

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA POR EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

ALVARO ALEXANDER TUMBAICO DE LA CRUZ

DIRECTOR: ING. SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA, Mgtr.

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Alvaro Alexander Tumbaico de la Cruz declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



ALVARO TUMBAICO

alvaro.tumbaico@epn.edu.ec

alex_at@outlook.es

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Alvaro Alexander Tumbaico de la Cruz, bajo mi supervisión.



Ing. Patricia Panchi, Mgtr.
DIRECTOR

sandra.panchi@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ALVARO ALEXANDER TUMBAICO DE LA CRUZ

DEDICATORIA

Este trabajo ejecutado con mucho esfuerzo y entrega, quiero dedicarlo en primer lugar a mis padres amados, Patricio y Fanny gracias por cada consejo, enseñanza y valores que me inculcaron todos los días para ser la persona que soy hoy, quiero que sepan que este triunfo es PARA USTEDES, se los estaré agradecido toda mi vida.

A mi amada mamita Clemencia, que has estado conmigo aconsejándome en todo momento y más en mi vida estudiantil que fue una etapa muy difícil, gracias por todas las bendiciones que me han ayudado a salir adelante, que a pesar de su carácter fuerte siempre confió en mí, espero Dios me regale muchos años de vida junto a usted, para agradecerle cada cosa que ha hecho por nuestra familia.

A mis hermanos Marcela, Pablo y mi sobrino Iker, por ser el motor que me impulsaba a esforzarme en esta etapa de mi vida, a pesar que hemos pasado muchas cosas difíciles en nuestra niñez y adolescencia, siempre han estado conmigo en las buenas y las malas. Siempre contarán conmigo.

A mi tía Blanca, que me cuida desde el cielo, te agradezco por apoyarme en cada decisión que tomaba, a pesar que ha pasado mucho tiempo que ya no te veo, jamás me olvido de ti, sé que hubieras estado orgullosa de mi al verme triunfar.

A ti Lucero, mujer bondadosa, guerrera y emprendedora gracias por estar conmigo en este proceso desde el día cero, que me ayudaste en cada momento sin esperar nada a cambio.

A mis demás familiares como mis tíos Mario, Yolanda, Guillermo y Edison que han estado conmigo desde mi niñez, gracias por cada consejo que me han dado y que me han ayudado a ser un mejor hombre, por abrirme las puertas de su casa y nunca darme la espalda. Espero en algún momento puedan leer esto y que sepan que los amo mucho.

AGRADECIMIENTO

Manifiesto mi más sincero agradecimiento a:

A la Escuela Politécnica Nacional por permitirme hacer uso de sus instalaciones para el desarrollo del presente trabajo y formarme como profesional.

A mis Ingenieros, Lorena Gallardo, Santiago Guerra, Eduardo Vásquez por brindarme todo su conocimiento y a la vez toda la exigencia académica, que han nutrido mi formación profesional.

A mi tutora de tesis, Patricia Panchi por la paciencia y todo el apoyo incondicional que me otorgó durante la realización de este trabajo.

A la comunidad de San Antonio de Chillo Jijón por permitirme realizar las investigaciones necesarias para que este trabajo sea posible.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Definiciones.....	3
1.4.2 Parámetros físicos	4
1.4.3 Parámetros químicos	5
1.4.4 Parámetros microbiológicos	7
1.4.5 Parroquia Amaguaña	7
2 METODOLOGÍA.....	10
2.1 Planificación del muestreo.....	10
2.1.1 Establecimiento de puntos de monitoreo.....	10
2.1.2 Ubicación por GPS.....	12
2.2 Caracterización y muestreo de agua	14
2.2.1 Parámetros <i>in situ</i>	14
2.2.2 Parámetros de laboratorio.....	16
2.3 Análisis de parámetros en laboratorio	20
2.3.1 Métodos para análisis de parámetros físicos.....	20
2.3.2 Métodos para análisis de parámetros químicos.....	21
2.3.3 Análisis de parámetros microbiológicos	26
2.4 Análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA).....	26
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1 Descripción puntos de monitoreo.....	27
3.2 Resultados obtenidos en el muestreo	27
3.3 Análisis de resultados de parámetros <i>in situ</i>	30

3.3.1	Conductividad	30
3.3.2	Oxígeno disuelto	31
3.3.3	Potencial de hidrógeno (pH)	32
3.3.4	Turbiedad	32
3.4	Análisis de resultados de parámetros físico-químicos.....	33
3.4.1	Alcalinidad	33
3.4.2	Cloro libre residual	34
3.4.3	Demanda química de oxígeno (DQO).....	34
3.4.4	Demanda biológica de oxígeno (DBO5).....	34
3.4.5	Dureza total	35
3.4.6	Fosfatos.....	35
3.4.7	Hierro total.....	36
3.4.8	Manganeso.....	36
3.4.9	Nitratos.....	37
3.4.10	Nitritos.....	38
3.4.11	Nitrógeno amoniacal	38
3.4.12	Sólidos totales.....	39
3.4.13	Sólidos disueltos totales (SDT).....	39
3.5	Análisis de resultados de parámetros microbiológicos	40
3.5.1	Coliformes totales	40
3.5.2	Coliformes fecales.....	40
3.6	Determinación de Índice de Calidad del Agua (ICA)	40
3.7	Propuesta de mejoras al tratamiento actual	43
4	CONCLUSIONES	46
5	RECOMENDACIONES.....	47
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
7	ANEXOS.....	I
	ANEXO I. Turnitin porcentaje máximo 12%.	II
	ANEXO II. Plan de muestreo	IV
	ANEXO III. Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto corregido.....	XV
	ANEXO IV. Informe de resultados de coliformes totales y fecales	XIX
	ANEXO V. Cálculos para determinación de alcalinidad, dureza total, sólidos totales y sólidos disueltos totales.....	XXVI
	ANEXO VI. Ecuaciones y gráficas utilizadas para la determinación del ICA ...	XXXIII

ANEXO VII. Memoria Técnica.....	XXXV
ANEXO VIII. Enlace socialización	XLVIII

RESUMEN

Mediante las visitas técnicas que se realizó en la junta administradora de agua potable de San Antonio de Chillo Jijón, Amaguaña, se consideraron siete puntos relevantes de monitoreo a lo largo de la red de abastecimiento y distribución de agua tales como: dos fuentes de captación (galerías de filtración), dos tanques de captación, un tanque de desinfección y dos puntos de consumo (viviendas), en los cuales se realizó análisis de parámetros *in situ* tales como: pH, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto y conductividad; y parámetros de laboratorio tales como: alcalinidad, cloro libre residual, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), dureza total, fosfatos, hierro total, manganeso, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, sólidos totales, sólidos disueltos totales, coliformes totales y coliformes fecales. Por otra parte, al procesar la información obtenida de los análisis físicos-químicos y microbiológicos se realizó la determinación del índice de calidad del agua donde se obtuvo un agua de buena calidad, sin embargo, se evidencio la deficiencia de oxígeno disuelto en todos los puntos de monitoreo y la baja cantidad de cloro libre residual en los puntos muestreados después del proceso de desinfección. Además, se evidenció el excedente de fosfatos y manganeso en todos los puntos muestreados. Debido a que ninguno de los parámetros mencionados anteriormente cumple con los límites máximos permisibles, se planteó la puesta en funcionamiento de una torre de aireación la cual permitirá, mejorar el olor y sabor, transferir el oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto, reducir fosfatos y oxidar el manganeso con el fin de mejorar el proceso de tratamiento actual y a la vez beneficiar a los consumidores.

PALABRAS CLAVE: puntos de monitoreo, índice de calidad del agua, límites máximos permisibles, torre de aireación, normas.

ABSTRACT

Through the technical visits that were carried out in the drinking water management board of San Antonio de Chillo Jijón, Amaguaña, seven relevant monitoring points were considered along the water supply and distribution network such as: two collection sources (filtration galleries), two collection tanks, a disinfection tank and two consumption points (homes), in which *in situ* parameter analyses were *performed* such as: pH, temperature, turbidity, dissolved oxygen and conductivity; and laboratory parameters such as: alkalinity, residual free chlorine, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD₅), total hardness, phosphates, total iron, manganese, nitrates, nitrites, ammoniacal nitrogen, total solids, total dissolved solids, total coliforms and coliforms fecal. On the other hand, when processing the information obtained from the physical-chemical and microbiological analyses, the determination of the water quality index where a good quality water was obtained was made, however, the deficiency of dissolved oxygen was evidenced in all the monitoring points and the low amount of residual free chlorine in the points sampled after the disinfection process. In addition, the surplus of phosphates and manganese was evidenced in all the sampled points. Because none of the parameters mentioned above meets the maximum permissible limits, the commissioning of an aeration tower was proposed which will allow, improve the smell and taste, transfer oxygen to water to increase dissolved oxygen, reduce phosphates and oxidize manganese in order to improve the current treatment process and at the same time benefit consumers.

KEYWORDS: monitoring points, water quality index, maximum permissible limits, aeration tower, regulations.

1 INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad del agua se llevó a cabo mediante una serie de actividades que permitieron conocer la condición de la misma, desde su fuente hasta el punto de entrega al usuario. Se elaboró un plan de muestreo para la caracterización en fuentes de recursos hídricos naturales y agua potable, establecido mediante la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169, la cual permitirá constituir los procedimientos y prevenciones que se deben utilizar para preservar y trasladar las muestras del líquido vital, desde los puntos de muestreo hacia el laboratorio. El plan de muestreo permitió identificar los puntos de monitoreo o de muestreo involucrados en el proyecto, la cantidad de parámetros *in situ* y de laboratorio que se van a realizar, así como las condiciones climatológicas en las que se va a llevar al cabo el muestreo. Además, permitió establecer la ruta para la toma de muestras del recurso hídrico, el personal de muestreo, materiales y equipos que se utilizaron en el muestreo.

Se realizó el muestreo y caracterización del líquido vital para el estudio físico-químicos y microbiológicos, tanto en recurso hídrico natural como en agua potable, en los puntos de monitoreo establecidos mediante el plan de muestreo. Se ejecutó la determinación de los análisis en los laboratorios pertenecientes a la Escuela Politécnica Nacional y se procesó la información producto de la caracterización del agua. Los productos alcanzados en campo y en laboratorio se compararon por medio de la Norma TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, que establece los límites máximos permisibles para agua cruda y la norma INEN 1108, que implanta las cláusulas del líquido vital para consumo humano.

Se determinó el Índice de Calidad del Agua (ICA), mediante la obtención de los nueve parámetros físico-químicos y microbiológicos, así como: oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, temperatura, turbiedad, nitratos, demanda biológica de oxígeno (DBO₅), coliformes fecales, potencial de hidrógeno (pH) y fosfatos, el ICA se determinó a lo largo del sistema de suministro y repartimiento de agua potable.

Se propuso mejoras en los procesos de tratamiento actual, según los productos extraídos de la estimación de la calidad del líquido vital a lo largo de todo el sistema, con la finalidad de evitar futuras enfermedades provenientes del agua y brindar un agua de excelente calidad a toda la comunidad.

Los primordiales beneficiarios del estudio de la calidad del recurso hídrico y de las propuestas de mejora planteadas en el presente proyecto, son los habitantes del barrio de San Antonio de Chillo Jijón Amaguaña.

1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua suministrada por el sistema de abastecimiento de agua de la Junta Administradora de Agua Potable de San Antonio de Chillo Jijón Amaguaña.

1.2 Objetivos específicos

1. Elaborar un plan de muestreo para la caracterización de fuentes de agua natural establecido mediante la normativa vigente.
2. Determinar el Índice de Calidad de Agua (ICA) mediante la obtención de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos a lo largo del sistema de abastecimiento y distribución de agua potable.
3. Proponer mejoras a los métodos de tratamiento actual utilizados dentro de la junta administradora de agua.

1.3 Alcance

La evaluación del agua se realizó por medio de visitas programadas y trabajo de campo al sitio del proyecto en el cual se verificaron los problemas presentes en la junta de agua potable. Además, contempla la ejecución del plan de muestreo, el uso de equipos de medición *in situ* y herramientas tecnológicas que permitieron obtener la información necesaria. La información obtenida en campo y los resultados producto de los análisis de laboratorio, se tabuló y se comparó con la normativa actual vigente: para agua de consumo humano Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 [1] y para fuentes de abastecimiento el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, [2], que dictamina los parámetros y valores aceptables que garantizan la fiabilidad y calidad del agua, antes de ser consumida por la comunidad beneficiaria. Esto permitió establecer el Índice de Calidad del líquido vital e identificar las posibles mejoras a todo el sistema de la Junta de Agua Potable San Antonio de Chillo-Jijón Amaguaña.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Definiciones

- **Calidad del recurso hídrico**

La calidad del recurso hídrico es la agrupación de las características físico-químicas y microbiológicas que debe contener dicho elemento para que pueda ser apto para el consumo humano, ganadería, agricultura, reproducción de energía, recreación y para el sostenimiento de las funciones de la biocenosis [3, p. 11].

- **Muestreo**

El muestreo se define como el desarrollo de recoger una cantidad, lo más ejemplar, de un volumen de recurso hídrico para el estudio de diversas particularidades concretas [4, p. 1].

- **Muestra simple**

La muestra simple es una única muestra tomada inmediatamente, ya que solamente se toma con un envase el líquido vital de la tubería o de una caída. Es rápido de tomarla y refleja la constitución del líquido vital en el momento en que fue tomada [5, p. 12]

- **Límite máximo permisible**

El límite máximo permisible es aquel valor admisible de la concentración de un elemento o sustancia, que respalda que el recurso hídrico para consumo humano no interpreta cierta exposición para la salud [6, p. 23].

- **Caracterización del recurso hídrico**

La condición del agua se valora a través de las determinaciones en campo y laboratorio de indicadores físico-químicos y microbiológicos, los cuales deben cumplir los valores admisibles acorde con la reglamentación sanitaria vigente, sustentando la verificación de las masas de agua y de los vertidos concorde a la utilización a que se destinan [7, p. 107].

- **Índice de Calidad del Agua**

El ICA (Índice de Calidad del Agua) es un instrumento basado en una fórmula matemática, que permite la valoración de estado de las masas de agua superficial o subterránea en un periodo establecido en distintos niveles y permite precisar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales. Usualmente el ICA incluye información de nueve parámetros físicos-químicos y microbiológicos [8, p. 37].

- **Galería de filtración**

La galería de filtración es una estructura que recoge el líquido vital subterráneo que se localiza contiguo a la superficie y la transporta hacia un lugar concreto, ya sea para la distribución o para el consumo [9, p. 25].

1.4.2 Parámetros físicos

- **Conductividad**

La conductividad del recurso hídrico es una medida de su capacidad para transportar la corriente eléctrica, este parámetro está vinculado con la centralización de sales en disipación, cuya división origina iones aptos para trasladar la corriente eléctrica [10, pp. 36-37].

- **Temperatura**

La temperatura altera gran parte del desarrollo biológico que engloba el hábitat fluvial. Altera la solubilidad de los gases disueltos en el líquido vital. La variabilidad de temperatura del líquido vital se origina por los cambios de la temperatura ambiente producidas en el ciclo natural de las estaciones [11, p. 158].

- **Turbiedad**

La turbiedad es un parámetro que mide el nivel de transmisión de luz en el líquido vital con un ángulo de 90° y sirve como una medición de la calidad del líquido vital en conexión con material sólido en particular coloidal y residual. Entre mayor cantidad de sólidos suspendidos se presente en el líquido vital, más impura se mostrará esta y mayor turbidez se hallará [11, p. 157].

- **Sólidos disueltos totales (SDT)**

Los sólidos disueltos totales se presentan como partículas que se localizan desleídas en el recurso hídrico. La concentración de los SDT se debe a la existencia de gases resultado de la descomposición de sustancias orgánicas, minerales, metales y composición química orgánica que originan olor, sabor, color y provisionalmente es tóxico al recurso hídrico que los comprende [12, p. 17].

- **Sólidos totales (ST)**

Los sólidos totales son aquellos que contienen materia orgánica y las sales inorgánicas tales como: hierro, magnesio, calcio, potasio, cloruros, bicarbonatos, carbonatos, nitratos y fosfatos. Se catalogan conforme a su estado y tamaño (sólidos disueltos, coloidales y en

suspensión), por su decantabilidad (sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables) y por sus particularidades químicas (fijos y volátiles) [12, pp. 12-13].

1.4.3 Parámetros químicos

- **Cloro libre residual**

El cloro libre residual presente en el recurso hídrico de consumo humano, se sitúa como una unión de ácido hipocloroso y de hipoclorito en una proporción que cambia en función del pH. El Cloro residual mezclado es el efecto de la mezcla del cloro con amonio (cloraminas) y su efecto bactericida es inferior que el libre. El sumario de este dueto conforma el cloro libre residual [6, p. 23].

- **Dureza total**

La dureza total hace referencia a la aglomeración de sales de calcio y magnesio diluidas en el recurso hídrico originarios de la disolución de rocas y minerales. Por consiguiente, el recurso hídrico se puede catalogar como se muestra en la Tabla 1, acorde a su contenido de dureza como: aguas duras, aguas moderadamente duras, aguas ligeramente duras y aguas blandas [10, p. 37].

Tabla 1. Concentración de dureza total [10, p. 37].

Clasificación	Concentración CaCO₃/mg/L
Aguas blandas	< 60
Aguas ligeramente duras	61 - 120
Aguas moderadamente duras	121 - 180
Aguas duras	> 180

- **Demanda Biológica de Oxígeno al quinto día**

La DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), se conceptualiza como la manifestación de oxígeno inevitable para el cambio de la materia orgánica oxidable por medio de los microorganismos heterótrofos, en agua y anhídrido carbónico, en un lapso de cinco días se valora el almacenamiento de oxígeno empleado por litro de agua evaluada [13, pp. 11-12].

- **Demanda Química de Oxígeno**

La DQO (Demanda Química de Oxígeno), se conceptualiza como una parte del oxígeno equivalente imprescindible para la oxidación total mediante químicos de composición orgánica e inorgánica presenciado en el fluido residual para conseguir como producto dióxido de carbono y agua [13, p. 12].

- **Fosfato**

El fosfato es un elemento que se estructura sobre la base del fósforo inorgánico que se halla como mineral y aporta claramente en el ciclo de dicho componente en el ambiente. Además, el fluido pluvial puede implicar diferentes dosis de fosfatos que se filtran por medio del suelo en dirección a las masas de agua contiguas [14, p. 18].

- **Hierro total**

El hierro total es uno de los metales más numerosos de la cubierta terrenal, este elemento es concurrente en cuerpos de aguas dulces de origen natural. Además, se presenta en recursos hídricos de consumo humano por la aplicación de coagulantes de hierro, desgaste de tuberías de acero o hierro colado en el transporte del recurso hídrico [15, p. 17].

- **Oxígeno Disuelto**

El OD (Oxígeno Disuelto), es la porción de oxígeno dispuesto en el líquido vital que es indispensable para los arroyos y lagos salubres. La cantidad de OD es un señalizador de en qué grado el recurso hídrico está contaminado y en qué medida puede dar sostén a la vida animal y vegetal [16, p. 26].

- **Manganeso**

El manganeso es uno de los metales libres en la naturaleza y se dispersa en el suelo, sedimentos, rocas areniscas y recurso hídrico, es sencillamente oxidable. Además, las sales de manganeso son regularmente más solubles en soluciones ácidas que en soluciones alcalinas [17, p. 8].

- **Nitratos**

Los nitratos son iones conformados por un átomo de nitrógeno y tres de oxígeno, no contiene olor y sabor, se presentan en la corteza terrestre disuelta en el recurso hídrico, el exceso de nitratos puede provocar un crecimiento desmesurado de plantas debido al arrastre de aguas pluviales o riegos [14, p. 17].

- **Nitritos**

Los nitritos son la composición soluble procedente del nitrógeno y están unidos con moléculas de oxígeno. Este elemento se sitúa rara vez en recursos hídricos del subsuelo, ya que se cambia sencillamente en nitrato, además la presencia del nitrito en el líquido vital indica una polución reciente por materia fecal y puede manifestarse en altas concentraciones por contaminación residual doméstica [14, p. 17].

- **Potencial de hidrógeno**

El pH (Potencial de Hidrógeno), es uno de los parámetros más relevantes para establecer la calidad del líquido vital. Es el logaritmo de base 10, del ejercicio molar de los iones de hidrogeno de una solución. Además, refleja que si el pH es de valor 7 se lo denomina neutro, si el nivel de pH es menor a 7 el recurso hídrico se vuelve ácido y si el pH es mayor a 7 se vuelve alcalino [3, p. 36].

1.4.4 Parámetros microbiológicos

- **Coliformes fecales**

Los organismos termo tolerantes o también nombrados coliformes fecales, asimilan temperaturas hasta de 45 °C. Se definen como la clasificación de una subcategoría de los coliformes totales y son señalizadores de sanidad en el recurso hídrico, mayoritariamente están interpretados por *Escherichia Coli* que denotan la presencia de polución fecal de origen humano o animal [16, p. 29].

- **Coliformes totales**

Los coliformes totales se conceptualizan como una diversidad de bacilos aerobios, anaerobios, facultativos y Gram negativos aptos de desarrollarse en existencia de sales biliares que degradan la lactosa y producen ácido. Estos organismos pueden presentarse tanto en el medio ambiente como en las heces y en el recurso hídrico para consumo humano con una concentración de nutrientes razonablemente altas [15, p. 13]

1.4.5 Parroquia Amaguaña

La parroquia de Amaguaña, corresponde a una de las 33 parroquias rurales del cantón Quito, provincia de Pichincha, se localiza a 29.1 Km de la capital Quito, concretamente en el Valle de los Chillos, San Antonio de Chillo Jijón es uno de los 65 barrios que configura la parroquia [18, p. 1] Los límites geográficos de la parroquia Amaguaña se presentan de manera detallada en la Figura 1.

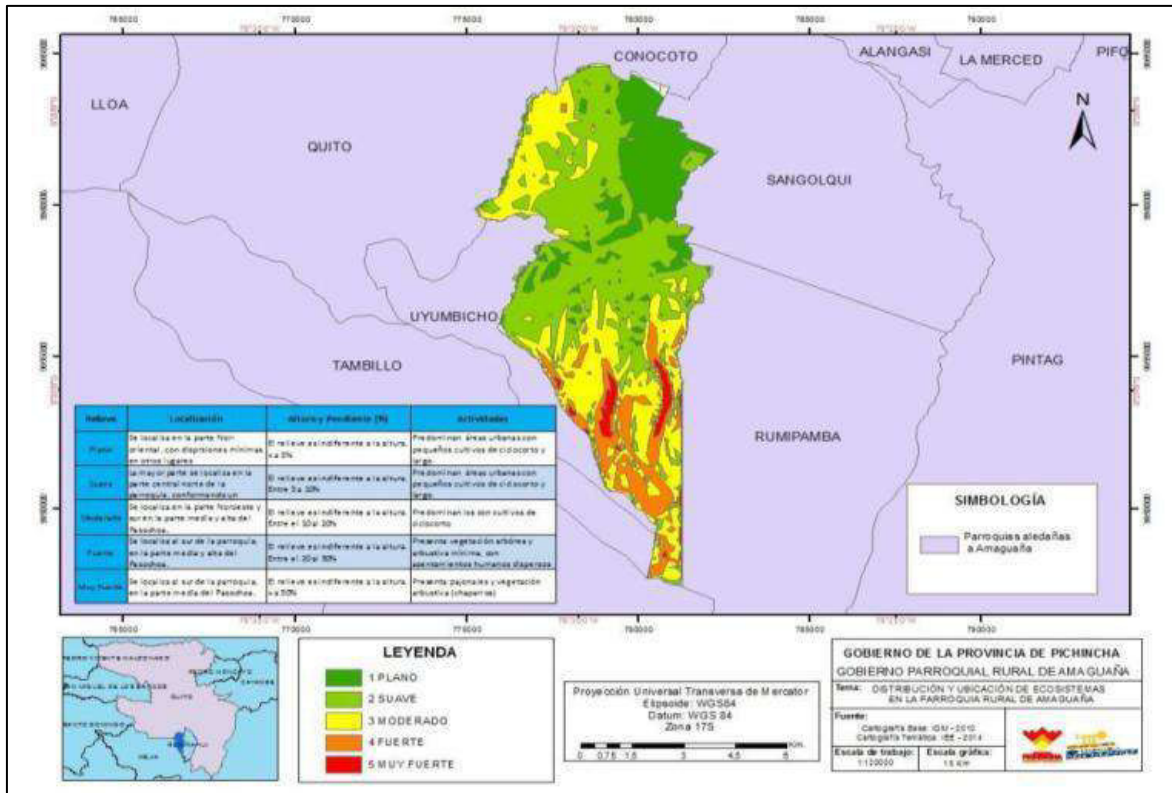


Figura 1. Mapa Base de la parroquia de Amaguaña [19, p. 18].

