveniente de dos vertientes que nacen del volcán Atacazo y Corazón hasta el almacenamiento en los tanques distribuidores, se corroboró que el grado de contaminación entra en la clasificación de aceptable al mantenerse en todo este recorrido en un rango de 70 a 84.
- La evaluación de los tanques presentes en la zona de estudio, evidenció que el estado en el que se encuentran no es el más óptimo, por lo tanto, se requiere brindar un mantenimiento y limpieza adecuado, ya que estas estructuras son las encargadas de almacenar el líquido por un determinado período de tiempo y son más propensas a ser focos de contaminación.
- Actualmente el sistema de desinfección del agua no es eficiente por lo que se propuso implementar un hipoclorador por goteo, el cual tratará un caudal de 2,6 l/s, por medio de la adición de hipoclorito de calcio que es un compuesto que encargará de eliminar los microorganismos presentes en el recurso hídrico que se distribuirá hacia las viviendas de los barrios Central, Alisuco y La Unión. Además, esto ayudará a que las concentraciones de cloro libre sean las estipuladas en la normativa, para salvaguardar la salud de los habitantes, como también del sistema de distribución por corrosividad.
- Dentro de los cálculos expuestos, se ha planificado colocar dos tanques, el primero de ellos tendrá la capacidad de contener 470 l de la solución madre que posteriormente se suministrará a un segundo tanque de 40 l de capacidad, el cual controlará el caudal de goteo al mantener una carga hidráulica constante, que permitirá la desinfección del líquido en un período de 7 días ininterrumpidos.

4.2 Recomendaciones

- Al realizar la evaluación de los tanques presentes en la zona de estudio se recomienda reemplazar las válvulas que controlan el ingreso y desagüe de estas estructuras, para de esta manera realizar labores de mantenimiento y mejoras. Así como también, cambiar la cubierta de los tanques por tapas de acero inoxidable protegidas con pintura anticorrosiva, para de esta manera tener una apertura y cierre más accesible.
- Regirse a la información que se brinda en el manual de operación y mantenimiento del sistema de distribución de los barrios Central, Alisuco y La Unión ubicados en la Parroquia de Cutuglagua, el cual facilitará los trabajos de limpieza, mejora y desinfección de las estructuras presentes en el sistema mencionado. Además de dar a conocer las medidas de seguridad que deben cumplir los operarios al realizar estas actividades.
- Desarrollar un monitoreo de la calidad del agua mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos anualmente, para identificar el grado de efectividad de las estructuras presentes en la línea de conducción, al igual que el funcionamiento del sistema de tratamiento sea el adecuado para brindar el recurso hídrico para que no atenten contra la salud de los pobladores.
- Respecto a la propuesta de mejora del sistema de desinfección se recomienda utilizar tanques y materiales de plástico para que no exista corrosión, al igual que se aconseja verificar el estado de los accesorios, realizar un lavado del tanque dosificador para de esta manera eliminar cualquier sedimento de CaCO_2 . Así como también se deben tener a los tanques cubiertos con tapas en buen estado que permanecerán cerradas lo que impedirá la gasificación del cloro y de esta manera no pierda sus propiedades como elemento desinfectante.
- Asimismo, para la preparación de la solución madre es recomendable dejar reposar la mezcla de los 3,3 kg de hipoclorito de calcio con 20 l de agua, para conseguir que los residuos sólidos se sedimenten. Una vez esté lista esta mezcla se procederá a incorporar al tanque de la solución madre que tendrá 100 l de agua previamente almacenados, y finalmente se incorporará más agua hasta llegar a la capacidad máxima del tanque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA; AWWA, WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Aurazo de Zumaeta, M. (2004). *Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/manual555.pdf>
- Aurazo, M., Barrenechea, A., Cánepa, L., & Maldonado, V. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I*. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->
- Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017, Febrero 1). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Campos, I. (2000). *Saneamiento Ambiental*. Obtenido de <https://books.google.com.ni/books?id=lsgrGBGIeMC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Castro, C. (2009, Julio 27). *Coliformes Totales*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6154/2/Coliformes%20totales%20Celia%20CAstro.pdf>
- CAWST. (2013, Octubre). *Introducción al análisis de la calidad del agua de consumo*. Obtenido de https://www.pseau.org/outils/ouvrages/cawst_introduccion_al_analisis_de_la_calidad_del_agua_de_consumo_2013.pdf
- Chacón, M. (2016). *Análisis físicos y químicos de la calidad del agua*. Obtenido de <https://bvirtual.epn.edu.ec:2145/es/ereader/epn/68990>
- CONAGUA. (2011). *Diseño de redes de distribución*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf
- COSUDE. (2018, Marzo). *Memoria descriptiva de instalación de un hipoclorador por goteo con flotador. Capacitación y Funcionamiento*. Obtenido de