- **Altitud**

La elevación en la que se localiza la parroquia de Amaguaña sobre el nivel del mar es de 2 683 metros [18, p. 7].

- **Precipitación y clima**

La precipitación media anual fluctúa entre los 1 000 y 2 000 mm dependiendo del piso altitudinal en él se localiza, de la misma manera que su temperatura oscila entre 3 y 20 °C, pero sosteniendo una temperatura mandante en la mayoría de la parroquia, con una media entre 17 y 18 °C [18, pp. 46-47].

- **Relieve**

El relieve de Amaguaña es intermitente, donde sus alturas a nivel del mar fluctúan entre 4 455 y 1 800 metros, en donde el 37.27 % pertenece a pendientes sobresalientes que exceden el 25 %, lo que da como resultado que no haya acaparamiento del líquido vital en ningún instante dado [18, p. 59].

- **Hidrografía**

Meritorio a su amplitud geográfica conforma una microcuenca, ya que es sustentada por fuentes que están dentro de la parroquia como se muestra en la Tabla 2 y este a su

momento suministra a la subcuenca hidrográfica del Río Guayllabamba que concierne a la cuenca hidrográfica del Río Esmeraldas y al sistema del mismo nombre que almacenan sus recursos hídricos en el Océano Pacífico. De tal manera el conjunto del territorio de Amaguaña es de alrededor de 62.11 Km², que está conformado por la microcuenca del Río San Pedro [18, p. 48].

Tabla 2. Recursos hídricos de Amaguaña [18, p. 48].

Micro - cuencas		Superficie	(%)
Ríos	San Nicolás	0.91	1
	Capelo	16.28	26
	Santa Clara	0.64	1
	El Salto	0.55	1
Quebradas	Saguanchi	2	3
	Suruhuayco	4.15	7
	Cañari	16.03	26
	Otros	21.49	35

2 METODOLOGÍA

2.1 Planificación del muestreo

Para la planificación del plan de muestreo se realizó una visita de reconocimiento a la Junta Administradora de Agua Potable de San Antonio de Chillo Jijón, Amaguaña, la forma en la que se llegó a la JAAP se muestra en la Figura 2, en donde se constataron los puntos más relevantes de muestreo dentro del Sistema de Abastecimiento.

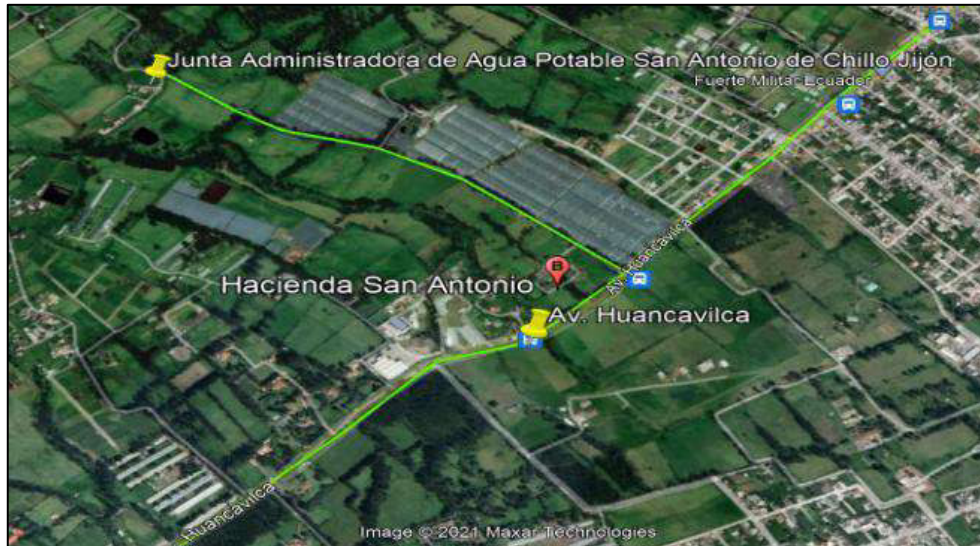


Figura 2. Ruta de llegada a la JAAP San Antonio Chillo Jijón.

2.1.1 Establecimiento de puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo del líquido vital se establecieron en las zonas más relevantes del sistema de abastecimiento, tales como: fuentes, tanques de captación, tanque de desinfección y puntos de consumo (domicilios). La posición de los puntos de monitoreo se obtuvo por intermedio del sistema de posicionamiento global (GPS) con un equipo de marca Garmin como se visualiza en la Figura 3, en el cual cada punto se grabó y se guardó en la memoria de almacenamiento del mismo.



Figura 3. Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

- **Punto 1 y 2 Galerías de filtración**

En la figura 4 se observan las fuentes hídricas, las cuales se establecieron como primer y segundo puntos de muestreo.



Figura 4. Galerías de filtración.

Estos dos puntos de monitoreo son los lugares donde el recurso hídrico del subsuelo brota hacia la superficie por medio de galerías de filtración, no existe una obra de protección en la entrada de las galerías que actúe como barrera contra la espesura, hojas de árboles e ingreso de animales mayormente insectos. Consta con una tubería de 4 pulgadas en cada galería, la cual transporta el líquido vital hacia los tanques de captación que se encuentran a 5 metros de la fuente.

- **Punto 3 y 4 Tanques de captación**

En la figura 5 se observan los tanques de captación, se estableció como tercer y cuarto puntos de muestreo.



Figura 5. Tanques de captación de agua cruda.

Estos dos puntos de monitoreo, son donde se capta el líquido vital de las galerías de filtración. El agua cruda pasa por 5 metros de tubería hasta llegar a los tanques. En el segundo tanque el recurso hídrico es bombeado hacia el tanque de desinfección por medio de una manguera de dos pulgadas, de aproximadamente 900 metros. En la parte superior del primer tanque se encuentra un orificio con un diámetro de cuatro pulgadas, el cual descarga el fluido que rebosa del tanque hacia la vertiente de la quebrada Parcahuayco, asegurando así el flujo del caudal ecológico.

- **Punto 5 Tanque de desinfección**

En la Figura 6 se observa el tanque de desinfección el cual se estableció como quinto punto de muestreo.



Figura 6. Tanque de desinfección.

Previo a la distribución del recurso hídrico de los tanques de captación en la comunidad, el agua llega al tanque de desinfección. Este consta con una capacidad de 2 500 litros, en el cual el agua cruda entra para el proceso de desinfección. Esta purificación se realiza mediante pastillas de cloro. En la parte inferior del tanque se encuentra la descarga para la conducción hacia los diferentes domicilios mediante una manguera de una pulgada.

- **Punto 6 Casa inicial**

Una vez realizado el proceso de cloración, el recurso hídrico tratado es bombeado por una manguera de una pulgada. Esta manguera llega directamente a la primera casa a la cual se dota de suministro y además existe una desviación hacia otro tramo que se dirige hacia el sur.

- **Punto 7 Casa final tramo sur**

Se determinó este punto a la última casa del tramo de distribución para la toma de muestras.

2.1.2 Ubicación por GPS

Los puntos de evaluación se visualizan en la Figura 7, en los cuales se realizó la recolección de las diferentes muestras.



Figura 7. Puntos de referencia para toma de muestras.

En el punto A de la Figura 7 se contemplaron los siguientes puntos de muestreo:

1. Galería de filtración I
2. Galería de filtración II

En el punto B de la Figura 7 se contempló el punto de muestreo para:

1. Tanque de captación I
2. Tanque de captación II
3. Casa inicial

Finalmente, en el punto C de la Figura 7 se contempló el punto de muestreo:

1. Casa final tramo sur

En la Figura 8 se expone el esquema del sistema de distribución del recurso hídrico de acuerdo con los puntos de muestreo asignados.

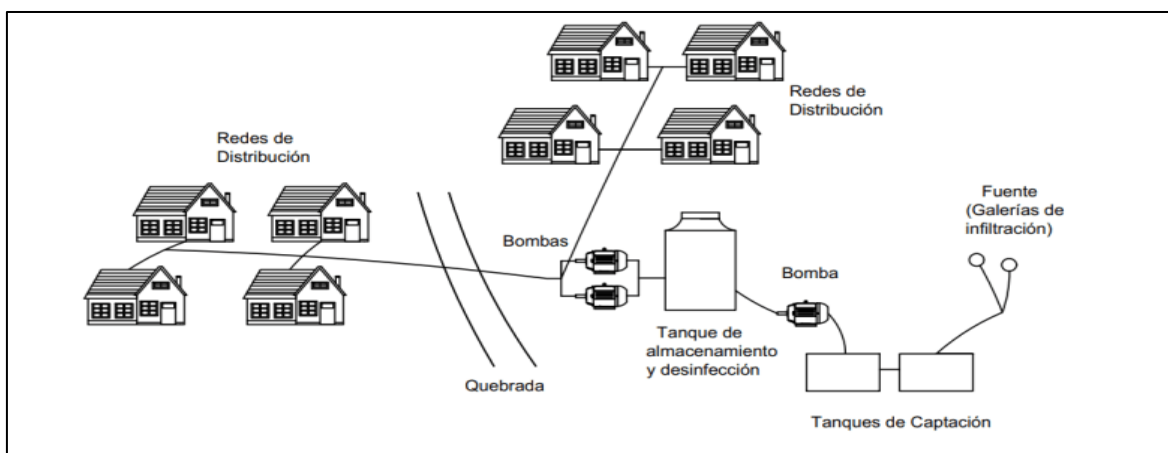


Figura 8. Esquema Sistema de distribución de agua.

Una vez implantados los puntos de muestreo, se procedió a realizar la caracterización y muestreo en campo, teniendo en consideración las técnicas y precauciones de la norma NTE INEN 2169 del 2013. Se determinaron en total siete puntos de monitoreo para así establecer la constitución físico-química y microbiológica del recurso hídrico de los diferentes puntos a muestrear. Todos los análisis de laboratorio se realizaron en el Distrito Metropolitano de Quito, durante los meses de septiembre a diciembre del 2021, en los laboratorios pertenecientes a la Escuela Politécnica Nacional.

- Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA)
- Laboratorio de Tecnología Industrial – Área de Agua y Saneamiento Ambiental
- Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM)

Los procesos unitarios del agua puestos en funcionamiento a lo extenso del sistema de suministro y repartimiento de agua del barrio San Antonio de Chillo Jijón, posibilitaron la decisión de cada uno de los parámetros del agua a ser examinados en cada punto de muestreo.

El plan de muestreo completo consta de manera detallada en el Anexo II.

2.2 Caracterización y muestreo de agua

2.2.1 Parámetros *in situ*

Para la evaluación de los parámetros *in situ*, se constató que los equipos portátiles del Laboratorio de Tecnología Industrial – Área de Agua y Saneamiento Ambiental, tales como el turbidímetro y el equipo multiparamétrico se hallen en excelentes condiciones, perfectamente calibrados y con sus respectivas baterías, con el fin de asegurar que los datos obtenidos sean ejemplares. Las mediciones *in situ* se realizaron en los siguientes puntos: galerías de filtración, tanques de captación, tanque de desinfección, primera y última conexión domiciliaria. Una vez que se verificó el estado de los equipos portátiles se procedió a esterilizar el receptáculo (jarra aforada) tres veces con la misma agua a muestrear. Seguidamente se recolectó la muestra en el receptáculo y se insertó la sonda multiparamétrica en el agua como se visualiza en la Figura 9 y se midió los parámetros: conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto.

De la misma manera se homogenizó tres veces la celda de vidrio para medir la turbidez con el equipo portátil (turbidímetro), después se introdujo la celda con la muestra del líquido vital en el turbidímetro y se realizó la respectiva lectura, como se muestra en la Figura 9. Para la manipulación del equipo se utilizó guantes de nitrilo y toallas de papel para limpiar las celdas en cada lectura. En la Tabla 3 y 4 se detallan los equipos y materiales que se utilizó para medir cada uno de los parámetros mencionados anteriormente en el sitio de muestreo, así como las unidades, tipo y el método empleado.



Figura 9. Medición de parámetros *in situ*.

Tabla 3. Equipos para parámetros *in situ*.

Equipo	Descripción	Gráfico
Multiparámetro	La sonda multiparamétrica permite medir varios parámetros de forma simultánea en campo con una alta precisión para aguas subterráneas y superficiales: pH, oxígeno disuelto, conductividad, salinidad, temperatura, sólidos disueltos totales.	 <p>Figura 10. Multiparámetros.</p>
Turbidímetro	El turbidímetro permite medir las partículas suspendidas presentes en un líquido mostrando valores en NTU (unidades nefelométricas de turbidez). Arroja resultados precisos y confiables tanto para aguas ultrapuras como aguas de alta turbidez.	 <p>Figura 11. Turbidímetro.</p>
Piseta	La piseta es un frasco plástico que posee un pequeño tubo capaz de entregar agua destilada que permite el lavado de las sondas para liberar productos o reactivos.	 <p>Figura 12. Piseta.</p>

Tabla 4. Métodos utilizados para parámetros *in situ*.

Parámetro	Unidades	Tipo	Equipo	Método
Conductividad	μS	Físico	Multiparámetros	Electrométrico
Oxígeno Disuelto	mg/L	Químico	Multiparámetros	Sonda óptica
Potencial de Hidrógeno	pH	Químico	Multiparámetros	Potenciométrico
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Físico	Multiparámetros	Potenciométrico
Turbiedad	NTU	Físico	Turbidímetro	Nefelométrico

- **Porcentaje de saturación de oxígeno**

Se estableció el tanto por ciento de saturación de oxígeno para verificar si el equipo portátil multiparámetros efectuó la rectificación de la presión atmosférica, ya que las mediciones se lo realizaron en lugares de gran elevación. Para esto se empleó la temperatura del agua, la concentración de oxígeno disuelto y la presión atmosférica con respecto a la elevación de cada punto de muestreo.

Primero se empleó la Ecuación 1, las elevaciones tomadas mediante el GPS se reemplazaron en la Ecuación 1 y se obtuvo la presión atmosférica.

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

Ecuación 1. Presión Atmosférica en función de la elevación [20, p. 34].

Donde:

P_{atm} = Presión atmosférica [Pa]

ρ = Densidad del líquido vital 1 000 [kg/m³]

g = Aceleración gravitacional 9.81 [m²/s]

H = Altura sobre el nivel del mar [m]

Ulteriormente, se empleó la Ecuación 2, pero para obtener dicha ecuación se transformó la presión atmosférica de unidades de pascales (Pa) a milímetros de mercurio (mm Hg) y se obtuvo el valor de corrección.

$$Factor = \frac{1}{((0.001316 \times P_{atm}) - 0.000036)}$$

Ecuación 2. Factor de corrección de presión para cálculo de % SAT [21].

Seguidamente, se estimó las medidas de oxígeno disuelto y temperatura del agua que se obtuvo en campo, y fueron sustituidos en la Ecuación 3, y se obtuvo el tanto por ciento de saturación de oxígeno corregido en el líquido vital.

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

Ecuación 3. Porcentaje de saturación de oxígeno en el agua [22, p. 48].

Los datos de elevaciones, temperatura de agua, oxígeno disuelto, así como el porcentaje de saturación corregido se presentan de manera detallada en el Anexo III.





2.2.2 Parámetros de laboratorio

Después de haber realizado los análisis *in situ* de los parámetros descritos en el punto anterior, se procedió con otros de los aspectos más relevantes en el proyecto, el cual es la caracterización y muestreo de parámetros de laboratorio que se basa en la recolección, preservación y transporte de muestras.

Para la recolección en campo se desarrolló las etiquetas para los puntos de muestreo, posteriormente se determinó los envases a usar de acuerdo al análisis a realizar. Se lavó

químicamente los envases para estudios físico-químicos y para estudios microbiológicos se utilizó envases esterilizados. Además, para asegurar la representatividad de las muestras se evitó la contaminación con el uso de mandil y guantes nitrilo. Ver Tabla 5.

Tabla 5. Materiales utilizados para el muestreo de agua.

Material	Descripción	Gráfico																
Frascos Ámbar	Son envases de tonalidad oscura que permite conservar muestras de agua, disoluciones o reactivos que evitan las alteraciones de descomposición debido a la presencia de luz.	 <p data-bbox="1027 701 1366 734">Figura 13. Envases ámbar.</p>																
Frascos esterilizados de muestra de orina	Los frascos estériles están diseñados para contener muestras biológicas, el objetivo principal es mantener segura y libre de contaminantes la muestra de agua para que su posterior análisis sea lo más preciso y certero.	 <p data-bbox="1027 958 1386 992">Figura 14. Envases estériles.</p>																
Etiqueta de muestreo	La etiqueta de muestreo es de suma importancia al momento de realizar la toma de muestras, esta le ayudara al analista de laboratorio identificar rápidamente el tipo de análisis a realizar y el tipo de preservante utilizado.	<table border="1" data-bbox="979 1016 1428 1234"> <tr> <td data-bbox="979 1016 1117 1068">Análisis a realizar:</td> <td data-bbox="1117 1016 1203 1068"></td> <td data-bbox="1203 1016 1316 1068">Lugar de muestreo:</td> <td data-bbox="1316 1016 1428 1068"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="979 1068 1117 1120">Fecha de muestreo:</td> <td data-bbox="1117 1068 1203 1120"></td> <td data-bbox="1203 1068 1316 1120">Preservante utilizado:</td> <td data-bbox="1316 1068 1428 1120"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="979 1120 1117 1171">Hora de muestreo:</td> <td data-bbox="1117 1120 1203 1171"></td> <td data-bbox="1203 1120 1316 1171">Número de muestra:</td> <td data-bbox="1316 1120 1428 1171"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="979 1171 1117 1234">Nombre muestreador:</td> <td data-bbox="1117 1171 1203 1234"></td> <td data-bbox="1203 1171 1316 1234">Tipo de muestra:</td> <td data-bbox="1316 1171 1428 1234"></td> </tr> </table> <p data-bbox="1078 1243 1329 1276">Figura 15. Etiqueta.</p>	Análisis a realizar:		Lugar de muestreo:		Fecha de muestreo:		Preservante utilizado:		Hora de muestreo:		Número de muestra:		Nombre muestreador:		Tipo de muestra:	
Análisis a realizar:		Lugar de muestreo:																
Fecha de muestreo:		Preservante utilizado:																
Hora de muestreo:		Número de muestra:																
Nombre muestreador:		Tipo de muestra:																
Guantes de nitrilo	Son de gran importancia al momento de realizar el muestreo de agua, ya que evitará que la misma se contamine de agentes externos asegurando los valores y además protegerá al analista del derrame de ácidos al momento de preservar muestras.	 <p data-bbox="1008 1541 1406 1574">Figura 16. Guantes de nitrilo.</p>																
Cooler	Es una caja refrigerante que permite preservar las muestras de agua, desde el momento que en que se realiza el muestreo hasta el momento de llegada al laboratorio para su posterior análisis.	 <p data-bbox="1099 1827 1331 1861">Figura 17. Cooler.</p>																

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

Se realizó la homogenización de los recipientes tres veces con la misma muestra del recurso hídrico, se evitó que el agua tenga contacto con los muros de las galerías y de los tanques. De acuerdo con el punto a muestrear, se tomó varias observaciones, para las galerías de filtración se tomó la muestra en el centro de la captación con un ángulo de 45° y se evitó el contacto con la tierra y la tubería de captación. En los tanques se tomó la muestra en el centro a 20 centímetros de profundidad, mientras tanto en los domicilios se realizó la toma de muestras en los grifos de riego. Para las llaves de agua se realizó la esterilización con la ayuda de una fosforera y se eliminó los agentes externos que afectan a la muestra, finalmente se dejó circular el líquido vital entre 1 y 2 minutos y se procedió a la toma de muestras. Ver Figura 18.



Figura 18. Toma de muestras y esterilización de grifos.

Para los análisis orgánicos se llenaron por completo todos los envases, mientras que para los análisis microbiológicos se dejó un espacio vacío para la aireación y se selló rápidamente para evitar contaminación por agentes externos. Una vez recolectada y sellado cada muestra se procedió a etiquetar cada envase y se cubrió con cinta adhesiva transparente como se muestra en la Figura 19 para que no se desvanezca la tinta de la etiqueta y asegurar la legibilidad de la misma.



Figura 19. Sellado y etiquetado de muestras.

- **Preservación de muestras**

Para la preservación de muestras se adicionó preservantes y se retardaron los cambios químicos y biológicos para poder ser trasladadas las muestras hacia el laboratorio. Todas las muestras que se recolectaron se depositaron inmediatamente en un cooler y se preservaron con hielo. En la Tabla 6 se presenta de manera detallada las técnicas aconsejadas para la preservación de muestras, en función de los parámetros de calidad del líquido vital a examinar, establecido mediante la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169.

Tabla 6. Técnicas de preservación de muestras [23, pp. 8-15].

Parámetro	Tipo de envase	Volumen de muestra [ml]	Técnicas de preservación	Tiempo límite de preservación
Alcalinidad	P o V	500	Refrigeración de 1 a 5 °C	24 horas
Coliformes Fecales	P (esterilizado)	200	Refrigeración a 4 °C	24 horas
Coliformes Totales	P (esterilizado)	200	Refrigeración a 4 °C	24 horas
DBO5	V	500	Refrigeración a 4 °C	24 horas
DQO	V	100	Refrigeración a -20 °C Acidificar pH < 2 con H ₂ SO ₄	1 mes
Dureza Total	P o V	100	Refrigeración de 1 a 5 °C Acidificar pH entre 1 a 2 con HNO ₃	1 mes
Fosfatos	P	100	Refrigeración de 1 a 5 °C	48 horas
Hierro Total	P (lavado con ácido)	100	Acidificar pH entre 1 a 2 con HNO ₃	1 mes
Manganeso	P (lavado con ácido)	100	Acidificar pH entre 1 a 2 con HNO ₃	1 mes
Nitratos	P	100	Refrigeración de 0 a 6 °C	48 horas
Nitritos	P	200	Refrigeración de 0 a 6 °C	48 horas
Nitrógeno Amoniacal	V o P	250	Refrigeración de 2 a 5 °C Acidificar pH < 2 con H ₂ SO ₄	1 mes
Oxígeno Disuelto	V o P	250	Refrigeración de 1 a 5 °C	1 mes
Sólidos Disueltos Totales	V o P	500	Refrigeración a 4 °C	24 horas
Sólidos Totales	V o P	500	Refrigeración a 4 °C	24 horas

- **Transporte y entrega de muestras**

El ambiente en que se transportó todas las muestras fue a una temperatura entre 1 a 5 °C y se eludió la exposición a la luz. Las muestras para coliformes totales y coliformes fecales fueron entregadas al CICAM, mientras que las demás muestras se los analizó en el LDIA antes de cumplir las 24 horas de su toma. Ver Figura 20.



Figura 20. Muestras entregadas para análisis.

2.3 Análisis de parámetros en laboratorio

2.3.1 Métodos para análisis de parámetros físicos

- **Sólidos Totales**

El método empleado para este análisis fue el gravimétrico, para ello primero se prepararon las cápsulas de porcelana, es decir se lavó las capsulas con agua destilada y luego fueron situadas en la estufa a un ambiente de 103 y 115 °C por un tiempo de sesenta minutos aproximadamente, todo esto con el objetivo de eliminar cualquier residuo que interfiera en la medición, después las capsulas fueron colocadas en el desecador para su enfriamiento. Después se pesaron las capsulas y se agregó 50 ml de muestra y se las introdujo en la estufa por un lapso de 24 horas. Una vez cumplido el tiempo, se colocaron las capsulas en el desecador por un tiempo de 30 minutos y se volvió a pesar como se visualiza en la Figura 21 y se registró inmediatamente la información obtenida.



Figura 21. Pesaje de capsulas.

$$ST = \frac{P2 - P1}{Vm} \times 1000$$

Ecuación 4. Determinación de sólidos totales [24, p. 7].

Donde:

P_2 = Crisol tarado + residuo seco [mg]

P_1 = Peso de crisol previamente tarado [mg]

V_m = Volumen de muestra [L]

- **Sólidos disueltos totales**

El equipo que se empleó se expone en la Figura 22. Antes que nada, se agitó la muestra del líquido vital para homogenizarla, seguidamente con el apoyo de una pipeta y una propipeta se colocaron 25 ml de muestra encima de un filtro y un Kitasato. Se filtró la muestra por completo. Se ocupó un papel filtro y se ubicó encima del crisol previamente pesado. Los crisoles se colocaron en la estufa a 105 °C durante 24 horas, tiempo en que el líquido vital se evaporó completamente. Una vez transcurrido este periodo de tiempo se tomó los crisoles y se colocó en el desecador por el transcurso de una hora hasta que llegaran a temperatura ambiente. Después de que los crisoles se enfriaran, se pesó rápidamente para evadir alteraciones en el peso por la presencia de aire o degradación del residuo.



Figura 22. Equipo para determinación de sólidos disueltos totales.

$$SDT = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{V_m}$$

Ecuación 5. Determinación de sólidos disueltos totales [12, p. 105].

Donde:

P_2 = Crisol tarado + residuo seco tras evaporación [mg]

P_1 = Peso de crisol previamente tarado [mg]

V_m = Volumen de muestra [L]

2.3.2 Métodos para análisis de parámetros químicos

- **Alcalinidad**

Para el análisis de la alcalinidad primero se situaron 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Seguidamente se midió el pH como se muestra en la Figura 23. Se

registró existencia de alcalinidad total, ya que el pH resultó menor a 8.3. A continuación, se agregó tres gotas de indicador de fenolftaleína. Se reportó carbonatos igual a cero debido a que cuando se agregó el indicador de fenolftaleína no se tornó de color rosa. Después se colocaron dos gotas de indicador de naranja de metilo, posteriormente se colocó ácido sulfúrico $H_2 SO_4$ de 0.02 N en la bureta y se tituló desde un tono amarillo hasta la aparición de un ligero tono naranja. Finalmente, una vez presenciado el cambio de color se registró el volumen de $H_2 SO_4$ que se utilizó.



Figura 23. Medición de pH para determinación de alcalinidad.

$$Alcalinidad \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{A \times N \times 50000}{V_m}$$

Ecuación 6. Determinación de alcalinidad [25, p. 40].

Donde:

A = Volumen de $H_2 SO_4$ gastado [ml]

N = Normalidad de $H_2 SO_4$

V_m = Volumen de muestra [ml]

- **Cloro libre residual**

Para la determinación del cloro libre residual se fijó la onda del espectrofotómetro a 530 nm. A continuación, se tomaron dos celdas, en la primera celda para el blanco se colocaron 10 ml y en la segunda celda se situaron 10 ml de muestra. Posteriormente se añadió una bolsa de polvo de cloro libre DPD (N, N-dietil-p-fenilenediamina), se tapó la celda y se agitó por un periodo de 20 segundos. Una vez de haber transcurrido el tiempo de reacción, se colocó el blanco en el espectrofotómetro y se encendió, seguidamente se situó la reacción en la celda y finalmente se procedió a realizar el registro de los valores obtenidos.

- **Demanda química oxígeno (DQO)**

Para el análisis de la DQO, primero se homogenizó la muestra del líquido vital. Después se precalentó el digestor a una temperatura de 150 °C, se empleó los viales de DQO para rango bajo de 3 a 150 mg/l. Seguidamente se destapó los viales y se colocaron 2 ml de muestra con la ayuda de una pipeta y una propipeta, se ubicó la muestra en los viales con

un ángulo de 45° de manera prudente, se tapó herméticamente los viales y se agitó cuidadosamente por el transcurso de 2 minutos. A continuación, se destapó los viales y se dejó escapar los gases generados por el ácido. Para el blanco se empleó agua destilada y se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente. Ulteriormente, se colocaron los viales en el digestor precalentado por el transcurso de 2 horas como se muestra en la Figura 24. Una vez cumplido el tiempo de digestión, se dejó enfriar los viales por 30 minutos y finalmente se colocó los viales en el espectrofotómetro y se registró inmediatamente los datos obtenidos.



Figura 24. Digestor de muestras.

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)**

Basándose en los datos negativos alcanzados en la investigación de la DQO, se estableció la inexistencia de materia orgánica representativa en todas las muestras de agua. De tal manera se suprimió el análisis de la demanda biológica de oxígeno al quinto día.

- **Dureza total**

Para el análisis de la dureza total, primero se situaron 10 ml de muestra dentro de un matraz Erlenmeyer, posteriormente se añadió 1 ml de solución buffer de dureza que permitió ajustar la muestra a un pH de 10. Seguidamente con una micro espátula se adicionó una pisco de indicador de Negro de Eriocromo T, se agitó suavemente y la muestra se tornó de color violeta, posteriormente se colocó ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en una bureta de concentración de 0.01 M y se procedió a titular. El cambio de color en la muestra se tornó de color violeta a color azul como se observa en la Figura 25. Finalmente, una vez de haber presenciado el cambio de color se procedió a registrar el volumen consumido de EDTA.



Figura 25. Análisis de dureza total por titulación ácido EDTA.

$$\text{Dureza total} = \frac{V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times 100091}{V_{MUESTRA}}$$

Ecuación 7. Determinación de dureza total [25, p. 39].

Donde:

V_{EDTA} = Volumen de ácido EDTA [ml]

M_{EDTA} = Molaridad de ácido EDTA

$V_{MUESTRA}$ = Volumen de muestra [ml]

100 091 = Peso atómico del carbonato de calcio

- **Fosfatos**

Para la determinación de fosfatos se fijó la longitud de onda del espectrofotómetro a 530 nm. Se utilizó dos probetas de 25 ml. La primera probeta se llenó con 25 ml de muestra, con la ayuda de un gotero calibrado se agregó 1 ml de molibdato, seguidamente se agregó 1 ml de solución de reactivo de aminoácido. En la segunda probeta se realizó el mismo procedimiento, pero en vez de la muestra se utilizó agua desionizada (blanco). Se tapó y se invirtieron las dos probetas varias veces para mezclar. Se dejó reposar por un lapso de 10 minutos. Una vez transcurrido el tiempo de reacción, se colocó la muestra preparada y el blanco en las respectivas celdas. Después se colocó el blanco en el espectrofotómetro para encerrar, seguidamente se situó la muestra preparada y finalmente se realizó el registro de los valores obtenidos. Ver Figura 26.



Figura 26. Determinación de fosfatos.

- **Hierro Total**

Para la realización de este análisis se usó el espectrofotómetro UV- Visible. Se ajustó la longitud de onda hasta 510 nm. Se utilizaron dos celdas de 10 ml, en la primera celda se situó 10 ml únicamente de muestra para el blanco. En la segunda celda se situaron 10 ml de muestra y se colocó el reactante en polvo FerroVer, se mezcló suavemente con movimientos circulares y se dejó reposar por el transcurso de tres minutos, una vez

completado el tiempo de reacción, se situó el blanco en el espectrofotómetro para encerar, después se colocó la muestra y finalmente se realizó el registro de los valores obtenidos.

- **Manganeso**

Para el análisis de manganeso se colocaron 10 ml de agua destilada en una celda para el blanco. Después, se situó 10 ml de la muestra en una segunda celda, se añadió el sobre de reactivo buffer de citrato, se tapó y se invirtió cuidadosamente. Seguidamente se añadió el sobre de reactivo periodito sódico en polvo, de la misma manera se tapó y se invirtió prudentemente. Se dejó reposar por un periodo de dos minutos. Una vez cumplido el tiempo de reacción se situó el blanco en el espectrofotómetro para encerar, a continuación, se situó la muestra y finalmente se anotó los valores obtenidos.

- **Nitratos**

En el análisis de este parámetro se utilizó el espectrofotómetro HACH DR1900, se estableció la longitud de onda de 500 nm. En la primera celda se colocó 10 ml de muestra sin adicionar reactivos y se utilizó como blanco, en la segunda celda se colocó 10 ml de muestra, se adicionó el reactivo en polvo NitraVer 5 y se agitó reciamente de forma invertida por un período de un minuto. Se dejó reposar por cinco minutos para el tiempo de reacción. Una vez transcurrido este periodo de tiempo se colocó el blanco en el espectrofotómetro para encerar, después se colocó la muestra y finalmente se realizó el registro de los valores obtenidos.

- **Nitritos**

En el análisis de este parámetro se utilizó el espectrofotómetro HACH DR1900, se estableció la longitud de onda de 507 nm. Se utilizó dos celdas de 10 ml cada una, en la primera celda se situó agua destilada la cual se utilizó como blanco y en la segunda celda se situó la muestra. Seguidamente a las dos celdas se les adicionó el reactivo en polvo NitriVer 3, se agitó el blanco y la muestra suavemente en forma circular y se esperó un tiempo de reacción de 20 minutos, ya transcurrido este periodo se colocó el blanco en el equipo para encerar, después se situó la muestra y finalmente se realizó el registro de los valores obtenidos.

- **Nitrógeno Amoniacal**

Para el análisis del nitrógeno amoniacal se utilizó el espectrofotómetro HACH DR6000, se estableció la longitud de onda de 425 nm. Primero se cargó una probeta con 25 ml de agua desionizada que sirvió como blanco, en una segunda probeta se colocó 25 ml de muestra.

Se agregó tres gotas de estabilizador mineral a cada probeta como se muestra en la Figura 27 y se invirtió varias veces para mezclar. Después con el apoyo de una pipeta se colocó 1 ml de reactivo Nessler en cada probeta y se invirtió varias veces para mezclar. Una vez transcurrido el tiempo de reacción, se vertió la solución en cada celda, seguidamente se colocó el blanco en el espectrofotómetro para encerar, después se colocó la muestra y finalmente se realizó el registro de los valores obtenidos.



Figura 27. Análisis de nitrógeno amoniacal.

2.3.3 Análisis de parámetros microbiológicos

- **Coliformes totales y coliformes fecales**

La determinación de estos dos parámetros microbiológicos se realizó en el CICAM por el personal técnico especializado, se utilizó el método de fermentación de tubos múltiples [NMP]. Ver Anexo IV.

2.4 Análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para el cálculo del Índice de Calidad del líquido vital se utilizó el método expuesto por Brown, se empleó la Ecuación 8, que se basa en una sumatoria lineal de nueve parámetros físico-químicos y microbiológicos.

$$ICA = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * W_i)$$

Ecuación 8. Determinación del ICA-NSF [26, p. 5]

Donde:

W_i = Valor relativo atribuido a cada parámetro [Sub_i].

Sub_i = Subíndice de cada parámetro.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción puntos de monitoreo

En la Tabla 7, se detalla la codificación de todos los puntos involucrados en el muestreo, así como sus respectivas elevaciones y coordenadas que se obtuvieron con el sistema de posicionamiento global GPS, para los diferentes componentes del sistema de abastecimiento y distribución de agua del barrio de San Antonio de Chillo Jijón.

Tabla 7. Descripción de puntos GPS.

Puntos GPS	Código	Lugar	Este	Norte	Cota [msnm]	Zona
1	GL-1	Galería 1	778394	9961093	2613	17M
2	GL-2	Galería 2	778394	9961093	2615	17M
3	TC-1	Tanque de captación 1	778385	9961085	2615	17M
4	TC-2	Tanque de captación 2	778366	9961100	2608	17M
5	TD	Tanque de desinfección	778346	9960950	2638	17M
6	CS-1	Casa 1	778348	9960960	2649	17M
7	CS-2	Casa 2	778325	9960910	2660	17M

3.2 Resultados obtenidos en el muestreo

Los parámetros *in situ* que se examinaron son: conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbidez, mientras que los parámetros químicos, físicos y microbiológicos desarrollados en laboratorio que se analizaron son: alcalinidad, cloro libre residual, demanda química de oxígeno, dureza total, demanda biológica de oxígeno, hierro total, fosfatos, nitratos, nitritos, manganeso, nitrógeno amoniacal, sólidos totales, sólidos disueltos totales, coliformes totales y coliformes fecales. En la Tabla 8 se presentan los resultados de los parámetros de calidad del líquido vital tanto en las galerías de filtración, tanques de captación, tanque de almacenamiento y domicilios. Así como los límites máximos permisibles de la norma NTE INEN 1108 y del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA. Los parámetros que no son especificados en la normativa ecuatoriana, se los analizó con normativas internacionales descritas en la discusión de cada parámetro

Tabla 8. Resultados de análisis físicos, químicos y microbiológicos con norma INEN 1108 y TULSMA.

Parámetro	Unidad	Muestras							TULSMA	INEN 1108:2020	Si cumple / No cumple
		GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TD	CS-1	CS-2			
IN SITU											
Conductividad	uS/cm	277	275	278	279	274	277	278	-	-	-
Oxígeno Disuelto	% Sat	53.42	50.6	55.38	47.92	56.65	62.59	54.12	No menor al 80 %	-	No cumple
pH	-	7.3	7.37	7.53	7.13	7.53	7.41	7.61	6 - 9.0	6.5 - 8.0	Si cumple
Temperatura	°C	16.96	16.56	16.46	16.42	19.25	21.21	21.34	Condición Natural +/- 3 grados	-	Si cumple
Turbiedad	NTU	0.25	0.25	0.37	0.36	0.61	0.69	1.29	10	5	Si cumple
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS											
Alcalinidad	mg/l	120	115	135	130	148	160	180	-	-	-
Cloro libre residual	mg/l	0.07	0	0	0	0.16	0.12	0.14	-	0.3 - 1.5	No cumple
DBO5	mg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	-	Si cumple
DQO	mg/l	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	10	-	Si cumple

Continuación Tabla 8...

Parámetro	Unidad	Muestras							TULSMA	INEN 1108:2020	Si cumple / No cumple
		GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TD	CS-1	CS-2			
Dureza Total	mg/l	158.14	118.11	130.12	127.12	136.12	134.12	150.14	500	-	Si cumple
Fosfatos	mg/l	0.58	1.66	1.34	0.78	1.39	0.44	0.44	-	-	-
Hierro Total	mg/l	0.05	0.02	0.01	0	0.11	0.02	0.02	0.3	-	Si cumple
Manganeso	mg/l	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.1	-	No cumple
Nitratos	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.02	10	50	Si cumple
Nitritos	mg/l	0.008	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.008	1	3	Si cumple
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0.02	0.02	0.03	0	0.12	0	0	1	-	Si cumple
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	158	162	166	160	124	118	196	500	-	Si cumple
Sólidos Totales	mg/l	166	168	210	192	190	168	236	500	-	Si cumple
PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS											
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	5.1	1.1	1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	50	-	Si cumple
Coliformes Totales	NMP/100 ml	43	43	23	23	< 1.1	< 1.1	< 1.1	50	-	Si cumple

3.3 Análisis de resultados de parámetros *in situ*

3.3.1 Conductividad

Las normativas ecuatorianas INEN 1108 y TULSMA Libro VI Anexo 1, Tabla 2, no establecen límites máximos permisibles para el parámetro de la conductividad, sin embargo, se comparó con normativas internacionales solo para agua de consumo humano.

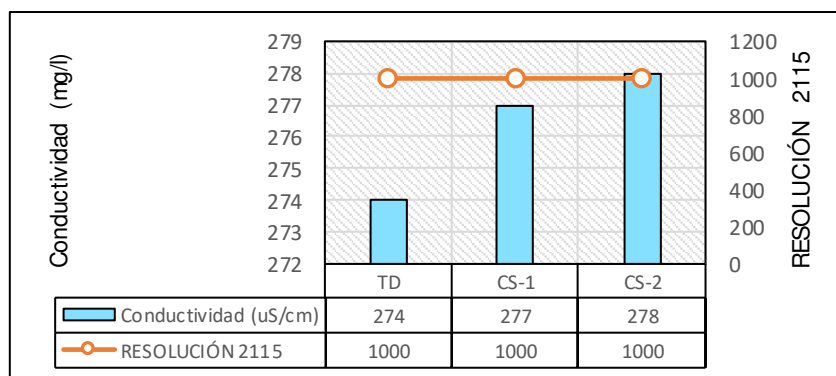


Figura 28. Resultados de conductividad en agua potable.

Agua potable: En el caso de la normativa colombiana se establece en la Resolución 2115 para recursos hídricos de consumo humano, indica que el valor aceptable de conductividad no debe superar los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [27, p. 3], por lo tanto, se demuestra que los resultados obtenidos en campo de la conductividad son bajos y cumplen con los límites máximos permisibles.

La conductividad está directamente vinculada con la presencia de sales disueltas (STD), dichas sales se disuelven en iones de carga positiva y negativa que conducen electricidad. Es decir, entre más conductividad se presente mayor será la concentración de STD y viceversa. En la Figura 29 se presenta la relación de los STD versus la conductividad.

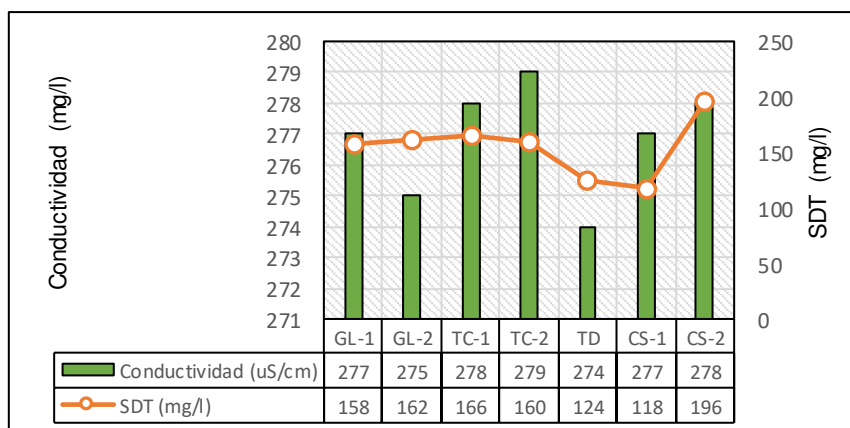


Figura 29. Conductividad vs Sólidos Disueltos Totales.

3.3.2 Oxígeno disuelto

Para agua potable la norma INEN 1108 no indica los límites mínimos permisibles para el parámetro oxígeno disuelto, sin embargo, se comparó con la norma TULSMA para aguas crudas.

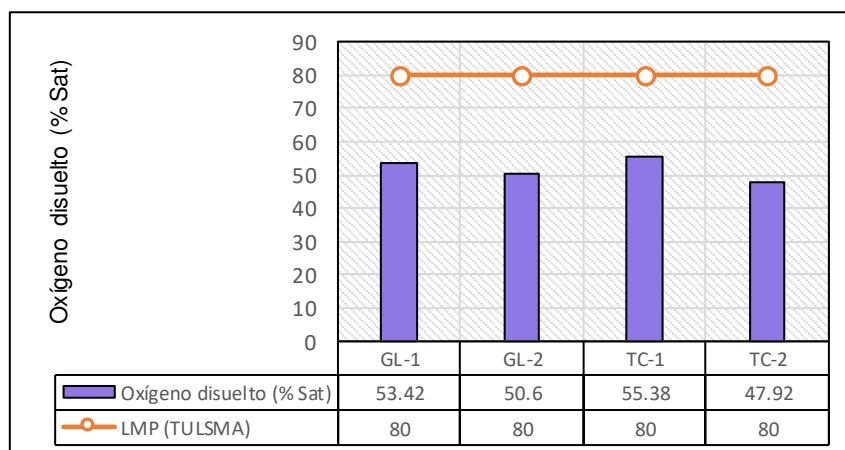


Figura 30. Resultados de oxígeno disuelto en agua cruda.

Agua cruda: La normativa TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, indica que el valor aceptable para el parámetro oxígeno disuelto no debe ser menor a 6 mg/l, ni menor al 80% de oxígeno disuelto saturado, es decir los puntos muestreados antes del tratamiento están fuera de normativa como se plasma en la Figura 30. La falta de oxígeno disuelto puede deberse a alteraciones externas como la temperatura, contenidos de sales en el agua y la presión atmosférica.

A continuación, en la Figura 31 se representa la medida del oxígeno disuelto versus la temperatura, cabe recalcar que a medida que la temperatura aumenta la concentración del oxígeno disuelto disminuye y viceversa.

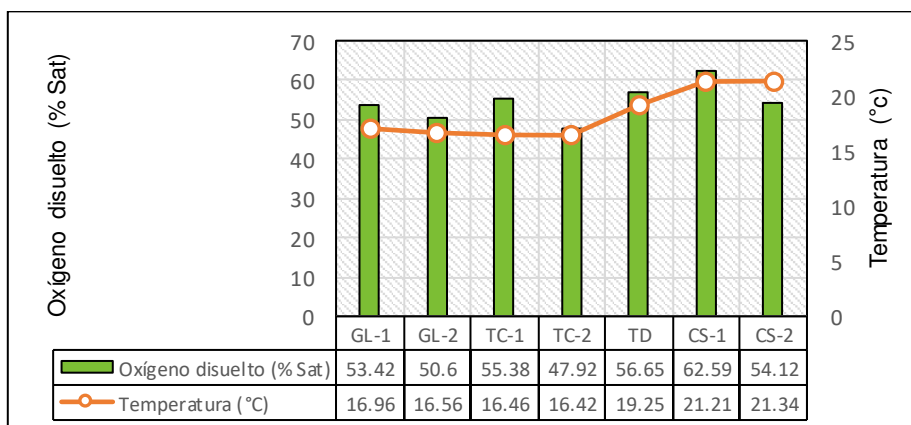


Figura 31. Oxígeno disuelto vs Temperatura.

Según la normativa TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, indica un valor admisible para la temperatura de $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir los puntos muestreados antes del tratamiento cumplen los valores aceptables, sin embargo, es posible ver que a partir del tanque de desinfección la presencia de oxígeno disuelto se ve alterada por el aumento de temperatura ya que a superior temperatura se apresura los procesos fotosintéticos, al igual que la remoción de materia orgánica.

3.3.3 Potencial de hidrógeno (pH)

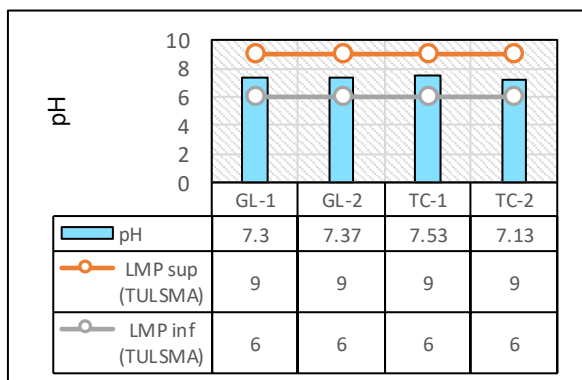


Figura 32. Resultados de pH en agua cruda.