https://doc.rero.ch/record/323194/files/10-08_ins_hipoclorador_goteo_carga_constante_doble_recipiente.pdf

Díaz, S., Castro, I., García, M., González, J., & Martín, B. (2007). Biodiversidad y bienestar humano de la diversidad funcional. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 69-80.

Fundación Nacional de Salud. (2013). *Manual Práctico de Análisis de Agua 4ª edición*. Brasilia.

GAD Municipal del Cantón Mejía. (2015-2019). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Cutuglagua*. Quito: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1760003760001_DOCUMENTO%20FINAL%20ACTUALIZACION%20PDyOT%20GAD%20MEJIA_09-04-2015_10-38-44.PDF.

Galárraga, R. (2000). *Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador*. Quito: Tiempo Nuevo.

García, C. (2013, Noviembre 7). *Parámetros fisicoquímicos del agua*. Obtenido de https://www.adiveter.com/ftp_public/A3081113.pdf

Gobierno de Aragon. (2012, Julio). *Abastecimientos de agua*. Obtenido de <https://www.aragon.es/documents/20127/674325/Manual%20de%20manipuladores%20de%20abastecimientos%20de%20agua-1.pdf/614d228b-06c6-bde7-2b54-8589cbaf03c0>

González, L. (2013, Diciembre). *Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GRMnEsI5BpQJ:https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/viewFile/334/pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>

HACH. (2000). *Manual de análisis de agua*. Obtenido de <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>

INEN. (1981, Agosto 13). *Agua potable. Determinación de nitrógeno de nitratos. Método de la brucina*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/975.pdf>

INEN. (2020, Abril 1). *Agua para consumo humano, requisitos*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/nteinen1108-2-pdf-free.html>

- Jiménez, J. (2013). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Obtenido de <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- Lossio, M. (2012, Abril). *Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2053/ICI_192.pdf?sequ
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. Obtenido de <https://bvirtual.epn.edu.ec:2145/es/ereader/epn/53050>
- Naciones Unidas. (2018, Diciembre). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Navarro, M. (2007, Junio 4). *Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación, incubación y electrometría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+d e+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- OMS. (2017, Febrero). *Enfermedades transmitidas por el agua*. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/es/
- OMS. (2019, Junio 14). *Agua*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,zonas%20con%20escasez%20de%20agua.>
- OMS. (2021). *Guías de la OMS para la calidad del agua potable*. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/
- OMS Ginebra. (2018). *Guías para la calidad del agua potable: cuarta edición que incorpora la primera agenda*. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- ONU. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. Obtenido de unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. (2018). *The Geography of Future Water Challenges*. Obtenido de www.pbl.nl/node/64678

- Peñañiel, A. (2014). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20919/1/tesis.pdf>
- Pérez, L. (2018, Diciembre 3). *Conducción por gravedad y bombeo*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/conducci%C3%B3n-por-gravedad>
- Pradana, J., & García, J. (2019, Mayo). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. Obtenido de <https://bvirtual.epn.edu.ec:2145/es/ereader/epn/111749?page=12>
- Regalado, L. (2012, Junio 21). Legislación Ambiental Ecuatoriana. *El Diario*.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2011). *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona: Omega.
- Rodríguez, C. (2007, Diciembre 28). *Demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Romero, J. (2009). *Calidad del Agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 172-181.
- Secretaría del Agua DHE. (2020). *Informe técnico del proceso 3292-2019-M*. Quito.
- SENASBA. (2016, Mayo). *Conexiones domiciliarias de agua potable y alcantarillado sanitario*. Obtenido de http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2016/05/M%C3%B3dulo-8-Conexiones-domiciliarias1_opt.pdf
- Serrano, J., & Santiuste, C. (2008). *Proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable en Togo*. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5469/PFC_Jesus_Serrano_Alonso.pdf
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Obtenido de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Obtenido de <https://bvirtual.epn.edu.ec:2145/es/ereader/epn/70981>