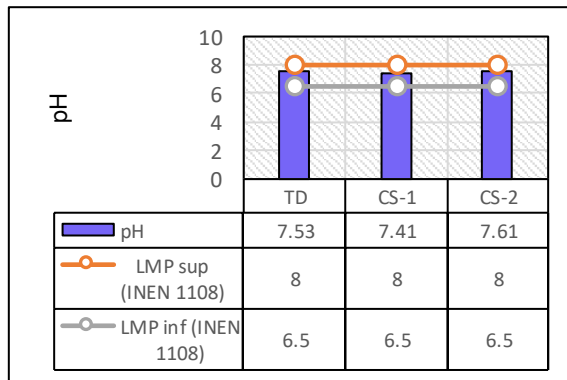


Figura 33. Resultados de pH en agua potable.

Agua cruda: Conforme a la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, establece un valor admisible de 6 a 9. Por lo tanto, los puntos monitoreados antes del tratamiento cumplen con la normativa. Ver Figura 32.

Agua potable: Conforme a la norma INEN 1108 se establece un valor aceptable de 6.5 a 8. De tal manera cumplen con los LMP como se plasma en la Figura 33 y no interpreta problemas para la salud, además se destaca que el proceso de cloración no se ve afectado ya que el pH es menor a 8. Se descarta la presencia de corrosión en el sistema de tuberías y electrodomésticos por concentración del pH.

3.3.4 Turbiedad

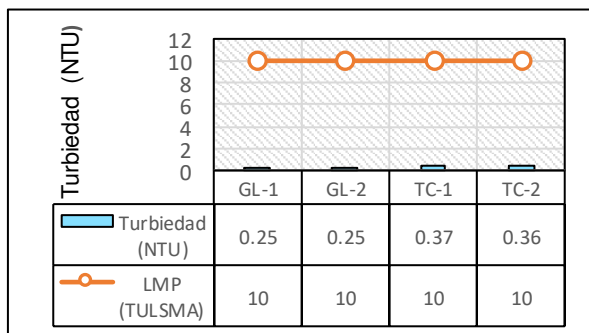


Figura 34. Resultados de turbiedad en agua cruda.

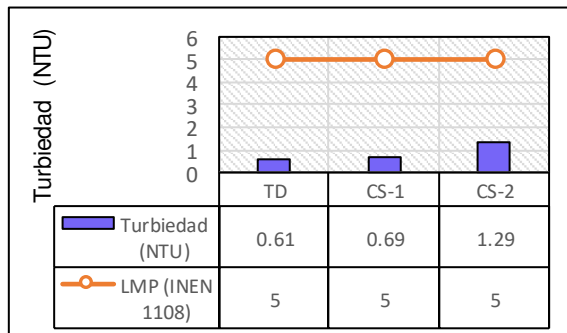


Figura 35. Resultados de turbiedad en agua potable.

Agua cruda: Los valores de turbidez varían de 0.25 a 0.37 NTU, conforme a la normativa TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, establece un valor admisible de 10 NTU. Por consiguiente, los puntos antes del tratamiento cumplen con los valores aceptables como se refleja en la Figura 34. Sin embargo, evidencia una duplicación de la turbidez desde el tanquero dos de captación.

Agua potable: Los valores de turbidez oscilan de 0.61 a 1.29 NTU, por lo tanto, todos los puntos muestreados después del tratamiento cumplen los LMP según la norma INEN 1108 que establece un valor aceptable de 5 NTU como se refleja en la Figura 35, sin embargo, se evidencia en la casa dos un incremento brusco de la turbidez a diferencia de la casa uno, principalmente se presenta estos valores por la presencia de material coloidal disuelto, minerales o de sustancias orgánicas, por lo que puede ser manifestación de contaminación. Así mismo el alto nivel de turbidez presentado en la casa dos puede proteger a los microorganismos de la técnica de desinfección dejando como resultado el incremento de bacterias y aumentar la demanda de cloro.

3.4 Análisis de resultados de parámetros físico-químicos

3.4.1 Alcalinidad

Los cálculos realizados para este parámetro se presentan detalladamente en el Anexo V. Para agua cruda la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, no establece límites máximos permisibles para el parámetro alcalinidad.

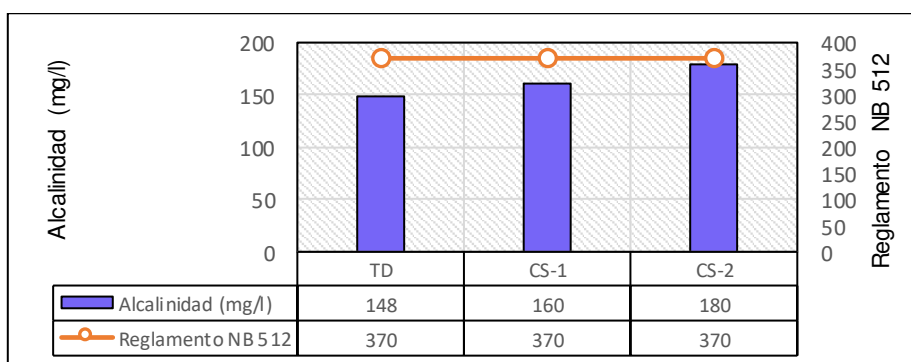


Figura 36. Resultados de alcalinidad en agua potable.

Agua potable: La norma INEN 1108 no establece LMP para alcalinidad, sin embargo, normativas internacionales como la normativa boliviana Reglamento NB 512 – NB 495 -NB 496 [28, p. 8], establece un valor guía de referencia de 370 mg/l. En todos los casos los resultados consuman con los valores admisibles por el citado reglamento como se refleja en la Figura 36, esto quiere decir que el agua analizada no revela un riesgo directo para la salud, y se descarta la existencia de obstrucciones en los accesorios y dispositivos del sistema de distribución de agua por alcalinidad.

3.4.2 Cloro libre residual

La norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, no establece límites máximos permisibles de cloro libre residual para agua cruda, sin embargo, la Norma INEN 1108 si establece los LMP para agua potable.

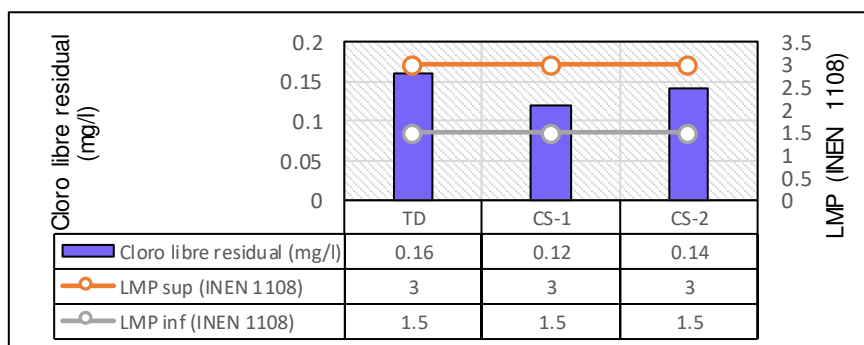


Figura 37. Resultados de cloro libre residual en agua potable.

Agua potable: La norma INEN 1108 establece valores aceptables entre 1.5 y 3 mg/l de cloro libre residual, como se muestra en la Figura 37, ningún punto de monitoreo después del tratamiento cumple con los límites máximos permisibles. Se debe principalmente a que el desinfectante empleado en este caso pastillas de cloro no está siendo colocado en suficiente cantidad. Por lo tanto, para que sea efectivo la desinfección se debe cumplir de manera obligada el tiempo de contacto y para que la cantidad de cloro sea la óptima se debe clorar con hipoclorito de calcio ya que permitirá eliminar virus y bacterias presentes de los procesos anteriores.

3.4.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

La norma INEN 1108 y la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, no establecen LMP para la DQO, sin embargo, según la norma internacional del Perú ECA Anexo I, para aguas crudas empleadas a la obtención de agua potable [29, p. 2], establece el límite máximo permisible de 10 mg/l. Los resultados alcanzados en el análisis de la demanda química de oxígeno fueron negativos, de tal manera todos los puntos muestreados fueron reportados inferiores a 3 mg/l.

3.4.4 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Al adquirir resultados negativos en la demanda química de oxígeno se excluyó el análisis de la DBO₅, se reportó valoraciones inferiores a 10 mg/l, por consiguiente, se expresa una escasa presencia de contaminación por materia orgánica. De tal manera las valoraciones de la demanda biológica de oxígeno fueron reportados inferiores a 2 mg/l, de tal manera, conforme a la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, se cumple los valores admisibles en los puntos monitoreados antes del tratamiento.

3.4.5 Dureza total

Los cálculos para determinar la cantidad de dureza total en cada punto de monitoreo, se presentan de manera detallada en el Anexo V.

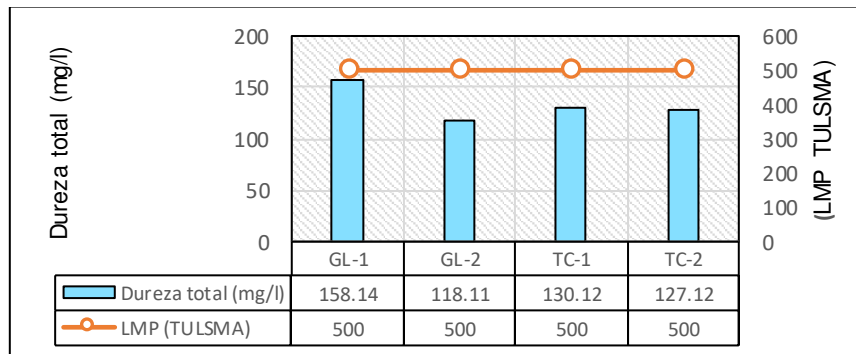


Figura 38. Resultados de dureza total en agua cruda.

Agua cruda: La norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, establece un LMP de 500 mg/l. Los valores obtenidos antes del tratamiento se encuentran en un rango de 118.11 a 158.14, por lo tanto, cumplen con los valores aceptables. Además, el agua es moderadamente dura según la Tabla 1, esto se debe principalmente a la existencia de sales de calcio y magnesio, aunque otros como el hierro y el manganeso influyen en menor cantidad al endurecimiento del agua y a la formación de espuma, ya que se encuentran en constituciones geológicas traspasadas por el agua previo a su captación. Sin embargo, al ser moderadamente dura hace falta un proceso de reducción de dichas sales previo a su desinfección.

3.4.6 Fosfatos

Las normativas ecuatorianas INEN 1108 y TULSMA Libro VI Anexo 1, Tabla 2, no establecen límites máximos permisibles para el parámetro fosfatos, sin embargo, se comparó con normativas internacionales solo para agua de consumo humano

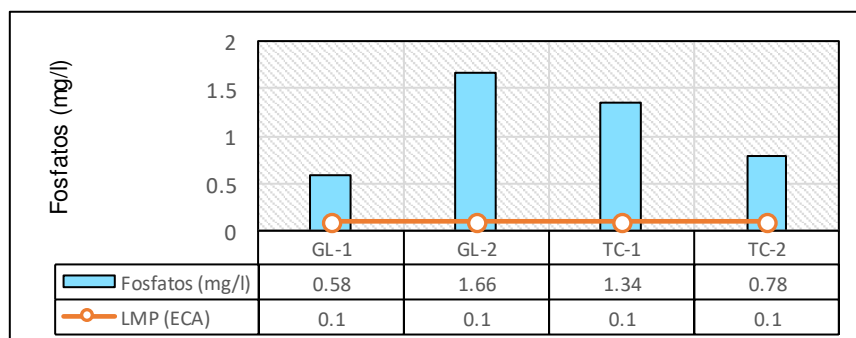


Figura 39. Resultados de fosfatos en agua cruda.

Los valores obtenidos en el análisis se hallan en un intervalo de 0.58 – 1.66 mg/l, según la normativa internacional del Perú ECA, Anexo I, Categoría A1 [29, p. 2], indica un valor

admisible de 0.1 mg/l. Por consiguiente, los puntos monitoreados antes del tratamiento están fuera de los valores aceptables según la normativa internacional como es posible ver en la Figura 39. El exceso de este nutriente se presenta por la erosión del suelo y la materia orgánica en descomposición de animales, esto puede generar efectos negativos por medio de la eutrofización en los tanques de captación, dando como resultado el desarrollo desmedido de algas y el decaimiento del oxígeno disuelto.

3.4.7 Hierro total

La norma INEN 1108 no establece límites máximos permisibles de hierro total para agua potable.

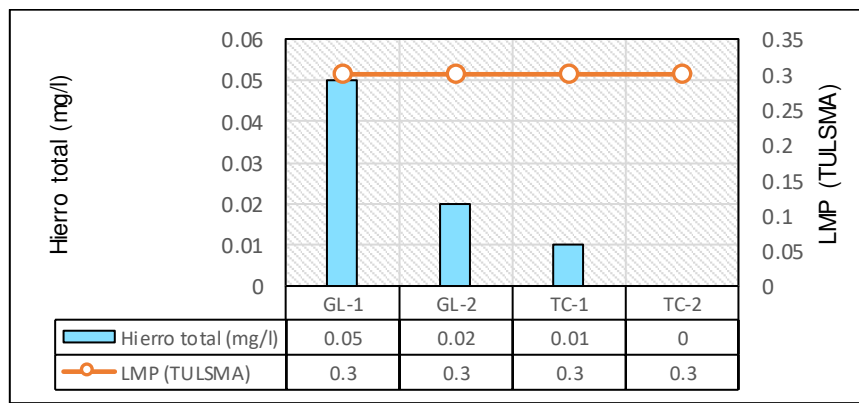


Figura 40. Resultados de hierro total en agua cruda.

Agua cruda: Los valores obtenidos de hierro total cumplen con los límites admisibles establecidos en la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, la cual indica un valor aceptable de 0.3 mg/l. Ver Figura 40. Los resultados obtenidos varían de 0 a 0.05 mg/l, se descarta sabor metálico desagradable y problemas estéticos por manchas de color rojo o naranja en accesorios (bañera, lavandería, lavavajillas) y manchas en la ropa y además no posee ningún riesgo en la salud.

3.4.8 Manganeso

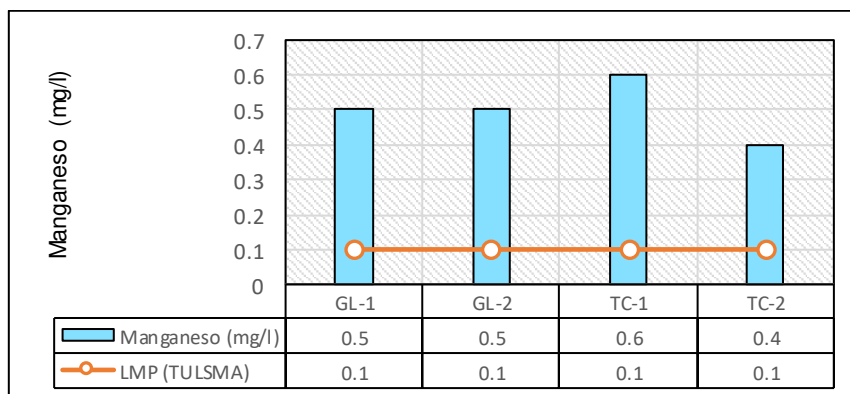


Figura 41. Resultados de manganeso en agua cruda.

Agua cruda: Este parámetro sobrepasa el LMP en los puntos monitoreados antes de la cloración, siendo el valor recomendado de 0.1 mg/l según la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2. Ver Figura 41. El valor elevado de manganeso se debe a la presencia de minerales que se hallan de manera natural en la superficie de la tierra. A medida que el agua se filtra por el suelo y piedras puede disolver dichos minerales y conducirlos hacia el agua subterránea. La presencia de manganeso en grandes cantidades disminuye los niveles de oxígeno disuelto. Se descartan efectos nocivos para la salud, sin embargo, puede provocar corrosión e incrustaciones en el sistema de abastecimiento y distribución (tuberías, accesorios y bombas), así como problemas en el olor y sabor del agua.

3.4.9 Nitratos

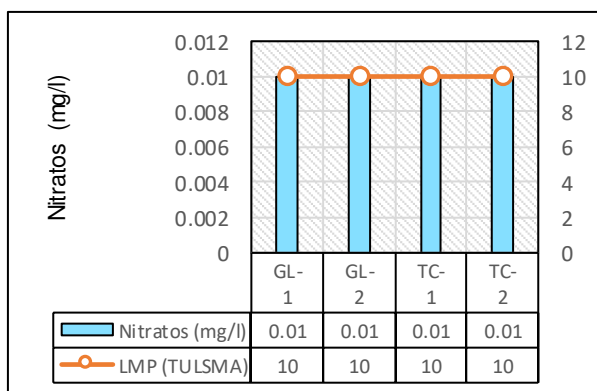


Figura 42. Resultados de nitratos en agua cruda.

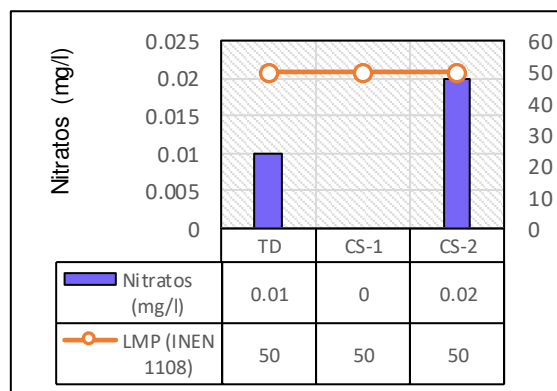


Figura 43. Resultados de nitratos en agua potable.

Agua cruda: Según la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, dispone un LMP de 10 mg/l, por lo tanto, los puntos monitoreados antes del tratamiento cumplen los valores aceptables. Ver Figura 42.

Agua potable: Conforme a la norma INEN 1108, establece un LMP de 50 mg/l, por lo tanto, los puntos monitoreados después de la cloración se encuentran dentro de los valores aceptables como se plasma en la Figura 43. Debido a la baja existencia de este nutriente que tienden a cero, se descarta presencia de nitrosaminas y metahemoglobina que son nocivos para la salud.

3.4.10 Nitritos

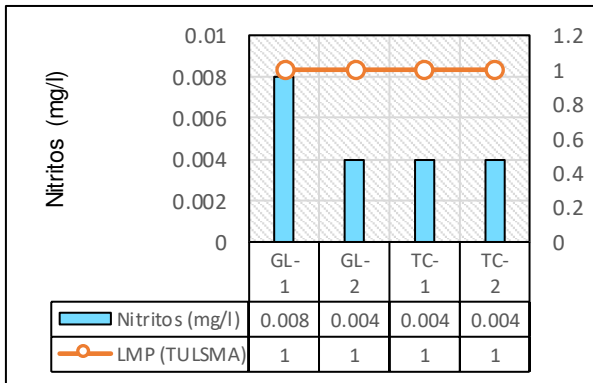


Figura 44. Resultados de nitritos en agua cruda.

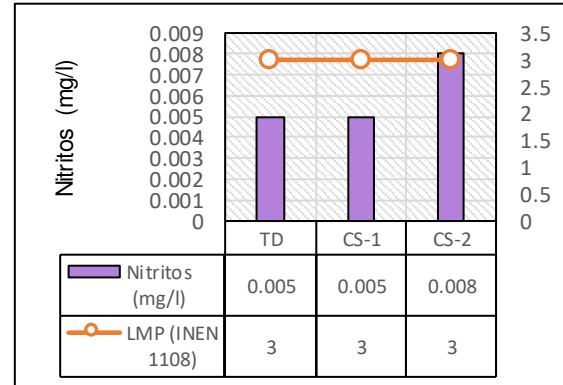


Figura 45. Resultados de nitritos en agua potable.

Agua cruda: Según la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, dispone un LMP de 1 mg/l, por lo tanto, los puntos monitoreados antes del tratamiento cumplen los valores aceptables como se visualiza en la Figura 44. De tal manera existe carencia de nitritos en el subsuelo y se descarta presencia de contaminación reciente residual.

Agua potable: Conforme la norma INEN 1108, establece un LMP de 3 mg/l para nitritos, por consiguiente, los puntos monitoreados después del tratamiento cumplen con la pauta. Ver Figura 45.

3.4.11 Nitrógeno amoniacal

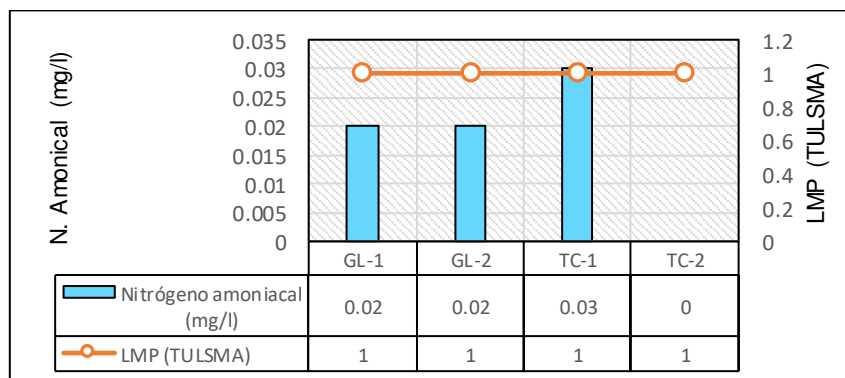


Figura 46. Resultados de nitrógeno amoniacal en agua cruda.

Los valores obtenidos en el análisis del nitrógeno amoniacal antes de la cloración, evidencia inexistencia en el punto TC-2, en los demás puntos existe presencia de este parámetro pero en muy bajas cantidades que tienden a cero ya que al ser aguas subterráneas, el nitrógeno amoniacal es absorbido por la arcilla, por consiguiente, según la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, el nitrógeno amoniacal cumple los límites

máximos permisibles ya que estable un valor aceptable de 1 mg/l como se visualiza en la Figura 46, se descarta presencia de compuestos orgánicos nitrogenados y urea.

3.4.12 Sólidos totales

Los cálculos obtenidos para sólidos disueltos totales se detallan en el Anexo V. La norma INEN 1108 no establece los valores admisibles para agua potable.

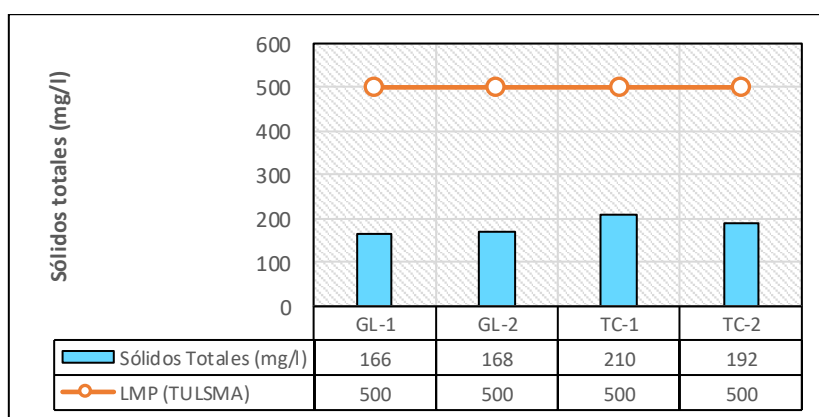


Figura 47. Resultados de sólidos totales en agua cruda.

Agua cruda: La norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, dispone un límite máximo permisible de 500 mg/l para sólidos totales por consiguiente los puntos monitoreados antes del tratamiento cumplen con dicha norma como se visualiza en la Figura 47. Por consiguiente, no se ve afectado el proceso de cloración, ya que, al presentarse gran sobrecarga de sólidos en el recurso hídrico, los contaminantes se pueden albergar en dichos sólidos y no pueden ser alcanzados por el cloro.

3.4.13 Sólidos disueltos totales (SDT)

Los cálculos obtenidos para sólidos disueltos totales se detallan en el Anexo V. La norma INEN 1108 no establece los límites máximos permisibles para agua potable.

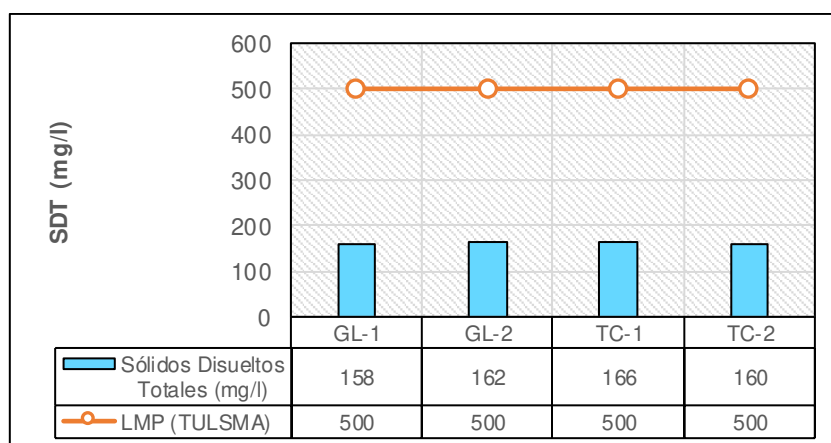


Figura 48. Resultados de SDT en agua cruda.

Agua Cruda: Conforme a la normativa TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, el valor admisible es de 500 mg/l, por lo tanto, los resultados cumplen los valores aceptables en los puntos muestreados antes de la cloración, como se visualiza en la Figura 48, sin embargo existe una gran carga de sólidos disueltos en los tanques de captación, debido a la falta de mantenimiento, esto puede provocar que el método desinfección se vea afectado ya que el cloro suele adherirse a las paredes de los sólidos y no se disuelve.

3.5 Análisis de resultados de parámetros microbiológicos

3.5.1 Coliformes totales

Los resultados obtenidos en laboratorio para coliformes totales para los puntos monitoreados antes del tratamiento indica valores que están entre 23 y 43 NMP/100 ml, conforme a la norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, el LMP es de 50 NMP/100 ml, lo cual indica que cumple los valores aceptables, sin embargo, existe una gran carga contaminante microbiológica reciente en las fuentes de captación, que se debe a la inexistencia de un sistema de protección en la entrada de las galerías, que evite el ingreso de animales. En cambio, los valores obtenidos en los puntos monitoreados después del tratamiento indican valores menores a 1.1, conforme a la Norma INEN 1108, establece la ausencia de los mismos, por consiguiente, hay presencia de contaminación por coliformes totales en muy bajas cantidades, la desinfección utilizada actualmente si está cumpliendo con la eliminación de la mayoría de bacterias y virus evitando el recrecimiento de colonias.

3.5.2 Coliformes fecales

La norma TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2, no establece valores admisibles para coliformes fecales, sin embargo, se corrobora que en la galería 1 existe un valor de 5.1 NMP/100 ml, lo cual indica presencia de contaminación por bacterias de desechos animales de sangre caliente. En cambio, según la norma INEN 1108 indica la ausencia de las mismas, los puntos monitoreados después del tratamiento como los son TD, CS-1 y CS-2 indica valores menores a 1.1, estos datos tienden a cero y el proceso de desinfección utilizado elimina la mayoría de patógenos presentes en el agua cruda.

3.6 Determinación de Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para la determinación de la calidad del líquido vital en el sistema de abastecimiento y distribución de la comunidad de San Antonio de Chillo Jijón se debe tener en consideración 9 parámetros fundamentales que ayudan a establecer la calidad en cada sitio de muestreo como los son: demanda biológica de oxígeno (DBO_5), coliformes fecales, fosfatos, potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), nitratos, sólidos disueltos totales (SDT), turbiedad y temperatura. La determinación del ICA se basó en el método expuesto

por Brown que es una interpretación reformada del Water Quality Index (WQI), ejecutado por la NSF (Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos). Cada parámetro involucrado en la determinación del ICA contiene valores denominados pesos relativos (W_i) que son valores que se encuentran de 0 a 1, donde la suma total de los pesos relativos es igual a uno y subíndices (Sub_i), donde el cálculo de dichos subíndices se lo realiza mediante ecuaciones aritméticas y gráficas que se presentan detalladamente en el Anexo VI.

Nota: Para el cálculo del subíndice del parámetro temperatura se realizó una sustracción de la temperatura ambiente y la temperatura del agua. En este caso la temperatura ambiente de la comunidad de San Antonio de Chillo Jijón el día en que se realizó el muestreo estuvo a 19 °C aproximadamente. Los cálculos de los subíndices para la determinación de cada parámetro anterior y posterior a la cloración se presentan de manera detallada en la Tabla 9 y 10, mientras que los resultados del Índice de Calidad del líquido vital de todo el sistema se presentan en la Tabla 11.

Tabla 9. Determinación del ICA-NSF antes del tratamiento.

Agua cruda								
Parámetro	GL-1	(Sub _i)	GL-2	(Sub _i)	TC-1	(Sub _i)	TC-2	(Sub _i)
Coliformes fecales [NMP/100 ml]	5.1	75.31	1.1	95.2	1.1	95.2	<1.1	98
DBO5 [mg/l]	<2	80	<2	80	<2	80	<2	80
Fosfatos	0.58	59.02	1.66	29.26	1.34	34.61	0.78	50
Nitratos	0.01	98	0.01	98	0.01	98	0.01	98
Oxígeno disuelto [%Sat]	53.42	64.32	50.6	58.85	55.38	68.21	47.92	53.85
pH	7.3	93.23	7.37	92.96	7.53	91.59	7.13	93.04
Sólidos disueltos totales [mg/l]	158	80.17	162	79.76	166	79.34	160	79.97
Temperatura [°C]	2.04	80	2.44	74	2.54	73	2.58	71
Turbiedad [NTU]	0.25	95.21	0.25	95.21	0.37	94.99	0.36	95

Tabla 10. Determinación del ICA después del tratamiento.

Agua tratada						
Parámetro	TD	(Sub _i)	CS-1	(Sub _i)	CS-2	(Sub _i)
Coliformes fecales [NMP/100 ml]	<1.1	98	<1.1	98	<1.1	98
DBO5 [mg/l]	<2	80	<2	80	<2	80
Fosfatos	1.39	33.7	0.44	67.41	0.44	67.41
Nitratos	0.01	98	0	100	0.02	97
Oxígeno disuelto [%Sat]	56.65	70.78	62.59	83.03	54.12	65.7
pH	7.53	91.59	7.41	92.71	7.61	90.53
Sólidos disueltos totales [mg/l]	124	83.02	118	83.39	196	75.73
Temperatura [°C]	-0.25	91	-2.21	81	-2.34	80
Turbiedad [NTU]	0.61	94.54	0.69	94.39	1.29	93.29

- **Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)**

$$ICA = [(75.31 \times 0.15) + (80 \times 0.10) + (59.02 \times 0.10) + (98 \times 0.10) + (64.32 \times 0.17) + (93.23 \times 0.12) + (80.17 \times 0.08) + (80 \times 0.10) + (95.21 \times 0.08)]$$

$$ICA = 79.15$$

Tabla 11. Resultados del ICA-NSF en cada punto de muestreo.

Sistema de abastecimiento y distribución								
Parámetro	W _i	Sub _i * W _i						
		GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TD	CS-1	CS-2
Coliformes fecales [NMP/100 ml]	0.15	11.30	14.28	14.28	14.70	14.70	14.70	14.70
DBO5 [mg/l]	0.10	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Fosfatos	0.10	5.90	2.93	3.46	5.00	3.37	6.74	6.74
Nitratos	0.10	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	10.00	9.70
Oxígeno disuelto [% Sat]	0.17	10.93	10.00	11.60	9.15	12.03	14.12	11.17
pH	0.12	11.19	11.16	10.99	11.16	10.99	11.13	10.86
Sólidos disueltos totales [mg/l]	0.08	6.41	6.38	6.35	6.40	6.64	6.67	6.06
Temperatura [°C]	0.10	8.00	7.40	7.30	7.10	9.10	8.10	8.00
Turbiedad [NTU]	0.08	7.62	7.62	7.60	7.60	7.56	7.55	7.46
Σ ICA-NSF	1.00	79.15	77.56	79.37	78.92	82.20	87.00	82.70

Los valores obtenidos de la calidad del líquido vital en cada punto monitoreado evidencia valores que oscilan entre 77.56 a 87.00. Se constata que hay un incremento de la calidad del agua en la primera casa, sin embargo, en la última casa se presenta una declinación de la calidad el agua por la presencia de sólidos disueltos totales, esto se debe a que existe un sistema independiente de almacenamiento de agua, donde no se le da un mantenimiento adecuado. Mencionado esto la valoración del Índice de Calidad del líquido vital es de BUENA CALIDAD, conforme a la Tabla 12 que se presenta de manera detallada a continuación:

Tabla 12. Clasificación del ICA-NSF.

Calidad de agua	Color	Valor
Pésima		0 a 25
Mala		26 a 50
Regular		51 a 70
Buena		71 a 90
Excelente		91 a 100

3.7 Propuesta de mejoras al tratamiento actual

Con el fin de mejorar los procesos de tratamiento actual y de mejorar la calidad del líquido vital se propone la resolución del tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua, ya que el efecto del desinfectante del cloro no es inmediato. En la tabla 13 se puede apreciar el caudal y el volumen del tanque de almacenamiento.

Tabla 13. Datos para determinación del tiempo de contacto.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal Q =	0.51	[L/s]
Volumen V =	2 264	[L]

$$\text{Tiempo de contacto} = \frac{\text{Volumen del reservorio}}{\text{Caudal}}$$

$$T_c = \frac{2\,264 \text{ [L]}}{0.51 \text{ [L/s]}}$$

$$T_c = 4\,439.22 \text{ [s]}$$

$$T_c = 73.99 \text{ [min]} \approx 70 \text{ [min]}$$

A la vez, se propone la resolución de la dosificación adecuada de hipoclorito de calcio HTH, con el fin de eliminar la mayoría de bacterias y virus presentes en procesos anteriores. La dosis adecuada de hipoclorito de calcio se calculó de acuerdo a la capacidad del tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 49. El tanque de almacenamiento donde se realiza el proceso de cloración es de geometría circular, tiene una altura total de 1.65 [m], mientras que la altura de agua es de 1.20 [m]. El cálculo de la dosificación adecuada de cloro se presenta de manera detallada en la Tabla 14.

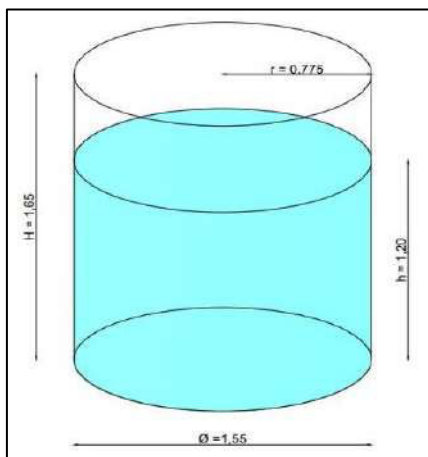


Figura 49. Dimensiones del tanque de almacenamiento.

Tabla 14. Cálculo de dosificación adecuada de cloro.

1. Volumen para cloración
$V = \pi * r^2 * h$ $V = \pi * (0.775)^2 * 1.15$ $V = \pi * (0.775)^2 * 1.20$ $V = 2.2643 [m^3] = 2\ 264.30 [L]$
2. Dosis de cloro a prepararse
D = Demanda total de cloro o concentración en [mg/L] D = 1.5 [mg/L]
3. % de cloro activo del producto
HTH = 70 % = 65%
4. Cloración
P = Peso del producto (hipoclorito de calcio HTH) en gramos a disolver en el tanque. 10 = Factor para que el resultado sea expresado en gramos.
$P = \frac{D [mg/L] * V[L]}{\% * 10}$ $P = \frac{1.5 * 2264.3}{70 * 10}$ $P = 4.85 [g]$

Además, se propone la implementación de una torre de aireación, la cual permitirá por medio de golpes del recurso hídrico, oxidar los metales hallados en el análisis de laboratorio, en este caso el manganeso, así como reducir el exceso de fosfatos con la implementación de carbón activado, el cual ayudará a remover dicho nutriente, ya que funciona como lecho filtrante. Además, la torre de aireación permitirá aumentar el oxígeno disuelto que se encuentra fuera de los valores admisibles en agua cruda, por medio de la re-aireación.

Para el desarrollo del diseño de las bandejas aireadas se tomó en cuenta varias generalidades, que permitirán que la estructura funcione eficazmente, dichas consideraciones se presentan en la Tabla 15. El diseño de la torre de aireación donde se contempla medidas y tipos de material a emplearse, así como los planos en formato A3 se presenta de forma detallada en el Anexo VII.

Tabla 15. Apreciaciones para el diseño de bandejas aireadas.

Parámetro	Características o rango
Carga hidráulica	430 a 860 [$m^3/m^2 * día$] 0.10 a 0.20 m^2 por cada [L/s]
Altura total de la torre de aireación [m]	2 a 3 eventualmente, dependiendo del número de bandejas, pueden alcanzar alturas superiores a 5
Número de bandejas	3 a 5 (se emplean usualmente 5 pero en casos especiales, pueden ser hasta 9 bandejas)
Distancia entre bandejas [cm]	30 a 50
Profundidad de cada bandeja [cm]	20 a 25
Altura máxima permitida de lámina de agua en las bandejas [cm]	10 a 12
Diámetro medio de los orificios [cm]	0.5 a 0.6
Área media de los orificios o ranuras [cm^2]	0.2 a 0.3
Separación media entre los orificios del fondo de las bandejas [cm]	2.5
Eficiencia esperada en remoción de CO_2 [%]	30 a 60
Material del lecho de contacto	Carbón coque, carbón activado, piedra, ladrillo triturado, esferas de cerámica, entre otros.
Tamaño del material del lecho de contacto [cm]	4 a 12
Espesor o altura del lecho de contacto en cada bandeja [cm]	15 a 20

4 CONCLUSIONES

- El uso de herramientas tecnológicas como Google Earth y el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), permitieron ubicar las coordenadas y las elevaciones de todos los puntos de muestreo de manera eficaz, ayudó a la determinación del oxígeno disuelto saturado en base a las elevaciones.
- En base a la presencia de espuma en las galerías de filtración, se consideró el análisis de hierro y manganeso, ya que estos metales se encuentran de forma natural en la capa freática por el contacto del agua con arena y rocas.
- Los niveles bajos de oxígeno disuelto en todos los puntos de monitoreo, afecta la calidad del líquido vital, esto puede repercutir en el daño de las infraestructuras hidráulicas, ya que da lugar a la eutrofización, aumento de turbiedad, elevación de manganeso y presencia de manchas. Para incrementar el oxígeno disuelto se necesita de una re-aireación, que permita al oxígeno del aire disolverse en la superficie del líquido vital, primordialmente mediante turbulencias con golpes del agua contra el material de contacto (carbón activado).
- Al no cumplir los límites máximos permisibles en el parámetro fosfato en los puntos de muestreo antes de la cloración, se constata una sobrecarga de nutrientes sobre todo de nitrógeno y fósforo. Esto se da por la presencia de desechos animales, por consiguiente, provoca crecimiento desmesurado de algas, disminuye el oxígeno disuelto y posteriormente origina eutrofización en los reservorios (tanques de captación), de tal manera para que el fosfato se reduzca, se necesita del empleo de carbón activado que retiene químicos, metales y nutrientes presentes en aguas subterráneas, ya que actúan como esponjas naturales.
- El incumplimiento de los valores máximos permisibles del manganeso antes del proceso de cloración, se debe principalmente a que este metal se encuentra de forma natural en agua subterráneas, concretamente en la capa freática donde las rocas con granos de tierra están llenas de agua. Por tal razón debe ser eliminada antes de su tratamiento, ya que la mezcla del cloro con el manganeso puede provocar sabor, olor y color indeseable, así como la aparición de incrustaciones en las tuberías por la solubilidad de dicho metal, que provocan las pérdidas de carga

y consumo de mayor energía para bombear el agua, dando como resultado la reducción del caudal de bombeo.

- El índice de calidad del líquido vital obtenido en todo el sistema de abastecimiento, desde su captación hasta la distribución, indican un agua de BUENA CALIDAD, sin embargo, con las propuestas planteadas se podrá mejorar la calidad del líquido vital. El ICA obtenido en el último domicilio se reduce con respecto al primer domicilio, esto se debe principalmente a que el último tramo de la distribución cuenta con un tanque de almacenamiento donde se constató presencia de sólidos disueltos en el fondo del tanque debido a la falta de mantenimiento.
- La dosificación adecuada de hipoclorito de calcio HTH, que se debe adicionar en el tanque de almacenamiento con el propósito de eliminar la mayoría de bacterias y virus, debe ser de 4.85 [g].
- La implementación de la torre de aireación permitirá favorecer el contacto del agua con el aire con el objetivo de modificar las sustancias volátiles, alcanza tanto la desorción como la adsorción de los gases presentes en el agua, permite oxidar metales como hierro y manganeso mediante bandejas de aluminio.

5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir el protocolo de uso de equipos de protección para el muestreo y caracterización, tanto del agua cruda como del agua potable, ya que permite resguardar las muestras de agua de la contaminación de agentes externos, que provocan cambios en los análisis de campo y laboratorio.
- Debido al incumplimiento de los valores aceptables del oxígeno disuelto, se recomienda el montaje e instalación de bandejas aireadas previamente al proceso

de desinfección, para así aumentar los niveles de dicho parámetro y evitar problemas que afecten la salud de la comunidad.

- Se recomienda utilizar como material de recubrimiento para las bandejas aireadas el carbón activado para remover metales, fosfatos, y cualquier otra toxina que perjudique la salud de los habitantes.
- Por la presencia de contaminación microbiológica en las galerías de filtración se recomienda que la entrada conste de una puerta de protección, que evite la entrada de animales de sangre caliente e insectos.
- Para evitar la eutrofización en los tanques, es decir la acumulación de sustancias verdes (moho, hongos, eutrofización), por la presencia de nutrientes hallados en el análisis de laboratorio en este caso fosfatos, se recomienda cubrir las paredes con mortero impermeabilizado.
- Se recomienda un tiempo de contacto de 73.99 minutos que es aproximadamente 70 minutos. Este tiempo permitirá matar la mayoría de las bacterias y virus.
- Las bandejas deben ser construida de aluminio o latón, mientras que el esqueleto de la torre de aireación debe ser de acero inoxidable. Además, para el soporte metálico se recomienda cubrir con pintura anticorrosiva, con la finalidad de eludir el desperfecto de la infraestructura por el contacto de agentes externos ambientales.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. I. 1108, *AGUA PARA CONSUMO HUMANO REQUISITOS*, Quito, 2020.
- [2] TULSMA, «extwprlegs1.fao.org,» 2003. [En línea]. Available: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>. [Último acceso: 11 11 2021].
- [3] UICN, 2018. [En línea]. Available: <https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia-monitoreo-participativo-calidad-agua-digital.pdf>. [Último acceso: 01 11 2021].
- [4] INEN 2176, «www.trabajo.gob.ec,» 06 2013. [En línea]. Available: <https://n9.cl/30zfd>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [5] T. Reutelshöfer y L. Guzmán, Guía para la toma de muestras de agua residual, vol. Primera edición, La Paz: PERIAGUA, 2015.
- [6] J. Tinoco, «repository.usc.edu.co,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/3262/NIVELES%20DE%20CLORO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] J. Mayorga, «Caracterización del agua de consumo en el sector Santa Rosa-La Hechicera,» *INGENIERÍA UC*, vol. 22, p. 112, 2015.
- [8] C. Caho y E. López, «Determination of the water quality index for the western section of the TorcaGuaymaral wetland using UWQI and CWQI methodologies,» *Producción + Limpia*, vol. 12, nº 2, p. 15, 25 09 2017.
- [9] H. Huaycho, «repositorio.umsa.bo,» 2019. [En línea]. Available: <https://n9.cl/zh25t>.
- [10] Y. Solís, L. Zúñiga y D. Mora, «Conductivity as a predictive parameter of hardness in grounder and spring water of Costa Rica,» *Tecnología en Marcha*, vol. 31, nº 1, p. 11, 01 2018.
- [11] A. Fernández, «El agua: un recurso esencial,» *Química Viva*, vol. 11, nº 3, p. 23, 12 1] 2012.
- [12] F. Toasa, «www.dspace.uce.edu.ec,» 2012. [En línea]. Available: <https://n9.cl/yqbfj9>. 2]
- [13] M. Crespo y D. Martínez, «dspace.ups.edu.ec,» 02 2018. [En línea]. Available: <https://n9.cl/8c6uj>. 3]
- [14] J. Bolaños, G. Cordero y G. Segura, «Determination of nitrites, nitrates, sulfates and phosphates in drinking water as indicators of contamination caused by human activities,» *Tecnología en Marcha*, vol. 30, nº 4, p. 12, 10 2017.
- [15] OMS, «www1.paho.org,» 2012. [En línea]. Available: <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>. 5]
- [16] J. Carvajal y M. J. Olives, «dspace.ups.edu.ec,» 06 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17425/1/UPS%20-%20ST004111.pdf>. 6]

- [1 C. Valencia, «dspace.ucuenca.edu.ec,» 16 08 2017. [En línea]. Available: 7] <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/754/1/ti881.pdf>.
- [1 F. Echeverría y D. Peralta , «repositorio.espe.edu.ec,» 07 2015. [En línea]. Available: 8] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11454/1/T-ESPE-049179.pdf>.
- [1 GADPRA, «www.amaguania.gob.ec,» 2019. [En línea]. Available: <https://n9.cl/3uiaa>. 9]
- [2 D. Sandoval y B. Sisa, «bibdigital.epn.edu.ec,» 2020. [En línea]. Available: 0] <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21278/1/CD%2010794.pdf>.
- [2 S. López, 11 08 2012. [En línea]. Available: 1] <http://selobu.blogspot.com/2012/08/porcentaje-de-saturacion-de-oxigeno.html>.
- [2 M. Mazzeo y G. Pérez, «repositorio.ufpso.edu.co,» 12 2019. [En línea]. Available: 2] <http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/495/1/33288.pdf>.
- [2 INEN 2169, «www.trabajo.gob.ec,» 06 2013. [En línea]. Available: <https://n9.cl/8hd2m>. 3]
- [2 T. M. C. Galvan, «www.ideam.gov.co,» 14 06 2007. [En línea]. Available: 4] <https://n9.cl/75kd>. [Último acceso: 11 2021].
- [2 E. Calderón y N. Flores, EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y FACTIBILIDAD 5] DE USO DE LOS OJOS DE AGUA HUERTAYACU Y AMAGULO UBICADOS EN LA PARROQUIA NAYÓN, Quito, 2020.
- [2 SNET, «www.snet.gob.sv,» 24 08 2009. [En línea]. Available: 6] <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>. [Último acceso: 24 12 2021].
- [2 RESOLUCIÓN 2115, «laboratoriodeanalisis.lasalle.edu.co,» 22 06 2007. [En línea]. 7] Available: <https://n9.cl/rtu9u>.
- [2 MMMAyA, «www.bivica.org,» 10 2018. [En línea]. Available: 8] <https://www.bivica.org/files/normativa-calidad-agua.pdf>.
- [2 O. Dominguez, «www.minam.gob.pe,» 31 07 2008. [En línea]. Available: 9] https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf.

7 ANEXOS

ANEXO I. Turnitin porcentaje máximo 12%.