- TULSMA. (2015, Noviembre 4). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. Acuerdo Ministerial 097-A.* Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- UCM. (2015, Febrero 14). *Descripción de indicadores.* Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-pH%20f.pdf>
- UNESCO. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019.* Obtenido de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- Villacis, K. (2018, Junio). *Evaluación de la línea de conducción del sistema de abastecimiento de agua potable del cantón Rumiñahui.* Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19455/1/CD-8849.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: PLAN DE MUESTREO

*PLAN DE MUESTREO PARA MONITOREO DE
PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS DETERMINADOS PARA EL
AGUA SUMINISTRADA A LOS BARRIOS ALISUCO,
CENTRAL Y LA UNIÓN DE LA PARROQUIA
CUTUGLAGUA.*



DESARROLLADO POR:

RASHELLE HARO

WENDY TIPANTUÑA

1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de un plan de monitoreo para agua de consumo humano es realizar el análisis del líquido para evaluar las propiedades de la misma, obteniendo los resultados que deben tener un grado de confiabilidad, calidad y apropiados al fin por el cual fueron requeridos. Se lo planifica de forma que mantenga y conserve las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras, a su vez estas deben ser representativas ya que el muestreo es lo más importante del plan de monitoreo.

Para que el procedimiento del muestreo sea adecuado se cumplirán con las guías establecidas por las normativas vigentes en Ecuador como lo es el TULSMA e INEN 2169:2013 1ra revisión, por lo tanto, se debe tomar en cuenta criterios para realizar la toma de muestras y que estas sean lo necesariamente adecuadas para los análisis y así garantizar un resultado que refleje la composición real del punto de estudio.

El documento dispuesto establecerá los puntos fundamentales para desarrollar el monitoreo del agua al considerar los estándares de calidad, la identificación de parámetros, los puntos a ser muestreados, el debido procedimiento y equipo para la toma de las muestras, así como también la preservación, conservación, traslado y documentación necesaria para la evaluación del sistema.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Ejecutar un muestreo del agua de consumo suministrada a los barrios Alisuco, Central y la Unión de la parroquia Cutuglagua, garantizando que los resultados obtenidos sean representativos y confiables.

2.2 Específicos

- Reconocer la zona y el estado de la vertiente “La Merced” en donde se realiza la captación del agua suministrada.
- Conocer las técnicas y procedimientos a realizar durante el muestreo en cada punto establecido, para análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y determinar el estado del agua que consumen los pobladores de los tres barrios.
- Interpretar correctamente los datos de campo obtenidos y cotejarlos con la normativa para cada uso de agua.

3. ALCANCE

Un plan de muestreo cumple un papel muy importante, ya que de este se parte para corroborar que el líquido vital suministrado a los pobladores sea de calidad, además de brindar un soporte técnico a los encargados de manejar el sistema de abastecimiento.

Los beneficiarios del presente plan son 300 familias, con un promedio de 5 personas por vivienda, lo que indica que son aproximadamente 1500 personas; para los cuales se debe garantizar una adecuada cantidad y calidad del recurso (Secretaría del Agua DHE, 2020).