Revisión final Turnitin			
INFORME DE ORIGINALIDAD			
6%	5%	1%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
FUENTES PRIMARIAS			
1	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante		1%
2	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet		1%
3	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet		<1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet		<1%
5	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet		<1%
6	www.scribd.com Fuente de Internet		<1%
7	www.cvc.gov.co Fuente de Internet		<1%
8	zaguan.unizar.es Fuente de Internet		<1%
9	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet		<1%

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 23 de febrero de 2022

De mi consideración:

Yo, PATRICIA PANCHI JIMA, en calidad de Directora del Trabajo de Integración Curricular titulado: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUMINISTRADA POR EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA, asociado al proyecto: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA, elaborado por el estudiante TUMBAICO DE LA CRUZ ALVARO ALEXANDER de la carrera en TECNOLOGÍA SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito completo, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 6 %.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

Atentamente,



Ing. Patricia Panchi Jima, Mgtr

Docente

Escuela de Formación de Tecnólogos

ANEXO II. Plan de muestreo

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PLAN DE MUESTREO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA POR EL
SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA JUNTA
ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE
CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA**

ALVARO ALEXANDER TUMBAICO DE LA CRUZ

alvaro.tumbaico@epn.edu.ec

DMQ, septiembre 2021

1 ANTECEDENTES

El presente plan de muestreo permitirá establecer la elección del volumen de muestras para cada tipo de parámetro, el número total de muestras, la manera correcta de tomar cada tipo de muestra, mantener la representatividad de las mismas desde el momento en que se recoge hasta el momento de llegada al laboratorio, equipos y materiales a utilizar, frecuencia, preservación y transporte; todo esto con la finalidad de precautelar la calidad del agua del sistema de abastecimiento y la salud de los habitantes del barrio de San Antonio de Chillo Jijón – Amaguaña, debido a la presencia de residuos florícolas en la fuente de agua de la quebrada Parcahuayco.

El plan de muestreo estimó el estudio de la calidad del agua para consumo humano abastecida por tanqueros y redes de distribución de la comunidad para asistir a la emergencia y tomar acciones pertinentes para asegurar la calidad del agua.

1.1 Objetivo general

Realizar el monitoreo del agua de abastecimiento y conducción de la comunidad de San Antonio de Chillo Jijón Amaguaña para garantizar la calidad física, química y microbiológica.

1.2 Características

1.2.1 Captación

La fuente de captación son dos galerías de infiltración ubicadas en la quebrada Parcahuayco en la ruta Quito-Amaguaña en la Av. Huancavilca, a 5 minutos de la florícola “San Antonio” en vehículo, y caminata estimada entre 20 a 30 minutos hasta la fuente. A primera vista se observa presencia de espuma en una de las galerías, la entrada de las galerías no cuenta con una puerta de protección contra árboles, maleza, animales principalmente insectos.

1.2.2 Tanques de captación

Consta con dos tanques de captación con una capacidad de 2.5 m³ cada uno, no posee una rejilla o tamiz que proteja como barrera contra malezas, hojas, insectos y demás sólidos. La limpieza del tanque de captación se realiza de forma manual una vez cada dos meses por el encargado de la junta de agua. En los tanques de captación se observa presencia de color cristalino aparente, los tanques no cuentan con una tapa de revisión, sino que cuenta con una cubierta de concreto y madera. La aducción se realiza por medio de una bomba de succión marca “Pedral” con una potencia de 5 hp a 220 voltios, ubicada a 4 m de la captación con el cual se succiona mediante una manguera de 2 pulgadas desde los tanques de captación hacia el tanque de almacenamiento y desinfección.

1.2.3 Tanque de almacenamiento y desinfección

Ubicado a 1 km desde la captación, tiene una capacidad de 2500 litros, las tuberías no se encuentran enterradas. Cuenta con envase clorador en el cual se realiza el proceso de desinfección mediante pastillas de cloro. En la salida del tanque se encuentra una bomba que impulsa el agua clorada hacia la red de distribución domiciliaria, mediante una tubería plástica de $1\frac{1}{2}$ pulgadas.

1.2.4 Viviendas

En la entrevista realizada el 12/07/2021 con el guía, comento que las viviendas no cuentan con un filtro anterior al medidor, con el fin de retener posibles sólidos que se encuentren en el sistema de distribución del recurso hídrico.

1.3 Condiciones climatológicas

Sector alejado de la cabecera parroquial de Amaguaña, en donde el clima es húmedo, en las montañas hay presencia de neblina poca densa, a partir de las 12 pm su temperatura ambiente media es de 20 °C y presencia de lluvias en las tardes por el mes de noviembre y diciembre.

2 PARÁMETROS Y FRECUENCIAS

Los análisis que se desarrollará tanto en campo como en laboratorio se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros in situ y parámetros de laboratorio.

Parámetros In situ	Parámetros en Laboratorio
Temperatura del agua	Físico - Químicos
Potencial de Hidrógeno (pH)	DQO, DBO ₅ , Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Cloro Libre residual, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fosfatos, dureza total, manganeso, hierro total
Oxígeno Disuelto (OD)	
Turbiedad	Microbiológicos
Conductividad	Coliformes Totales, Coliformes Fecales

NOTA: La toma de muestra microbiológica se realizará en los puntos de concentración menor de 0,3 mg/l de cloro residual.

Se realizará dos partes de toma de muestra.

- **Primera parte:** toma de muestra dos galerías de infiltración, 2 tanques de captación y tanque de almacenamiento y cloración.
- **Segunda parte:** toma de muestra en la distribución; 2 viviendas, inicial y final.

NOTA: El muestreo se realizará la primera semana de septiembre, después del traslado de las muestras al laboratorio, se analizará el mismo día los siguientes parámetros: Sólidos Totales (ST), Sólidos disueltos Totales (TDS), Cloro libre residual, DQO, nitratos, nitritos, fosfatos. Al día siguiente se analizarán: Alcalinidad, Dureza total, Hierro total, Manganeso y DBO5. Para los parámetros microbiológicos como Coliformes Fecales y Coliformes Totales serán enviados al Centro de Investigación y Control del Medio Ambiente (CICAM).

Tipo de captación: Galería de infiltración.

Fuente de agua cruda: Quebrada Parcahuayco

3 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CALIDAD DE AGUA

- Galería de filtración I: 17 M 778394 E 9961093 N Elevación 2613 msnm.
- Galería de filtración II: 17 M 778324 E 9961093 N Elevación 2615 msnm.
- Tanque de captación I: 17 M 778385 E 9961085 N Elevación 2615 msnm.
- Tanque de captación II: 17 M 778366 E 9961100 N Elevación 2608 msnm.
- Tanque de almacenamiento y desinfección: 17 M 778346 N 9960950 Elevación 2638.
- Viviendas seleccionadas. - Dispersas, la última casa beneficiaria del sistema se encuentra a 1000 m del tanque de cloración y almacenamiento. Se realizará en 2 viviendas seleccionadas.
- Vivienda I: 17 M 778348 E 9960960 N Elevación 2649.
- Vivienda II: 17 M 778325 9960910 N Elevación 2660.

3.1 Ruta para toma de muestra

a) Para la primera toma de muestra, la fuente y tanques de captación, existe una ruta:

Existe una sola ruta que es a partir de la florícola "San Antonio" caminata sin equipo entre 20 y 30 minutos, la dificultad es el trayecto, se debe descender la quebrada Parcahuayco, debido al tipo de suelo esponjoso, riesgo de caída y presencia de lodo.

b) Segunda toma de muestra, tanque de almacenamiento y desinfección

A unos 15 minutos en caminata desde la captación se encuentra el tanque de almacenamiento y desinfección tiene las mismas condiciones de un páramo, sin embargo, la accesibilidad es más sencilla a comparación de la primera toma.

c) Tercera toma de muestra en viviendas seleccionadas

En la comunidad Chillo Jijón, la primera vivienda está localizada a 3 minutos del tanque de almacenamiento, la segunda a 30 minutos desde el tanque de almacenamiento, dificultad, no existe calles ni carreteras y existe presencia de lodo.

Las muestras deben ser llevadas para ser analizadas en el laboratorio docente de la facultad de Ingeniería Ambiental (LDIA) y al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM).

3.2 Personal y equipos

El grupo estará conformado por un tesista, la tutora y un líder o habitante de la comunidad, tomando en cuenta las condiciones de bioseguridad pertinentes.

Los equipos de campo utilizados son señalados en la siguiente Tabla 2:

a. Equipos y parámetros

Tabla 2. Lista de equipos y parámetros.

Equipo	Parámetros
Multiparámetros HORIBA,	pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Turbidez, Conductividad, SDT
Espectrofotómetro UV-VISHACH	Nutrientes y metales
Equipo de titulación	Dureza Total, Alcalinidad
Incubadora	DBO ₅ , Coliformes fecales
OxiTop	DBO ₅
Digestor DQO	DQO
Balanza analítica	Sólidos totales y Sólidos Disueltos Totales
Horno digital, Mufla, Bomba de vacío.	Sólidos Disueltos Totales

b. Equipos y materiales

El personal que realizará el muestreo en la comunidad de San Antonio de Chillo Jijón - Amaguaña, por protocolos de seguridad integral e higiene se deberá usar lo siguiente.

- Overoles
- Guantes de nitrilo
- Zapatos cerrados
- Mascarillas KN95 o FFP2
- Gafas protectoras
- Alcohol anti-bacterial

c. Materiales

- GPS, cámara de celular
- Fosforera
- Linterna
- Flexómetro
- Envases de plástico esterilizados y envases de vidrio ámbar.
- Tapas y contratapas
- Jarra aforada
- Cinta métrica y cuerda
- Equipo de medición en campo, reactivos y preservantes.
- Piseta con agua destilada, papel tissue.
- Coolers y hielo
- Cadena de custodia, libreta de campo y lapicero.

c.2) Almacenamiento de los envases en el cooler con refrigerante para el traslado al laboratorio

c.3) Llenar cadena de custodia, con la que se ingresará las muestras al laboratorio.

c.4) Trasladar las muestras al laboratorio para el análisis correspondiente.

4 TOMA DE MUESTRA, PRESERVACIONES Y TRANSPORTE

4.1 Selección de puntos de muestras

El muestreo se debe realizar al cabo en puntos estratégicos en donde todas las muestras a tomar sean representativas, para lo cual se propone realizar en las siguientes localizaciones.

- Punto 1: Quebrada Parcahuayco (Galería 1).
- Punto 2: Quebrada Parcahuayco (Galería 2).
- Punto 3: Tanque de captación I y tanque de captación II.
- Punto 4: Tanque de desinfección.
- Punto 5: Viviendas beneficiarias (dos viviendas, considerando el punto más cercano y el más lejano).

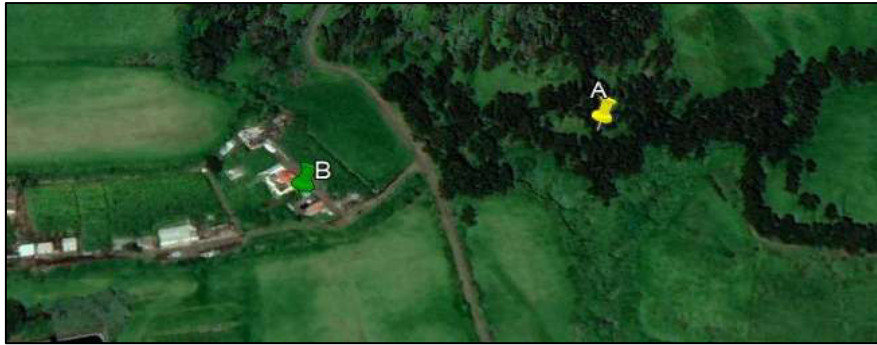


Figura 1. Puntos de muestreo de galerías de filtración, tanques de captación y tanque de desinfección.



Figura 2. Puntos de muestreo de domicilios.

4.2 Identificación de muestras

Los recipientes que una vez fueron llenados con las muestras deben estar perfectamente etiquetados e identificados por el código de lugar de la muestra. Es de suma importancia incorporar la siguiente información:

- Identificación del punto de muestreo
- Fecha de la recolección
- Hora de la recolección
- Preservantes adicionados
- Datos recopilados de la muestra
- Nombre del muestreador

4.3 Toma de muestra

Para la toma de muestra se debe tener en cuenta aspectos importantes como:

- Identificar los frascos y colocar el código del lugar de la toma de muestra, además de la fecha y hora exacta en que se la realizó.

- La toma de muestras se debe llevar a cabo en dirección opuesta al flujo de la vertiente; mientras que para los tanques de reserva de agua potable se sumerge el envase y para las viviendas de los usuarios se llena el envase a un volumen adecuado.
- Utilizar guantes de nitrilo al momento de la recolección de la muestra.
- Los envases tienen que estar químicamente limpios y enjuagados de 2 a 3 veces antes de realizar la recolección de la muestra, excepto para los envases destinados para análisis microbiológicos.
- Para la recolección de muestras microbiológicas se llena el envase $\frac{3}{4}$ de su capacidad procurando sellar el envase dentro del agua.
- Tener precaución de que el recipiente para análisis de DBO5 no contenga burbujas.
- Preservar con hielo las muestras recolectadas.
- Colocar el cooler junto con las muestras en lugares que no estén expuestos a la luz solar.

4.4 Preservación de muestras

La finalidad de los preservantes es retrasar la acción biológica y perdurar ciertos componentes físicos y químicos con la ayuda de la agregación directa a la muestra de compuestos químicos posteriormente a la extracción. Los procedimientos de preservación integran operaciones como inspección de pH, adición de reactivos, refrigeración y congelación.

Los compuestos químicos más empleados son: ácidos, soluciones básicas, biácidos, reactivos especiales empleados para la preservación de ciertos compuestos como cianuros totales, oxígeno y sulfitos. Para la adición de los preservantes se debe consultar la normativa NTE INEN 2169, Tabla 1: Técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico químico y la Tabla 4: Técnicas generales recomendadas para la preservación de muestras para análisis biológicos.

Si se vence el tiempo de preservación de las muestras recomendadas antes de proceder con el análisis de preferencia se debe eliminar la muestra, con ello garantizamos la calidad de los resultados a obtener en los análisis a realizarse.

Se deben preservar las muestras con los compuestos químicos correspondientes para cada parámetro a ser analizado en el laboratorio y respetar el tiempo estipulado de preservación, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Preservación de para los diferentes tipos de parámetros.

Parámetros	Unidades	Núm. De muestra	Volumen [ml]	Conservación	Envase	Tiempo de almacenamiento Máximo	Método
Potencial de hidrógeno	pH	7	---	Análisis inmediato	P	6 horas	Potenciométrico
Temperatura	°C	7	---	Análisis inmediato	P	Inmediato	Potenciométrico
Turbiedad	NTU	7	---	Refrigerar a 4 °C, guardar en oscuridad hasta 24 horas	P	Inmediato	Nefelométrico
Conductividad	uS/cm	7	---	Análisis inmediato	P	Inmediato	Electrométrico
Oxígeno disuelto	mg/L	7	250	Análisis inmediato, enfriar hasta 1 - 5°C	V o P	1 mes	Espectrofotométrico
Sólidos totales	mg/L	7	500	Refrigerar a 4 °C	P o V	24 horas	Gravimétrico
Sólidos suspendidos	mg/L	7	500	Refrigerar a 4 °C	P o V	24 horas	Gravimétrico
DQO	mg/L	7	100	Congelamiento a -20 °C, agregar H ₂ SO ₄ (pH < 2)	P	1 mes	Espectrofotometría HACH
DBO5	mg/L	7	500	Refrigerar a 4 °C	P	24 horas	OxiTop o volumétrica
Dureza total	mg/L	7	100	Acidificar pH entre 1 a 2 con HNO ₃	P o V	1 mes	Volumetría
Nitratos	mg/L	7	100	Análisis inmediato, enfriar hasta 0 – 6 °C	P	48 horas	Espectrofotométrico HACH

Continuación Tabla 3...

Parámetros	Unidades	Núm. De muestra	Volumen [ml]	Conservación	Envase	Tiempo de almacenamiento Máximo	Método
Nitritos	mg/L	7	200	Análisis inmediato, enfriar hasta 0 – 6 °C	P	48 horas	Espectrofotometría HACH
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	7	250	Enfriar de 2 a 5 °C Acidificar pH < 2 con H ₂ SO ₄	P	1 mes	Espectrofotometría HACH
Fosfatos	mg/L	7	100	Enfriar entre 1 – 5°C	P	48 horas	Espectrofotométrico HACH
Alcalinidad	mg/L	7	500	Enfriar entre 1 - 5°C	P o V	24 horas	Volumetría
Manganeso	mg/L	7	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO ₃	P (Lavado con ácido)	1 mes	Espectrofotométrico HACH
Cloro libre residual	mg/L	7	500	Análisis inmediato	P o V	Inmediato	Espectrofotometría
Hierro total	mg/L	7	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO ₃	P (Lavado con ácido)	1 mes	Espectrofotometría sin filtrar muestra
Coliformes totales	NMP/100 ml	7	200	Análisis inmediato, Refrigerar a 4 °C	P (esterilizado)	24 horas	Número más probable
Coliformes fecales	NMP/100 ml	7	200	Análisis inmediato, Refrigerar a 4 °C	P (esterilizado)	24 horas	Número más probable

Envase: **P**= plástico (polietileno o equivalente); **V**= Vidrio; **VB**= vidrio borosilicato

- **Volumen total:** 3550 ml por cada punto de muestreo
- **Volumen envase esterilizado:** 400 ml por cada punto de muestreo
- **Volumen envase HNO₃:** 200 ml por cada punto de muestreo
- **Volumen envase H₂SO₄:** 100 ml por cada punto de muestreo
- **Volumen envase refrigerar a 4 °C:** 2650ml por cada punto de muestreo

ANEXO III. Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto corregido

Tabla 1. Elevaciones de los puntos de muestreo.

Elevación \ Muestra	GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TD	CS-1	CS-2
Elevación GPS (msnm)	2613	2615	2608	2615	2638	2649	2660

Tabla 2. Resultados de temperatura y OD de los puntos de muestreo.

Muestra \ Parámetros	GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TC	CS-1	CS-2
Temperatura °C	16.96	16.56	16.46	16.42	19.25	21.21	21.34
Oxígeno disuelto mg/l	3.82	3.65	4	3.47	3.86	4.1	3.54

- **Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto en (GL-1)**

$$Patm = [10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times 2613) + (5.46 \times 10^{-8} \times 2613^2)] \times 1000 \times 9.81$$

$$Patm = 73695.89 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} \longrightarrow 0.00750062 \text{ mmHg}$$

$$73695.89 \text{ Pa} \longrightarrow 552.76 \text{ mmHg}$$

$$\text{Factor} = \frac{1}{[(0.001316 \times 552.76) - 0.000036]}$$

$$\text{Factor} = 1.375$$

$$\% \text{ Sat} = [-0.6537153 - (0.0104799 \times 16.96) + (6.918079 \times 3.82) + (0.2075711 \times 16.96 \times 3.82) - (0.0129793 \times 3.82^2)] \times 1.375$$

$$\% \text{ Sat} = 53.42$$

- **Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto en (GL-2)**

$$Patm = [10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times 2615) + (5.46 \times 10^{-8} \times 2615^2)] \times 1000 \times 9.81$$

$$Patm = 73677.54 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} \longrightarrow 0.00750062 \text{ mmHg}$$

$$73677.54 \text{ Pa} \longrightarrow 552.63 \text{ mmHg}$$

$$\text{Factor} = \frac{1}{[(0.001316 \times 552.63) - 0.000036]}$$

$$\text{Factor} = 1.375$$

$$\% \text{ Sat} = [-0.6537153 - (0.0104799 \times 16.56) + (6.918079 \times 3.65) + (0.2075711 \times 16.56 \times 3.65) - (0.0129793 \times 3.65^2)] \times 1.375$$

$$\% \text{ Sat} = 50.60$$

- **Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto en (TC-1)**

$$\text{Patm} = [10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times 2608) + (5.46 \times 10^{-8} \times 2608^2)] \times 1000 \times 9.81$$

$$\text{Patm} = 73741.80 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} \longrightarrow 0.00750062 \text{ mmHg}$$

$$73741.80 \text{ Pa} \longrightarrow 553.11 \text{ mmHg}$$

$$\text{Factor} = \frac{1}{[(0.001316 \times 553.11) - 0.000036]}$$

$$\text{Factor} = 1.374$$

$$\% \text{ Sat} = [-0.6537153 - (0.0104799 \times 16.46) + (6.918079 \times 4) + (0.2075711 \times 16.46 \times 4) - (0.0129793 \times 4^2)] \times 1.374$$

$$\% \text{ Sat} = 55.38$$

- **Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto en (TC-2)**

$$\text{Patm} = [10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times 2615) + (5.46 \times 10^{-8} \times 2615^2)] \times 1000 \times 9.81$$

$$\text{Patm} = 73677.54 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} \longrightarrow 0.00750062 \text{ mmHg}$$

$$73677.54 \text{ Pa} \longrightarrow 552.63 \text{ mmHg}$$

$$\text{Factor} = \frac{1}{[(0.001316 \times 552.63) - 0.000036]}$$

$$\text{Factor} = 1.375$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Sat} &= [-0.6537153 - (0.0104799 \times 16.42) + (6.918079 \times 3.47) \\ &\quad + (0.2075711 \times 16.42 \times 3.47) - (0.0129793 \times 3.47^2)] \times 1.375 \\ \% \text{ Sat} &= 47.92 \end{aligned}$$

- **Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto en (TD)**

$$\text{Patm} = [10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times 2638) + (5.46 \times 10^{-8} \times 2638^2)] \times 1000 \times 9.81$$

$$\text{Patm} = 73466.76 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} \longrightarrow 0.00750062 \text{ mmHg}$$

$$73466.76 \text{ Pa} \longrightarrow 551.05 \text{ mmHg}$$

$$\text{Factor} = \frac{1}{[(0.001316 \times 551.05) - 0.000036]}$$

$$\text{Factor} = 1.379$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Sat} &= [-0.6537153 - (0.0104799 \times 19.25) + (6.918079 \times 3.86) \\ &\quad + (0.2075711 \times 19.25 \times 3.86) - (0.0129793 \times 3.86^2)] \times 1.379 \\ \% \text{ Sat} &= 56.65 \end{aligned}$$

- **Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto en (CS-1)**

$$\text{Patm} = [10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times 2649) + (5.46 \times 10^{-8} \times 2649^2)] \times 1000 \times 9.81$$

$$\text{Patm} = 73366.15 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} \longrightarrow 0.00750062 \text{ mmHg}$$

$$73366.15 \text{ Pa} \longrightarrow 550.29 \text{ mmHg}$$

$$\text{Factor} = \frac{1}{[(0.001316 \times 550.29) - 0.000036]}$$

$$\text{Factor} = 1.381$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Sat} &= [-0.6537153 - (0.0104799 \times 21.21) + (6.918079 \times 4.10) \\ &\quad + (0.2075711 \times 21.21 \times 4.10) - (0.0129793 \times 4.10^2)] \times 1.381 \\ \% \text{ Sat} &= 62.59 \end{aligned}$$

- **Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto en (CS-2)**

$$P_{atm} = [10.33 - (1.221 \times 10^{-3} \times 2660) + (5.46 \times 10^{-8} \times 2660^2)] \times 1000 \times 9.81$$

$$P_{atm} = 73265.67 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} \longrightarrow 0.00750062 \text{ mmHg}$$

$$73265.67 \text{ Pa} \longrightarrow 549.54 \text{ mmHg}$$

$$\text{Factor} = \frac{1}{[(0.001316 \times 549.54) - 0.000036]}$$

$$\text{Factor} = 1.383$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Sat} = & [-0.6537153 - (0.0104799 \times 21.34) + (6.918079 \times 3.54) \\ & + (0.2075711 \times 21.34 \times 3.54) - (0.0129793 \times 3.54^2)] \times 1.383 \end{aligned}$$

$$\% \text{ Sat} = 54.12$$

Tabla 3. Resultados finales de porcentaje de saturación de OD corregido.

Muestra Parámetros	Muestra						
	GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TC	CS-1	CS-2
% OD SAT equipo	55.2	52.3	57.1	49.7	56.2	64.8	54.9
% OD SAT corregido	53.42	50.60	55.38	47.92	56.65	62.59	54.12

ANEXO IV. Informe de resultados de coliformes totales y fecales



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL
 Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
 RUC: 1760005620001 Tel: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
 Apartado 17-01-2750 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 23 de septiembre de 2021

No. IRI-21-407

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa/Director del proyecto de investigación: Mgs. Sandra Patricia Panchi Jima
 Nombre del Representante: Cruz Vela Joel Alejandro y Tumbaco de la Cruz Alvaro Alexander
 Cédula / RUC: -
 Dirección: -
 Teléfono convencional: -
 Teléfono celular: -
 Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-13
 No. Oferta de Servicio: OF21-246
 No. Solicitud de trabajo: ST-21-123
 Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
 Código de la muestra: MI-21- 407
 Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
 Fecha de análisis: 15 al 17 de septiembre de 2021
 Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA"
 Fecha de muestreo: 2021-09-13
 Rotulación de la muestra: -
 Tipo de muestreo: Puntual
 Tipo de muestra: Agua Natural
 Lugar de muestreo: -
 Origen de la muestra: Galería 1
 Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plást. estéril
Nº de envases: 2
Preservante: No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(C) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	5,1
^(C) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	43

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

^(C) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa

Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jaíro Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADOR DE LABORATORIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 23 de septiembre de 2021

No. IRI-21-408

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa/Director del proyecto de investigación: Mgs. Sandra Patricia Panchi Jima
Nombre del Representante: Cruz Vela Joel Alejandro y Tumbaico de la Cruz Alvaro Alexander
Cédula / RUC: -
Dirección: -
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: -
Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-13
No. Oferta de Servicio: OF21-246
No. Solicitud de trabajo: ST-21-123
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
Código de la muestra: MI-21-408
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 15 al 17 de septiembre de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIÓN AMAGUAÑA"
Fecha de muestreo: 2021-09-13
Rotulación de la muestra: -
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Natural
Lugar de muestreo: -
Origen de la muestra: Galería 2
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Plást. estéril	2	No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
(c) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	1,1
(c) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	43

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jaifo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADOR DE LABORATORIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 23 de septiembre de 2021

No. IRI-21-404

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa/Director del proyecto de investigación: Mgs. Sandra Patricia Panchi Jima
Nombre del Representante: Cruz Vela Joel Alejandro y Tumbaico de la Cruz Alvaro Alexander
Cédula / RUC: -
Dirección: -
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: -
Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-13
No. Oferta de Servicio: OF21-246
No. Solicitud de trabajo: ST-21-123
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
Código de la muestra: MI-21-404
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 15 al 17 de septiembre de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA"
Fecha de muestreo: 2021-09-13
Rotulación de la muestra: -
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Natural
Lugar de muestreo: -
Origen de la muestra: Tanque N°1
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plást. estéril N° de envases: 2 Preservante: No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/ 100 mL	1,1
^(c) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/ 100 mL	23

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición, PE: Procedimiento de Ensayo interno, N/A: No aplica.

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
Prohibida la reproducción parcial de este informe


Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO




Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADOR DE LABORATORIO



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 23 de septiembre de 2021

No. IRI-21-405

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/
Empres/Director del proyecto de
investigación: Mgs. Sandra Patricia Panchi Jima
Nombre del Representante: Cruz Vela Joel Alejandro y Tumbaico de la Cruz
Alvaro Alexander
Cédula / RUC: -
Dirección: -
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: -
Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-13
No. Oferta de Servicio: OF21-246
No. Solicitud de trabajo: ST-21-123
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
Código de la muestra: MI-21-405
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 15 al 17 de septiembre de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA"
Fecha de muestreo: 2021-09-13
Rotulación de la muestra: -
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Natural
Lugar de muestreo: -
Origen de la muestra: Tanque N°2
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plást. estéril
N°de envases: 2
Preservante: No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	< 1,1
^(c) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	23

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

^(b) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
 La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
 La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
 El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
 En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
 Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit

RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro

COORDINADOR DE LABORATORIO





INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 23 de septiembre de 2021

No. IRI-21-406

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/
Empres/Director del proyecto de
investigación: Mgs. Sandra Patricia Panchi Jima
Nombre del Representante: Cruz Vela Joel Alejandro y Tumbaico de la Cruz
Alvaro Alexander
Cédula / RUC: -
Dirección: -
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: -
Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-13
No. Oferta de Servicio: OF21-246
No. Solicitud de trabajo: ST-21-123
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
Código de la muestra: MI-21-406
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 15 al 17 de septiembre de 2021
Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JUÓN AMAGUAÑA"
Fecha de muestreo: 2021-09-13
Rotulación de la muestra: -
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Natural
Lugar de muestreo: -
Origen de la muestra: Tanque cloración
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plást. estéril
N° de envases: 2
Preservante: No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
⁽¹⁾ Coliformes fecales	PE-V-46 (SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	< 1,1
⁽¹⁾ Coliformes totales	PE-V-46 (SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	< 1,1

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

⁽¹⁾ Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
 La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
 La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
 El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
 En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
 Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADOR DE LABORATORIO





INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 23 de septiembre de 2021

No. IRI-21-409

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa/Director del proyecto de investigación: Mgs. Sandra Patricia Panchi Jima
 Nombre del Representante: Cruz Vela Joel Alejandro y Tumbaico de la Cruz Alvaro Alexander
 Cédula / RUC: -
 Dirección: -
 Teléfono convencional: -
 Teléfono celular: -
 Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-13
 No. Oferta de Servicio: OF21-246
 No. Solicitud de trabajo: ST-21-123
 Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
 Código de la muestra: MI-21-409
 Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
 Fecha de análisis: 15 al 17 de septiembre de 2021
 Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JUÓN AMAGUAÑA"
 Fecha de muestreo: 2021-09-13
 Rotulación de la muestra: -
 Tipo de muestreo: Puntual
 Tipo de muestra: Agua Natural
 Lugar de muestreo: -
 Origen de la muestra: Casa 1
 Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plást. estéril **Nº de envases:** 2 **Preservante:** No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
(c) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	< 1,1
(c) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	< 1,1

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas
 La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
 La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera
 El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados
 En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa
 Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADOR DE LABORATORIO



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 23 de septiembre de 2021

No. IRI-21-410

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente/ Empresa/Director del proyecto de investigación: Mgs. Sandra Patricia Panchi Jima
 Nombre del Representante: Cruz Vela Joel Alejandro y Tumbaico de la Cruz Alvaro Alexander
 Cédula / RUC: -
 Dirección: -
 Teléfono convencional: -
 Teléfono celular: -
 Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2021-09-13
 No. Oferta de Servicio: OF21-246
 No. Solicitud de trabajo: ST-21-123
 Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
 Código de la muestra: MI-21-410
 Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
 Fecha de análisis: 15 al 17 de septiembre de 2021
 Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JUJÓN AMAGUÑA"
 Fecha de muestreo: 2021-09-13
 Rotulación de la muestra: -
 Tipo de muestreo: Puntual
 Tipo de muestra: Agua Natural
 Lugar de muestreo: -
 Origen de la muestra: Casa 2
 Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Plást. estéril	2	No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	< 1,1
^(c) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C/ Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	< 1,1

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

^(c) Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa

Prohibida la reproducción parcial de este informe

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADOR DE LABORATORIO

ANEXO V. Cálculos para determinación de alcalinidad, dureza total, sólidos totales y sólidos disueltos totales

- **Cálculo para determinación de Alcalinidad**

Alcalinidad en galería 1 (GL-1)

$$A = 12 \text{ [ml]}$$

$$N = 0.02$$

$$V_m = 100 \text{ [ml]}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(GL-1)} = \frac{12 \times 0.02 \times 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(GL-1)} = 120 \text{ [mg/l]}$$

Alcalinidad en galería 2 (GL-2)

$$A = 11.5 \text{ [ml]}$$

$$N = 0.02$$

$$V_m = 100 \text{ [ml]}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(GL-2)} = \frac{11.5 \times 0.02 \times 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(GL-2)} = 115 \text{ [mg/l]}$$

Alcalinidad en tanque de captación 1 (TC-1)

$$A = 13.5 \text{ [ml]}$$

$$N = 0.02$$

$$V_m = 100 \text{ [ml]}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(TC-1)} = \frac{13.5 \times 0.02 \times 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(TC-1)} = 135 \text{ [mg/l]}$$

Alcalinidad en tanque de captación 2 (TC-2)

$$A = 13 \text{ [ml]}$$

$$N = 0.02$$

$$V_m = 100 \text{ [ml]}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{TC}-2)} = \frac{13 \times 0.02 \times 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{TC}-2)} = 130 \text{ [mg/l]}$$

Alcalinidad en tanque de desinfección (TD)

$$A = 14.8 \text{ [ml]}$$

$$N = 0.02$$

$$V_m = 100 \text{ [ml]}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{TD})} = \frac{14.8 \times 0.02 \times 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{TD})} = 148 \text{ [mg/l]}$$

Alcalinidad en casa 1 (CS-1)

$$A = 16 \text{ [ml]}$$

$$N = 0.02$$

$$V_m = 100 \text{ [ml]}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{CS}-1)} = \frac{16 \times 0.02 \times 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{CS}-1)} = 160 \text{ [mg/l]}$$

Alcalinidad en casa 2 (CS-2)

$$A = 18 \text{ [ml]}$$

$$N = 0.02$$

$$V_m = 100 \text{ [ml]}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{CS}-2)} = \frac{18 \times 0.02 \times 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad}_{(\text{CS}-2)} = 180 \text{ [mg/l]}$$

- **Cálculos para la determinación de la dureza total**

Dureza total en galería 1 (GL-1)

$$V_{\text{EDTA}} = 1.48 \text{ [ml]}$$

$$M_{\text{EDTA}} = 0.01 \text{ M}$$

$$V_{\text{MUESTRA}} = 10 \text{ [ml]}$$

$$DT_{(GL-1)} = \frac{1.48 \times 0.01 \times 100091}{10}$$

$$DT_{(GL-1)} = 158.14 \text{ [mg/l] de CaCO}_3$$

Dureza total en galería 2 (GL-2)

$$V_{EDTA} = 1.18 \text{ [ml]}$$

$$M_{EDTA} = 0.01 \text{ M}$$

$$V_{MUESTRA} = 10 \text{ [ml]}$$

$$DT_{(GL-2)} = \frac{1.18 \times 0.01 \times 100091}{10}$$

$$DT_{(GL-2)} = 118.11 \text{ [mg/l] de CaCO}_3$$

Dureza total en tanque de captación 1 (TC-1)

$$V_{EDTA} = 1.3 \text{ [ml]}$$

$$M_{EDTA} = 0.01 \text{ M}$$

$$V_{MUESTRA} = 10 \text{ [ml]}$$

$$DT_{(TC-1)} = \frac{1.3 \times 0.01 \times 100091}{10}$$

$$DT_{(TC-1)} = 130.12 \text{ [mg/l] de CaCO}_3$$

Dureza total en tanque de captación 2 (TC-2)

$$V_{EDTA} = 1.27 \text{ [ml]}$$

$$M_{EDTA} = 0.01 \text{ M}$$

$$V_{MUESTRA} = 10 \text{ [ml]}$$

$$DT_{(TC-2)} = \frac{1.27 \times 0.01 \times 100091}{10}$$

$$DT_{(TC-2)} = 127.12 \text{ [mg/l] de CaCO}_3$$

Dureza total en tanque de desinfección (TD)

$$V_{EDTA} = 1.36 \text{ [ml]}$$

$$M_{EDTA} = 0.01 \text{ M}$$

$$V_{MUESTRA} = 10 \text{ [ml]}$$

$$DT_{(TD)} = \frac{1.36 \times 0.01 \times 100091}{10}$$

$$DT_{(TD)} = 136.12 \text{ [mg/l] de CaCO}_3$$

Dureza total en casa 1 (CS-1)

$$V_{EDTA} = 1.34 \text{ [ml]}$$

$$M_{EDTA} = 0.01 \text{ M}$$

$$V_{MUESTRA} = 10 \text{ [ml]}$$

$$DT_{(CS-1)} = \frac{1.34 \times 0.01 \times 100091}{10}$$

$$DT_{(CS-1)} = 134.12 \text{ [mg/l] de CaCO}_3$$

Dureza total en casa 2 (CS-2)

$$V_{EDTA} = 1.5 \text{ [ml]}$$

$$M_{EDTA} = 0.01 \text{ M}$$

$$V_{MUESTRA} = 10 \text{ [ml]}$$

$$DT_{(CS-2)} = \frac{1.5 \times 0.01 \times 100091}{10}$$

$$DT_{(CS-2)} = 150.14 \text{ [mg/l] de CaCO}_3$$

- **Cálculo para determinación de Sólidos Totales (ST)**

ST para galería 1 (GL-1)

$$\text{Peso 1} = 38.8786 \text{ [g]}$$

$$\text{Peso 2} = 38.8869 \text{ [g]}$$

$$V_m = 0.05 \text{ [l]}$$

$$ST_{GL-1} = \frac{(38.8869 - 38.8786) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{GL-1} = 166 \text{ [mg/l]}$$

ST para galería 2 (GL-2)

$$\text{Peso 1} = 41.0141 \text{ [g]}$$

$$\text{Peso 2} = 41.0225 \text{ [g]}$$

$$V_m = 0.05 \text{ [l]}$$

$$ST_{GL-2} = \frac{(41.0225 - 41.0141) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{GL-2} = 168 \text{ [mg/l]}$$

ST para tanque de captación 1 (TC-1)

Peso 1 = 42.0693 [g]

Peso 2 = 42.0798 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$ST_{TC-1} = \frac{(42.0798 - 42.0693) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{TC-1} = 210 \text{ [mg/l]}$$

ST para tanque de captación 2 (TC-2)

Peso 1 = 40.5425 [g]

Peso 2 = 40.5521 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$ST_{TC-2} = \frac{(40.5521 - 40.5425) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{TC-2} = 192 \text{ [mg/l]}$$

ST para tanque de desinfección (TD)

Peso 1 = 35.8157 [g]

Peso 2 = 35.8252 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$ST_{TD} = \frac{(35.8252 - 35.8157) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{TD} = 190 \text{ [mg/l]}$$

ST para casa 1 (CS-1)

Peso 1 = 33.2298 [g]

Peso 2 = 33.2382 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$ST_{CS-1} = \frac{(33.2382 - 33.2298) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{CS-1} = 168 \text{ [mg/l]}$$

ST para casa 2 (CS-2)

Peso 1 = 41.3479 [g]

Peso 2 = 41.3597 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$ST_{CS-2} = \frac{(41.3597 - 41.3479) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{CS-2} = 236 \text{ [mg/l]}$$

- **Cálculo para determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

SDT para galería 1 (GL-1)

Peso 1 = 38.8786 [g]

Peso 2 = 38.8865 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$SDT_{GL-1} = \frac{(38.8865 - 38.8786) \times 1000}{0.05}$$

$$SDT_{GL-1} = 158 \text{ [mg/l]}$$

SDT para galería 2 (GL-2)

Peso 1 = 41.0141 [g]

Peso 2 = 41.0222 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$SDT_{GL-2} = \frac{(41.0222 - 41.0141) \times 1000}{0.05}$$

$$SDT_{GL-2} = 162 \text{ [mg/l]}$$

SDT para tanque de captación 1 (TC-1)

Peso 1 = 42.0693 [g]

Peso 2 = 42.0776 [g]

$V_m = 0.05$ [L]

$$SDT_{TC-1} = \frac{(42.0776 - 42.0693) \times 1000}{0.05}$$

$$SDT_{TC-1} = 166 \text{ [mg/l]}$$

SDT para tanque de captación 1 (TC-2)

Peso 1 = 42.0693 [g]

Peso 2 = 42.0773 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$SDT_{TC-1} = \frac{(42.0773 - 42.0693) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{TC-1} = 160 \text{ [mg/l]}$$

SDT para tanque de desinfección (TD)

Peso 1 = 35.8157 [g]

Peso 2 = 35.8219 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$SDT_{TD} = \frac{(35.8219 - 35.8157) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{TD} = 124 \text{ [mg/l]}$$

SDT para casa 1 (CS-1)

Peso 1 = 33.2298 [g]

Peso 2 = 33.2357 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$SDT_{CS-1} = \frac{(33.2357 - 33.2298) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{CS-1} = 118 \text{ [mg/l]}$$

SDT para casa 2 (CS-2)

Peso 1 = 41.3479 [g]

Peso 2 = 41.3577 [g]

$V_m = 0.05$ [l]

$$SDT_{CS-2} = \frac{(41.3577 - 41.3479) \times 1000}{0.05}$$

$$ST_{CS-2} = 196 \text{ [mg/l]}$$

ANEXO VI. Ecuaciones y gráficas utilizadas para la determinación del ICA

Tabla 1. Pesos relativos para cada parámetro del ICA.

Parámetro	Ponderación
Coliformes fecales	0.15
DBO5	0.10
Fosfatos	0.10
Nitratos	0.10
Oxígeno disuelto	0.17
pH	0.12
Sólidos disueltos totales	0.08
Temperatura	0.10
Turbiedad	0.08

Tabla 2. Ecuaciones para el cálculo del ICA.

Parámetro	Unidad	Función del Subíndice i
Coliformes fecales	[NMP/100ml]	$Subi_{(ColiF)} = e^{(4.5685 - 0.1305Ln(ColiF) - 0.0129[Ln(ColiF)]^2)}$ <p style="text-align: center;">Si ColiF > 10⁵, Sub_i = 3</p>
DBO5	[mg O ₂ /l]	$Subi_{(DBO_5)} = e^{(4.5824 - 0.1078(DBO_5) + 2.4581 \cdot 10^{-14} \cdot e^{DBO_5})}$ <p style="text-align: center;">Si DBO₅ > 30, Sub_i = 2</p>
Fosfatos	[mg/l] PO ₄	$Subi_{(PO_4^{-3})} = \frac{1}{0.0084 + 0.0143(PO_4^{-3}) + 0.00074(PO_4^{-3})^2}$ <p style="text-align: center;">Si PO₄-3 > 10, Sub_i = 1</p>
Nitratos	[mg/l]	$Subi_{(N.T)} = e^{(4.4706 - 0.043N.T + 2.8813 \cdot 10^{-5} \cdot N.T^2)}$ <p style="text-align: center;">Si N.T > 100, Sub_i = 1</p>

Continuación Tabla 2...

Parámetro	Unidad	Función del Subíndice i												
Porcentaje de saturación de oxígeno	[% Sat]	$Subi_{(\%sat)} = e^{(1.663+0.063(\%sat)-0.000303(\%sat)^2)}$ <p>Si OD % Sat >140, Sub_i = 50</p>												
pH	-	$Subi_{(pH)} = e^{(-7.6434(pH)+18.5352*\frac{1}{pH}+14.625[Ln(pH)]^2)}$ <p>Si pH < 2, Sub_i = 2 ó Si pH > 12, Sub_i =3</p>												
Sólidos disueltos totales (SDT)	[mg/l]	$Subi_{(SDT)} = \frac{1}{0.0123 - 1.3545 * 10^{-5}(SDT) + 9.265 * 10^{-8}(SDT)^2}$ <p>Si SDT > 500, Sub_i =32</p>												
Turbiedad	[NTU]	$Subi_{(Turb)} = e^{(4.361-0.0196 Turb*2.4167*10^{-5}*3Turb^2)}$ <p>Si Turbiedad > 100, Sub_i = 5</p>												
Temperatura	[° C]	<p>$Subi_{(T)} = T^{\circ} ambiente - T^{\circ} agua$</p> <p>Si ΔT > 15 °C, Sub_i = 9; Si ΔT < 15 °C buscar valor en la siguiente figura:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>CAMBIO DE TEMPERATURA</p> <table border="1" style="margin: 5px auto; font-size: small;"> <caption>Datos estimados del gráfico 'CAMBIO DE TEMPERATURA'</caption> <thead> <tr> <th>ΔT (°C)</th> <th>Subi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-5</td><td>50</td></tr> <tr><td>0</td><td>90</td></tr> <tr><td>5</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>20</td></tr> <tr><td>15</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> </div>	ΔT (°C)	Subi	-5	50	0	90	5	45	10	20	15	10
ΔT (°C)	Subi													
-5	50													
0	90													
5	45													
10	20													
15	10													

ANEXO VII. Memoria Técnica



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL TECNOLOGÍA SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



MEMORIA TÉCNICA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUMINISTRADA POR EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE SAN ANTONIO DE CHILLO JIJÓN AMAGUAÑA



ELABORADO POR:

TUMBAICO DE LA CRUZ ALVARO ALEXANDER

DMQ, 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	XXXVII
2	ALCANCE	XXXVII
3	JUSTIFICACIÓN.....	XXXVII
4	OBJETIVOS.....	XXXVIII
4.1	Objetivo general.....	XXXVIII
5	NORMATIVAS.....	XXXVIII
6	METODOLOGÍA.....	XXXVIII
7	RESULTADOS	XXXIX
8	PROPUESTAS DE MEJORAS.....	XLI
8.1	Tiempo de contacto y dosificación adecuada de cloro	XLI
8.2	Torre de aireación	XLI
8.2.1	Costos	XLIII
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	XLIV
9.1	Conclusiones	XLIV
9.2	Recomendaciones.....	XLV

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad señalar los criterios más relevantes que se obtuvieron en el análisis de la caracterización y muestreo de agua a lo largo del sistema de abastecimiento y distribución, así como la determinación del tiempo de contacto ideal entre el cloro y el líquido vital, la dosificación adecuada de hipoclorito de calcio en el tanque de almacenamiento que permitirá eliminar la mayoría de bacterias y virus presentes en el recurso hídrico. Además se propondrá la implementación de una torre de aireación que permitirá remover la presencia de manganeso obtenidos en los análisis de laboratorio en todos los puntos de monitoreo, de la misma manera aumentar la cantidad de oxígeno disuelto, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana vigente, de tal manera se mejorará el Índice de Calidad del Agua (ICA), permitiendo que sea de excelente calidad y así mismo beneficiar a la comunidad de San Antonio de Chillo Jijón Amaguaña.

2 ALCANCE

La obtención de la calidad del agua se realizará mediante los análisis físico-químicos y microbiológicos en puntos de monitoreo más relevantes a lo largo de la red de abastecimiento y distribución de agua del barrio de San Antonio de Chillo Jijón Amaguaña, mediante la obtención de los resultados de campo y en laboratorio se comparará con la normativa vigente ecuatoriana y se analizará el cumplimiento de los límites máximos permisibles, se hallará irregularidades con el fin de determinar el índice de calidad del agua y se realizara la propuesta de mejoras al tratamiento actual.

3 JUSTIFICACIÓN

La mayoría de las enfermedades que se producen por consumo del recurso hídrico contaminado son la diarrea, cólera, hepatitis, fiebre tifoidea, etc. Los patógenos se pueden simplificar con una adecuada cloración, por tal razón es de suma importancia colocar la dosis precisa de cloro, siempre y cuando se respete el tiempo de contacto para aniquilar todos los organismos y que el potencial de hidrógeno pH, cumpla con límites máximos permisibles para agua potable.

La población del barrio de San Antonio de Chillo Jijón Amaguaña, serán los principales beneficiarios del estudio de calidad del agua y de las propuestas de mejora a corto plazo, con el propósito de que ingieran un agua de excelente calidad, que sea utilizada para todos los usos domésticos como: agua para beber, limpieza, preparación de alimentos e higiene personal.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua del sistema de abastecimiento del barrio de San Antonio de Chillo Jijón.