El presente documento está dirigido a los representantes de la Junta Administradora de Agua de los barrios Alisuco, Central y La Unión, encargada del suministro de agua potable. Los análisis que se realizarán tienen como objetivo determinar aquellos parámetros que no cumplan los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 1 del TULSMA, extraído del Acuerdo Ministerial 097 del 2015 y con la Normativa Ecuatoriana INEN 1108 6ta revisión 2020, los mismos que serán analizados en los diferentes puntos ya establecidos.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

El muestreo es un conjunto de técnicas y serie de procesos para la recolección de una cierta cantidad de volumen de agua lo más representativo posible que posteriormente será analizada y así conocer su composición y calidad. Además, este procedimiento debe llevarse con una debida precaución, para evitar alteraciones en el momento de su toma hasta el análisis. Para realizar un muestreo eficaz y eficiente se preparó una logística y equipos adecuados, como son:

- GPS, coolers, hielo y agua destilada.
- Equipos para medición de parámetros *in situ*: multiparámetros, medidor de cloro residual y total.
- Frascos de vidrio transparente o color ámbar.
- Pissetas, pipetas, gotero, pera de succión y preservantes.
- Guantes (nitrilo), gafas y cubre boca.

Luego se identificarán mediante coordenadas geográficas las zonas o puntos estratégicos que se establecieron con anterioridad. A continuación, se presentan los puntos para la toma de muestras.

- Punto 1 → Vertiente 1
- Punto 2 → Vertiente 2

- Punto 3 → Tanque de almacenamiento
- Punto 4 → Entrada al sistema de tratamiento
- Punto 5 → Tanque de distribución al barrio La Unión
- Punto 6 → Tanque de distribución a los barrios Central y Alisuco
- Punto 7 → Casa inicial barrio La Unión
- Punto 8 → Casa final barrio La Unión
- Punto 9 → Casa inicial barrios Central y Alisuco
- Punto 10 → Casa final barrios Central y Alisuco

En el momento de la toma de muestra se debe tener ciertas consideraciones, como son: que los recipientes estén esterilizados, correctamente cerrados y rotulados; para después ser almacenados (HACH, 2000).

Parámetros *in situ*:

- Temperatura del agua
- pH
- Oxígeno disuelto
- Turbidez

Parámetros de laboratorio:

Tabla 1. Parámetros a analizar en laboratorio.

Parámetros	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8	Punto 9	Punto 10
Físicos										
Color aparente	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sólidos suspendidos	X	X	X	X	X	X				
Sólidos totales	X	X	X	X	X	X				
Microbiológicos										
Coliformes fecales y totales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Químicos										
DBO ₅	X	X	X	X	X	X				
DQO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Alcalinidad	X	X	X	X	X	X				
Cloruros	X	X	X	X	X	X				
Cloro libre					X	X	X	X	X	X
Cloro total					X	X	X	X	X	X
Dureza	X	X	X	X	X	X				

Continuación de la tabla anterior

Metales										
Hierro total	X	X	X	X	X	X				
Manganeso	X	X	X	X	X	X				
Cobre total	X	X			X	X	X	X	X	X
Aluminio					X	X	X	X	X	X
Zinc	X	X			X	X	X	X	X	X
Nutrientes										
Nitratos	X	X	X	X	X	X				
Nitritos	X	X	X	X	X	X				
Nitrógeno amoniacal	X	X	X	X	X	X				
Fosfatos	X	X	X	X	X	X				

4.1 Tipos de muestra

INEN (1998), deduce que la clasificación más común de los tipos de muestras son: puntual, compuesta e integrada. En este proyecto se utilizó un tipo de muestra puntual ya que es la que se toma respecto al tiempo y espacio determinado, además, indica las características inmediatas del volumen de agua de donde fue tomada.

4.2 Identificación de muestras

Sierra (2011), indica que las muestras tomadas deben ser etiquetadas inmediatamente con algunos datos como: localización, fecha, tipo de agua (cruda, potable, residual, etc.), hora, parámetros a analizar, persona a cargo y observaciones

Según (INEN, 2013), existen protocolos a seguir para la recolección de muestras con o sin preservantes, a continuación, se detallan algunos de estos.

- Colocar la identificación y toda la información respectiva.
- Utilizar guantes de nitrilo y mascarilla al momento de la recolección de la muestra.
- La toma de muestras se llevará a cabo en dirección opuesta al flujo de la vertiente; entretanto que para tanques de distribución de agua potable se sumerge el envase y finalmente para las viviendas se llenará el envase con un volumen adecuado.
- Los envases deben estar esterilizados y se enjuagará 2 o 3 veces antes de comenzar con la toma de muestras, a excepción de los envases establecidos para análisis microbiológicos.
- Para los parámetros microbiológicos se llenará el envase hasta 3/4 de su capacidad procurando abrir y cerrar el envase dentro del agua.
- Para DBO₅ precautelar que la muestra llene el frasco y no contenga burbujas.
- Preservar las muestras recolectadas de manera que no se expongan a la luz solar.

Al seguir con todos estos protocolos se procederá a realizar la toma de muestra, de ser el caso realizar mediciones en campo; algunos de estos parámetros son: temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez, conductividad. Después, se realizará la toma de muestras para aquellos parámetros que se deban analizar en el laboratorio. Para la recolección de algunas muestras es necesario utilizar preservantes que ayudan a mantener los constituyentes físicos y químicos del agua al ser extraída de la fuente. Algunas operaciones que realizan los preservantes son: adición de reactivos, control de pH, refrigeración, etc.

Los compuestos químicos más utilizados son: soluciones básicas, ácidos, biácidos y reactivos especiales utilizados para determinar oxígeno, cianuros totales y sulfitos. La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013 da una guía para la adición de los preservantes, en la tabla 1: Técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico químico: Técnicas generales recomendadas para la preservación de muestras para análisis biológicos (INEN, 2013). En la Tabla 2 se indica como se deben preservar las muestras, y añadir los compuestos químicos correspondientes de ser el caso.

Tabla 2. Contenedores requeridos, técnicas de conservación.

Parámetros	Tipo de recipiente	Preservación
Color	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 y 5 °C
Sólidos suspendidos	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 y 5 °C
Sólidos totales	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 y 5 °C
Coliformes fecales y totales	Plástico o vidrio	Refrigeración a 4°C
DBO ₅	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 y 5 °C
DQO	Plástico o vidrio	Acidificar con H ₂ SO ₄ (2 ml por litro), refrigerar entre 2 y 5 °C
Cloruros	Plástico o vidrio	-
Dureza	Plástico o vidrio	Acidificar con HNO ₃ (2 ml por litro)
Hierro total	Plástico o vidrio	Acidificar con HNO ₃ (2 ml por litro)
Manganeso	Plástico o vidrio	Acidificar con NHO ₃ (2 ml por litro)
Cobre	Plástico o vidrio	Acidificar con HNO ₃ (2 ml por litro)
Aluminio	Plástico	Acidificar con HNO ₃ (2 ml por litro)
Zinc	Plástico o vidrio	Acidificar con NHO ₃ (2 ml por litro)
Nitratos	Plástico o vidrio	Acidificar con H ₂ SO ₄ (2 ml por litro) refrigerar entre 2 y 5 °C
Nitritos	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 y 5 °C
Nitrógeno amoniacal	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 y 5 °C
Fosfatos	Plástico o vidrio	Refrigerar entre 2 y 5 °C

Fuente: (INEN, 2013).

Para el almacenamiento y transporte se deben tomar las debidas precauciones, como son: asegurarse que los contenedores de las muestras estén debidamente cerrados, mantener la refrigeración de las muestras, verificar la debida identificación de la muestra.

5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

OBJETIVO	ACTIVIDADES	FECHA
Recolección de información relevante	Recorrido de la zona para establecer los puntos representativos para el muestreo.	Diciembre 2020
Reconocimiento del sistema de captación, potabilización y distribución	Estudio de puntos representativos a lo largo del sistema y visita a la zona de desinfección.	Marzo 2021
Primer muestreo	Toma de muestras desde el punto 1 al punto 5.	Julio 2021
Segundo muestreo	Toma de muestras desde el punto 6 al punto 10.	Agosto 2021

6. BIBLIOGRAFÍA

HACH. (2000). *Manual de análisis de agua*. Obtenido de <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>

INEN. (2013, Junio). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. Obtenido de <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-ENEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf?x42051>

Secretaría del Agua DHE. (2020). *Informe técnico del proceso 3292-2019-M*. Quito.

Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Obtenido de <https://bvirtual.epn.edu.ec:2145/es/ereader/epn/70981>

**ANEXO 2: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
TANQUES Y DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN**

***MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
DE TANQUES Y DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN
PARA LOS BARRIOS CENTRAL, ALISUCO Y LA
UNIÓN UBICADOS EN LA PARROQUIA DE
CUTUGLAGUA.***



Realizado por:
Rashelle Haro
Wendy Tipantuña

1. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Es un conjunto de equipos, accesorios e instalaciones que se encarga de transportar el agua potable, que necesita de varios procesos para llegar de forma segura hasta los consumidores.

Un sistema de abastecimiento de agua potable comprende ciertos componentes fundamentales como: captación, conducción, tratamiento, tanques de distribución, red de distribución y conexiones domiciliarias; el cual brinda bienestar a la población (Gobierno de Aragon, 2012).

2. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DEL SISTEMA HÍDRICO

Operación

Se debe tomar en cuenta que en los sistemas de distribución de agua se realizan varias actividades con el objetivo de que el funcionamiento se encuentre en óptimas condiciones y logre abastecer las necesidades de los consumidores.

Mantenimiento

Lo más importante para el mantenimiento de un sistema son las acciones que se realizan para evitar daños ya sea en los tanques, tuberías, válvulas y todos los equipos que se utilizan para el funcionamiento del sistema de agua.

Seguridad

La mayoría de accidentes que se dan en la operación y mantenimiento de un sistema son por causa del incumplimiento de las normas y por no usar adecuadamente el equipo de seguridad que son necesarios para realizar cualquiera de estas actividades, ya que al hacerlo de forma incorrecta puede causar lesiones graves o mortales.

3. REQUISITOS NECESARIOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

- Se debe contar con el equipo de seguridad necesario para realizar el mantenimiento y operación del sistema.
- El personal a cargo debe estar capacitado con las actividades que deben realizar y con las normas de seguridad que son necesarias para realizar sus funciones.
- Cada vez que se realice cualquier actividad se debe registrar para que esta información se encuentre actualizada para todo el personal.
- El personal administrativo siempre debe estar informado acerca de las actividades que se realicen en el sistema de agua.

- El personal a cargo debe contar con una ficha de registro de todos los accesorios que se utilizan o se reemplazan, las actividades realizadas y de los problemas encontrados.
- Se debe contar con todas las herramientas necesarias y planos del sistema.

4. RESPONSABILIDADES DEL OPERADOR

- Cumplir con todas las normas de operación y mantenimiento del sistema de agua potable.
- Debe mantener limpio y en perfecto estado toda la infraestructura y equipos del sistema.
- Debe contar con el equipo de protección y seguridad necesaria antes de realizar cualquier actividad.
- Estar en constante vigilancia y realizar cualquier reparación que necesite el sistema.
- Si existe un problema debe avisar rápidamente al personal administrativo
- Debe presentar un informe con las actividades realizadas, problemas encontrados y reparaciones que se hayan dado en su período laboral.

5. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento Preventivo: Toda acción que se realiza antes de que se produzca algún daño en la infraestructura o equipos que contiene el sistema.

Mantenimiento Correctivo: Es la reparación de los daños que se han encontrado ya sea por desgaste del material o por accidentes en la infraestructura o equipos del sistema.

6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES

El sistema de agua potable de los Barrios Central, Alisuco y La Unión de la Parroquia de Cutuglagua está conformado por los siguientes procesos:

- Captación
- Conducción
- Tratamiento de agua
- Distribución
- Conexiones domiciliarias

Cada uno de los procesos mencionados anteriormente, cuenta con diferentes componentes que ayudan a que el sistema funcione y pueda abastecer a los habitantes con el recurso.

Captación

Para el sistema de abastecimiento el recurso hídrico es captado de dos vertientes provenientes del volcán Atacazo y Corazón, es muy importante que estas fuentes de agua se encuentren bien cuidadas para que exista buena calidad y la cantidad de agua sea suficiente para abastecer a la población.