5 NORMATIVAS

La normativa que se utilizó para analizar y comparar los resultados obtenidos en campo y en laboratorio para agua cruda, fue la Norma TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente), LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 2, que establece los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección. Mientras que, para agua potable se analizó y se comparó con la Norma Técnica Ecuatoriana, INEN 1108, Sexta revisión, que establece los requisitos del agua para consumo humano y aplica al agua procedente de sistemas de abastecimiento, suministrada a través de sistemas de distribución.

6 METODOLOGÍA

Se realizó una visita técnica en la cual se constató los principales procesos unitarios involucrados en el tratamiento del agua, se verificó las fuentes donde se obtiene el agua cruda, se constató que existe dos galerías de filtración donde hay presencia de espuma, se verificó que existen dos tanques de captación del agua cruda, se verificó las bombas involucradas en el transporte del agua, así como el tanque de almacenamiento donde se desinfecta el agua, se constató del método de desinfección utilizado en el tanque de almacenamiento, y se corroboró la información de la cantidad de lotes beneficiarios de la distribución del agua.

Una vez realizada la visita técnica se estableció los puntos de muestreo más importantes a lo largo de la red de abastecimiento y distribución. Después se realizó la medición de los parámetros *in situ*, como: pH, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto y conductividad. Posteriormente se realizó el muestreo para los análisis físico-químicos y microbiológicos tales como: alcalinidad, cloro libre residual, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5), dureza total, fosfatos, hierro total, manganeso, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, sólidos totales, sólidos disueltos totales, coliformes totales y coliformes fecales.

Una vez realizado los análisis de laboratorio se procedió a la interpretación de los resultados y se comparó con la normativa ecuatoriana vigente. Los parámetros que no se

especifican en las normativas ecuatorianas se los comparó con normativas internacionales. Una vez que se constató los resultados con los límites máximos permisibles se procedió a determinar el índice de calidad del agua (ICA) por el método NSF. Ulteriormente se constató la presencia excesiva de manganeso y fosfatos, así como la baja presencia de oxígeno disuelto por lo que se realizó el planteamiento de mejoras en el sistema de tratamiento como los son las bandejas aireadas. Por último, se realizó la socialización de resultados y de la propuesta de mejoras.

7 RESULTADOS

Una vez inspeccionado todo el sistema de abastecimiento y distribución se pudo constatar que en las galerías de filtración se encontró una sustancia blanquecina (espuma), por lo cual se tomó la decisión de realizar análisis de metales como hierro y manganeso, ya que al ser captadas por medio del subsuelo estas aguas crudas arrastran metales y nutrientes de la arena y de las rocas. En la Tabla 1, se presentan todos los análisis que intervinieron el estudio de la calidad del agua.

Tabla 1. Resultados de análisis de parámetros.

Parámetro	Unidad	Valores obtenidos						
		GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TD	CS-1	CS-2
Conductividad	uS/cm	277	275	278	279	274	277	278
Oxígeno Disuelto	mg/l	3.82	3.65	4	3.47	3.86	4.1	3.54
pH	-	7.3	7.37	7.53	7.13	7.53	7.41	7.61
Temperatura	°C	16.96	16.56	16.46	16.42	19.25	21.21	21.34
Turbiedad	NTU	0.25	0.25	0.37	0.36	0.61	0.69	1.29
Alcalinidad	mg/l	120	115	135	130	148	160	180
Cloro libre residual	mg/l	0.07	0	0	0	0.16	0.12	0.14
DBO5	mg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
DQO	mg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Dureza Total	mg/l	158.14	118.11	130.12	127.12	136.12	134.12	150.14
Fosfatos	mg/l	0.58	1.66	1.34	0.78	1.39	0.44	0.44
Hierro Total	mg/l	0.05	0.02	0.01	0	0.11	0.02	0.02
Manganeso	mg/l	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6
Nitratos	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.02
Nitritos	mg/l	0.008	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.008
Nitrógeno Amoniaco	mg/l	0.02	0.02	0.03	0	0.12	0	0
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	158	162	166	160	124	118	196

Continuación Tabla 1...

Parámetro	Unidad	Valores obtenidos						
		GL-1	GL-2	TC-1	TC-2	TD	CS-1	CS-2
Sólidos Totales	mg/l	166	168	210	192	190	168	236
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	5.1	1.1	1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1
Coliformes Totales	NMP/100 ml	43	43	23	23	< 1.1	< 1.1	< 1.1

La cantidad de organismos coliformes fecales antes del tratamiento se encuentran dentro de los límites máximos permisibles según la normativa ecuatoriana TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 2, la cual indica un valor aceptable de 50 NMP/100ml, sin embargo las norma INEN 1108 anuncia la inexistencia para dicho parámetro, por lo cual en los valores obtenidos después del tratamiento se presenta coliformes fecales menores a 1.1 es decir, existe un mínima cantidad que tiende a cero, sin embargo esto se puede mejorar con la adición suficiente de hipoclorito de calcio.

Los valores de cloro libre residual obtenidos en los puntos de muestreo después de la cloración, no cumplen con los límites máximos permisible conforme a la norma INEN 1108, que establece un rango de 0.3 a 1.5 mg/l. Por consiguiente, para mayor eficiencia de remoción de bacterias y virus se debe emplear la cloración respetando el tiempo de contacto.

Por otro lado, en el análisis de manganeso se pudo verificar que, en los 7 puntos de monitoreo, este metal no cumple con los valores admisibles ya que la norma TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 2, establece un valor aceptable de 0.1 mg/l. Esto se debe a la baja presencia de oxígeno disuelto por lo cual se necesita de un proceso de aireación que permita oxidar el manganeso y remover sustancias volátiles productoras de olor y sabor.

En cuanto a los fosfatos, los valores obtenidos están fuera de los límites máximos permisibles, esto puede generar corrosión, crecimiento de algas y dependiendo de la concentración puede provocar eutrofización. La presencia de fosfatos no es perjudicial para la salud de los consumidores, sin embargo, en altas concentraciones si lo es, por consiguiente, para la reducción de este compuesto se debe utilizar filtros de carbón activado que eliminan del 70 al 90% de fosfatos.

Los resultados de oxígeno disuelto obtenidos en el análisis en toda la red de abastecimiento y distribución no cumplen los límites máximos permisibles en ninguno de los siete puntos de monitoreo conforme a la norma TULSMA, Libro VI, Anexo I, tabla 2, la

cual indica que el OD no debe ser menor a 6 mg/l. El oxígeno disuelto es un importante indicador de la calidad del agua debido a que es un compuesto valioso para la respiración celular para la vida acuática, además baja cantidad de OD puede ocasionar la reducción del crecimiento en jóvenes y adultos, por consiguiente, para que agregar el OD se debe incluir un proceso de re – aireación el cual permite disolver el oxígeno del aire hacia la superficie del agua mediante turbulencias como golpes contra rocas (rápidos y cataratas).

8 PROPUESTAS DE MEJORAS

8.1 Tiempo de contacto y dosificación adecuada de cloro

La memoria técnica de los resultados del tiempo de contacto como el de la dosificación adecuada de cloro se presenta de manera detallada en la Tabla 3.

Tabla 3. Memoria técnica del tiempo de contacto y dosificación adecuada de cloro.

1. Tiempo de contacto
$T_c = 70 \text{ [min]}$
2. Volumen para cloración
$V = 2.2643 \text{ [m}^3\text{]} = 2\,264.30 \text{ [L]}$
3. Dosis de cloro a prepararse
$D = 1.5 \text{ [mg/L]}$
4. % de cloro activo del producto
$\text{HTH} = 70 \%$
5. Cloración
$P = 4.85 \text{ [g]}$

8.2 Torre de aireación

Debido a la falta de oxígeno disuelto, exceso de manganeso y fosfatos se propone la implementación de la tecnología de bandejas aireadas la cual permitirá transferir el oxígeno del aire al agua aumentando el oxígeno disuelto, disminuir la concentración de dióxido de carbono, oxidar metales como hierro y manganeso, remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores, mejorar la dureza del agua y remover nutrientes como fosfatos mediante la utilización de carbón activado como material de contacto en cada bandeja aireada.

Los cálculos obtenidos para el diseño de la torre de aireación, así como el soporte que sirve de sostén para la torre se presenta en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Cálculo para bandejas aireadas.

Memoria de cálculo de bandejas aireadas	
1. Datos iniciales	
$Q = 0.51 \text{ [L/s]}$ $Q = 44.06 \text{ [m}^3\text{/día]}$ Número de bandejas = 4 Diámetro de orificios = 0.005 [m] $C_d = 0.85$	$CH = 117.3 \text{ [m}^3\text{/m}^3 \cdot \text{d]}$ Altura de agua en bandeja $d = 0.15 \text{ [m]}$ Distancia entre bandejas interior = 0.45 [m]
2. Área superficial total	
$A. \text{ sup} = \frac{Q}{CH}$	$A. \text{ sup} = 0.38 \text{ [m}^2\text{]}$
3. Dimensión de bandejas	
Geometría de cada bandeja: Cuadrada $\text{Lados} = \sqrt{A. \text{ sup}}$	$\text{Lados} = 0.62 \approx 0.65 \text{ [m]}$
4. Caudal por cada orificio	
$Q_o = \sqrt{2gd} C_d * A_o$	$Q_o = 0.012 \text{ [m}^3\text{/s]}$
5. Número de orificios	
$\text{Lado} = n(0.5) + (n + 1) \times 2.5$	$n = 21$ por cada fila o columna
6. Tiempo de contacto del agua en bandejas	
$T = n * \sqrt{\frac{2 * h}{g}}$	$T = 3.83 \text{ [s]}$
7. Lecho de contacto	
Espesor = 0.23 [m] Tipo de material de contacto: Carbón activado Diámetro del material de contacto = 0.04 [m] Borde libre = 0.05 [m]	Altura total de cada bandeja = 0.28 [m]
8. Dimensiones bandeja de recolección de agua aireada	
Material de bandeja = Aluminio Espesor = 2.5 [mm] Ancho base inferior interior = 0.65 [m] Largo base inferior interior = 0.65 [m] Ancho base superior interior = 0.75 [m] Largo base superior interior = 0.75 [m] Profundidad total = 0.28 [m] Diámetro de tubería de evacuación = 2 [in] Separación de bandeja de aireación en relación a la estructura de soporte = 0.40 [m]	
9. Altura total del aireador de bandejas	
Altura de tubería de descarga al aireador de bandeja = 0.25 [m]	

Continuación Tabla 4...

Memoria de cálculo de bandejas aireadas
Altura total de torre de aireación = 2.03 [m]
Altura total de la torre de aireación + Altura de tubería de descarga = 2.28 [m]

Tabla 5. Dimensiones y características de infraestructura de soporte.

Memoria de dimensiones para soporte metálico
1. Datos de construcción
Geometría = Rectangular
Material = Tubo cuadrado de metal
Dimensión = 2 [in]
Espesor = 3 [mm]
Peso = 3.05 [kg/m]
Alto = 1.75 [m]
Ancho = 2 [m]
Largo = 2 [m]
Perno de anclaje para cemento: ¾ x 10"

8.2.1 Costos

En la Tabla 6 se presenta de manera detallada tanto los costos obtenidos para la construcción de la torre de aireación como el de la plataforma metálica, dichos costos se obtuvieron con medidas y materiales comerciales. Dichos materiales son propuestos con la finalidad de proteger el recurso hídrico de agentes corrosivos que perjudiquen la calidad.

Tabla 6. Costos de materiales y mano de obra para torre de aireación e infraestructura de soporte.

Material	Características	Cantidad	Costo por unidad	Total
Plancha de aluminio	Espesor [mm] = 2.5 Largo [m] = 2.44 Ancho [m] = 1.22	3	57.05	171.15
Carbón activado	25 [Kg]	1	78	78
Tubo cuadrado de acero inoxidable	Largo [m] = 6 Dimensión [in] = 1 Espesor [mm] = 2 Peso [kg/m] = 1.46	4	30.49	121.96
Tubo cuadrado estructural de metal	Largo [m] = 6 Dimensión [in] = 2 Espesor [mm] = 3 Peso [kg/m] = 3.05	6	20.11	120.66

Continuación Tabla 6...

Material	Características	Cantidad	Costo por unidad	Total
Pernos para torre de aireación	3/8 X 3 1/2"	16	1.56	24.96
Pernos de anclaje para cemento para soporte de metal	3/4 X 10"	16	2.75	44
Mano de obra	Construcción de soporte de metal más torre de aireación	1	500	500
			Total	1 060.73

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

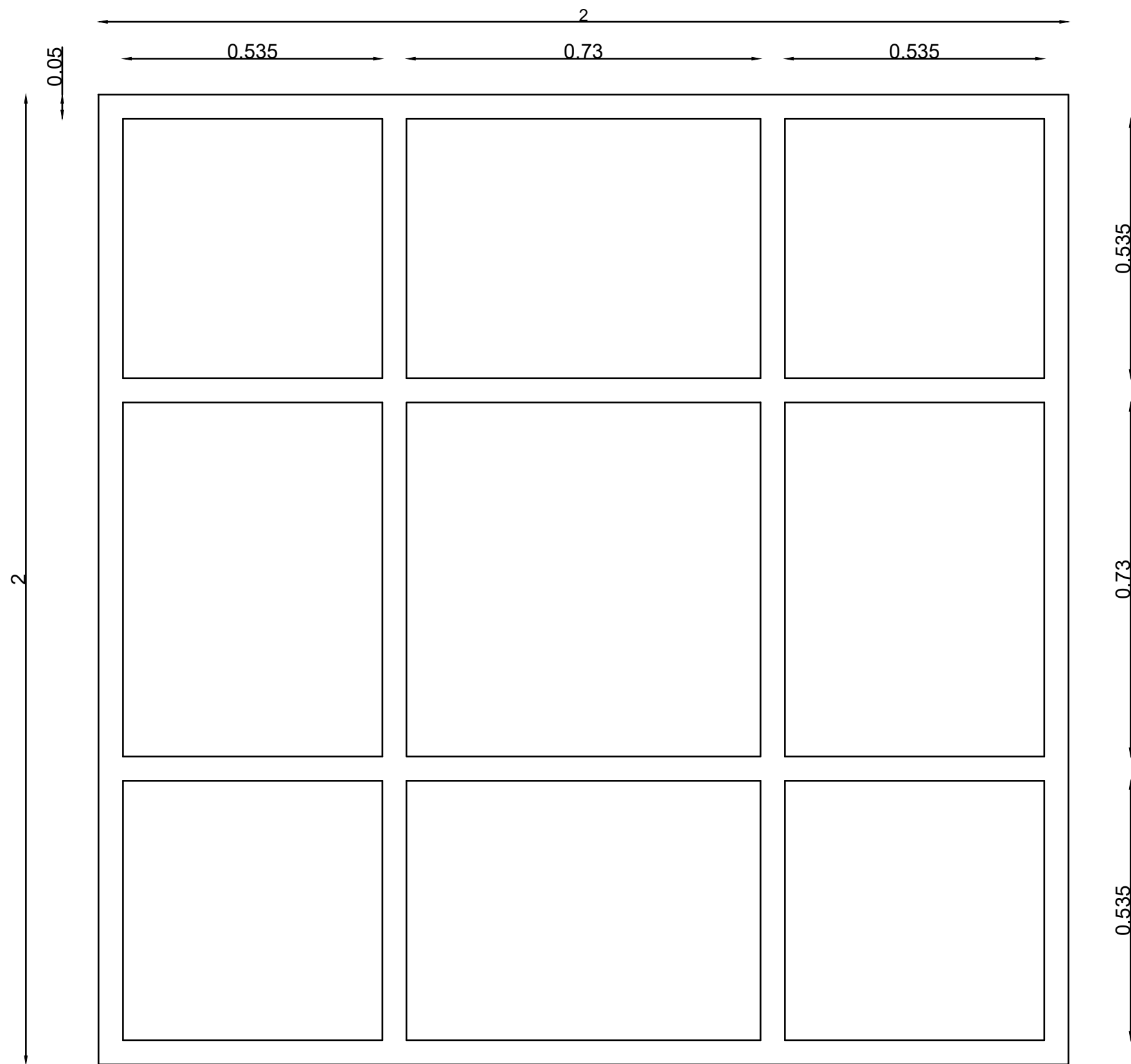
- La presencia de la sustancia blanquecina identificada como espumas, presentes en las galerías de filtración se debe a la existencia natural de sales de manganeso y hierro propias de la capa freática que se encuentra en varias capas de rocas.
- La presencia de fosfatos obtenidos en los análisis de laboratorios se debe a la presencia de excreciones de animales voladores (insectos) que se presentan a lo largo de las galerías de filtración, esto se presenta a la falta de una infraestructura de protección en la entrada de las galerías.
- Los compuestos del cloro deben adicionarse con un tiempo de contacto mínimo de 70 minutos, en base al volumen del tanque de almacenamiento.
- Para mayor efectividad los compuestos del cloro deben adicionarse después de una clarificación con carbón coque o carbón activado.
- El empleo de las bandejas de aireación permitirá oxidar el exceso de manganeso que se obtuvo en el análisis de laboratorio con el fin de evitar corrosiones futuras en las tuberías.

9.2 Recomendaciones

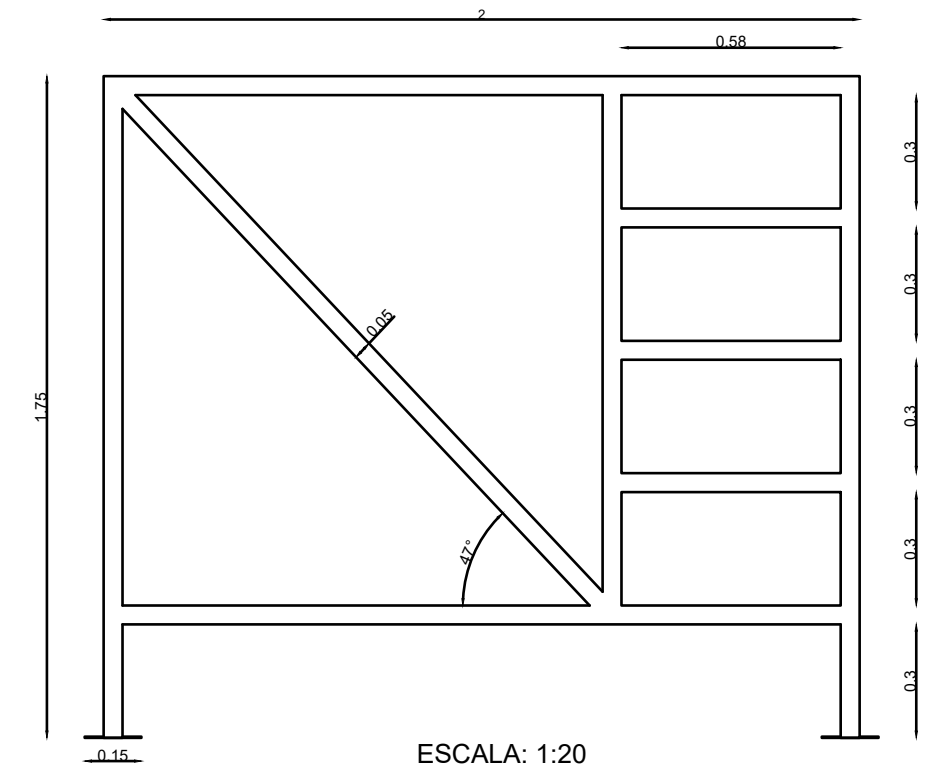
- Para evitar la eutrofización en los tanqueros, es decir la acumulación de sustancias verdes (moho, hongos, eutrofización), por la presencia de nutrientes hallados en el análisis de laboratorio en este caso fosfatos, se recomienda cubrir las paredes con mortero impermeabilizado.
- Para mayor efectividad de las bandejas aireadas se recomienda cambiar el lecho de contacto (carbón coque) una vez al año o cuando se presente porosidad.
- La estructura (bandejas aireadas) debe ser construida de aluminio o latón, mientras que el esqueleto de la torre de aireación debe ser de acero inoxidable. Dichos materiales evitarán la corrosión por exposición a los agentes ambientales.
- Para la infraestructura de soporte se recomienda utilizar tubo estructural de metal y pernos de anclaje en cemento tipo "L" de $\frac{3}{4}$ x 10" de largo, para resistir el peso de la torre de aireación.
- Cubrir con pintura anticorrosiva la infraestructura de soporte metálico para evitar el desgaste por agentes externos ambientales.

VISTA SUPERIOR

ESCALA 1:10

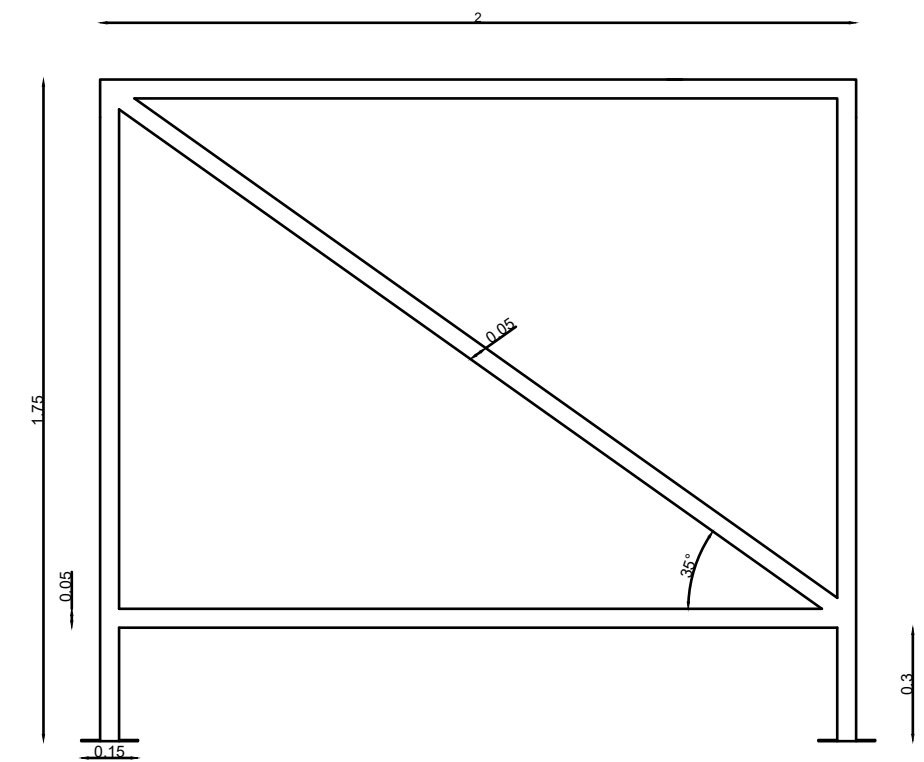


VISTA PERFIL



ESCALA: 1:20

VISTA LATERAL



ESCALA: 1:20

Notas:

Característica = Soporte para torre de aireación

Geometría del soporte = Rectangular

Material del soporte = Tubo cuadrado de metal

Notas:

Dimensiones de tubo cuadrado de metal : 2 [in]

Espesor de tubo cuadrado de metal = 3 [mm]

Perno de anclaje para cemento = 3/4 x 10"



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

QUITO - ECUADOR

PROYECTO: **INFRAESTRUCTURA DE SOPORTE**

ESCALA:

DISEÑADOR: **ALVARO TUMBAICO**

UNIDADES: [m]

REVISADO POR: **ING. PATRICIA PANCHI MSc.**

PLN°: 002

ANEXO VIII. Enlace socialización

https://epnecuador-my.sharepoint.com/:v/g/personal/alvaro_tumbaico_epn_edu_ec/EURY2iAT4p5FkqkONeL075oB-kSfkk2VO_aM5VUDtTuKNw?e=RPHv6N