Conducción

Encargada del transporte del agua proveniente de las dos vertientes hacia tres tanques, los cuales son dos de captación y uno de almacenamiento que se encuentran conectados por medio de un sistema de tuberías de PVC.

Tratamiento

El pretratamiento consiste en un sistema de bandejas de aireación que ayuda a incrementar el porcentaje de oxígeno, elimina olores y sabores que pueda contener el agua. La desinfección se la hace con un hipoclorador por goteo en el que se suministra hipoclorito de calcio, el cual se encarga de eliminar microorganismos patógenos. Es importante que exista una dosificación adecuada de cloro ya que las altas concentraciones del mismo provocan daños a la salud.

Distribución

Después del tratamiento el agua se conecta mediante un sistema de tuberías a dos tanques de distribución, el primer tanque abastece al barrio La Unión y el segundo a los barrios Central y Alisuco.

Conexiones Domiciliarias

Para abastecer a la población se suministra el líquido tratado a cada vivienda por medio de un sistema de tuberías. El líquido que llega a los domicilios debe ser apto para consumo humano, por lo que es indispensable el cumplimiento de las normativas vigentes, caso contrario el sistema de agua no funciona de manera óptima y provocaría daños a la salud de toda la población.

7. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE CADA COMPONENTE

Tabla 1. Mantenimiento de tanques.

Mantenimiento preventivo	Actividades a realizar	Frecuencia
Verificar que no exista maleza, musgo o cualquier tipo de contaminante fuera del tanque.	<ul style="list-style-type: none"> Retirar la maleza o todo contaminante que se encuentre fuera del tanque. Limpieza exterior del tanque con una disolución de agua y cloro. 	Cada 2 meses
Revisión del estado de tuberías, válvulas, tapas y accesorios.	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar accesorios con desgaste o fallas inmediatamente. Lubricar las válvulas para evitar corrosión. 	Cada 2 meses
Revisar que la estructura interna del tanque se encuentre en buen estado.	<ul style="list-style-type: none"> Uso de equipo de protección. Cerrar válvula de entrada y salida del agua, apertura de válvula de limpieza. Ventilar el tanque 1 hora antes de ingresar. Retirar el lodo o suciedad acumulada en el interior del tanque. Revisar que la escalera interna del tanque se encuentre en buen estado. Con una manguera a presión o con balde de agua se realiza la limpieza y desinfección del tanque. La apertura y cierre de válvulas se hace con cuidado para evitar exceso de presión o vacío en la tubería. Todos los insumos, productos y equipos utilizados para el mantenimiento deben estar certificados. Realizar el mantenimiento interno del tanque los días de bajo consumo y con previo aviso a los consumidores sobre la suspensión del sistema. 	Cada 6 meses
Proteger el agua del tanque de agentes que lo puedan contaminar.	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar las tapas que protegen el tanque. Utilizar pintura anticorrosiva. Realizar análisis fisicoquímicos y biológicos en laboratorios que se encuentren acreditados. 	Cada 6 meses

Fuente: (Aguas de Manizales, 2019).

Tabla 2. Mantenimiento de bandejas de aireación.

Mantenimiento preventivo	Actividades a realizar	Frecuencia
Verificar que la estructura de bandejas se encuentre en buen estado.	<ul style="list-style-type: none"> Reparar o cambiar accesorios que se encuentren desgastados o en mal estado. Retirar el material que cause obstrucción del sistema. 	Mensualmente
Realizar la limpieza de las bandejas de aireación.	<ul style="list-style-type: none"> Realizar la limpieza manual con abundante agua. Utilizar el equipo e insumos necesarios para la limpieza. Verificar que los equipos y productos químicos utilizados para la limpieza se encuentren certificados. 	Mensualmente

Fuente: (Montenegro, 2017).

Tabla 3. Mantenimiento del hipoclorador por goteo.

Mantenimiento preventivo	Actividades a realizar	Frecuencia
Verificar que la dosificación sea adecuada.	<ul style="list-style-type: none"> Medir el caudal de ingreso y ajustar la dosificación por goteo el cual depende de la época del año. Realizar la medición del cloro libre residual. Dosificar el sistema cada 7 días y llevar un registro. 	Semanalmente
Revisar que no existan obstrucciones, daños o desgaste en la estructura.	<ul style="list-style-type: none"> Limpiar o realizar cambios de los accesorios que se encuentran en mal estado. Verificar que los equipos y productos químicos utilizados estén certificados. Ajustar las conexiones y accesorios al finalizar la limpieza. Comprobar el funcionamiento simultáneo del sistema. 	Semanalmente
Proteger de cualquier contaminante que pueda afectar la calidad del agua.	<ul style="list-style-type: none"> Las tapas de los tanques deben permanecer cerradas y en buen estado. Eliminar los residuos que afecten la calidad del agua. No permitir la entrada a personas sin autorización. Cualquier persona natural que ingrese debe estar acompañada por el personal encargado. Realizar análisis de muestras de agua en laboratorios que se encuentren acreditados cada seis meses. 	Semanalmente

Fuente: (Proyecto SABA Plus, 2018).

8. EQUIPO, MATERIALES, HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Equipo: Guantes, mascarilla, casco, botas, medidor de cloro, multiparámetros.

Materiales: Cloro, escoba, balde, cepillo, pintura anticorrosiva, detergente, pegamento PVC, brocha, lija, espátula y cemento.

Herramientas: Machete, pico, serrucho, palas, plomada, plancha de albañilería, nivel, desarmadores, cinta métrica, carretilla y escalera

Accesorios: Adaptadores macho y hembra de PVC, codos de 90° y 45° con diámetros de ½ y ¾ in, juntas de expansión de PVC, válvulas de paso de bronce de diámetro de 1, 2 y 3, empaques de hule para llave de con diámetro de ½ in, manguera plástica, tubos, uniones y reductores PVC, de diámetros de 1, ¾ y ½ in (USAID, 2016).

9. FORMATO DE LAS FICHAS DE REGISTRO

Tabla 4. Ejemplo de ficha catastral para tanques.

LEVANTAMIENTO DE FICHA TÉCNICA DE TANQUES					
UBICACIÓN			Anexar fotografía del tanque descrito		
Coordenadas geográficas:					
Longitud					
Latitud					
CARACTERÍSTICAS					
Descripción física:					
Modelo:					
Material:					
Clase → X					
Elevado					
Semienterrado					
Enterrado					
DIMENSIONES					
Capacidad máxima (l)	Capacidad mínima (l)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	
Observaciones:					
Fecha levantamiento	Fecha de elaboración	Versión	Hoja	Levantó	Firma
INTERVENCIONES DE CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
Fecha	Funciona (Sí/No)	Deficiencias halladas	Trabajo realizado	Observaciones	Firma

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguas de Manizales. (2019, Enero 18). *Procedimiento para limpieza de un tanque de almacenamiento de agua en propiedades privadas*. Obtenido de <https://www.aguasdemanizales.com.co/Portals/Aguas2016/AtencionUsuario/Documentos/Mantenimiento%20de%20tanques.pdf?ver=2019-01-18-101558-177>
- Gobierno de Aragon. (2012, Julio). *Abastecimientos de agua* . Obtenido de <https://www.aragon.es/documents/20127/674325/Manual%20de%20manipuladores%20de%20abastecimientos%20de%20agua-1.pdf/614d228b-06c6-bde7-2b54-8589cbaf03c0>
- Montenegro, V. (2017). *Rediseño de la planta potabilizadora de agua para consumo humano en el terminal de productos limpios (EP-PETROECUADOR), cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6629/1/236T0260.PDF>
- Proyecto SABA Plus. (2018, Marzo). *Hipoclorador por goteo con flotador*. Obtenido de http://doc.rero.ch/record/323226/files/13-11_hipoclorador_por_goteo_con_flotador.pdf
- USAID. (2016). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de agua potable por gravedad*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/USAID%202016.%20Manual%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20agua%20por%20gravedad..pdf