UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

Evaluación y propuesta de mejoras de los procesos de potabilización de la Planta sector las "Chozas" de EMAPALA, Lago Agrio.

AUTOR:

Anderson Fabricio Rojas Caiza

TUTOR:

MSc. Rubén Dario Ledesma Acosta

PUYO-ECUADOR

2020-2021

DECLARATORIA Y AUTORÍA DE CESIÓN DE DERECHOS

Quien/es suscribe/n Rojas Caiza Anderson Fabricio con C.I 2150014294 hace constar que es autor/a del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Evaluación y propuesta de mejoras de los procesos de potabilización de la Planta sector las "Chozas" de EMAPALA, Lago Agrio**"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, MsC Rubén Ledesma. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 19 días del mes de febrero del 2021.



Anderson Rojas
CI: 2150014294

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado:

"Evaluación y propuesta de mejoras de los procesos de potabilización de la Planta sector las "Chozas" de EMAPALA, Lago Agrio"



Firmado electrónicamente por:

REINIER ABREU

Dr.C. Reinier Abreu

Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:

KAREL DIEGUEZ

M.sC. Karel Diéguez

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:

YAMILA LAZO PEREZ

M.sC. Yamila Lazo

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente M.Sc Rubén Darío Ledesma Acosta, con CI: 1600431827, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE LA PLANTA SECTOR LAS "CHOZAS" DE EMAPALA, LAGO AGRIO" ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 8 %.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de febrero de 2021.

Firmado electrónicamente por:
RUBEN DARIO LEDESMA ACOSTA

M.Sc: Rubén Darío Ledesma Acosta

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN /TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Anderson Fabricio Rojas Caiza, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



ANDERSON FABRICIO ROJAS CAIZA
No. Cédula:215001429-4

DEDICATORIA

Dedico principalmente a mi padre Dios todopoderoso quien me ha dado la salud, la inteligencia, sabiduría y fortaleza para lograr mi meta más anhelada.

Dedico este proyecto a mis padres que son el pilar fundamental en mi vida, especialmente a mi madre Nely Caiza quien ha inculcado con principios y valores para ser mejor persona y ha contribuido incondicionalmente con su apoyo en todo el transcurso de mi carrera profesional.

A mis hermanos Roosevelt Rojas y Rachelle Rojas quienes dedico mis logros lo que cual espero ser un modelo a seguir.

A familiares y amigos quienes me han motivado durante mi etapa universitaria.

AGRADECIMIENTO

Me sobran las palabras para expresar mi agradecimiento infinito a Dios por haberme proveído salud, fortaleza y poder lograr alcanzar mi meta de culminar mis estudios, sabiduría para el entendimiento de su palabra, inteligencia para aprender, conocer y tomar las mejores decisiones en mi vida.

A mi madre quien me ha motivado y se ha sacrificado mucho en todo momento para permitirme culminar mis estudios superiores, que aquello demuestra su gran amor incondicional de quien tengo el orgullo y privilegio de ser su hijo.

Al Director de proyecto Ing. Rubén Ledesma por brindarme su tiempo y apoyo en la elaboración de mi proyecto.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio y a su personal técnico de la planta de agua potable por otorgarme facilidades y su colaboración para la realización del presente proyecto.

A la Universidad Estatal Amazónica y a mis docentes por haberme brindado sus conocimientos a lo largo de estos años de mi formación académica, que me ha permitido crecer profesionalmente y tener las capacidades necesarias para el desarrollo de mi proyecto de investigación.

RESUMEN

El presente estudio contiene los resultados de la evaluación de los procesos unitarios de agua potable de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPALA) de Lago Agrio. Se realizó una descripción detallada de los procesos unitarios potabilización ya que permite determinar la eficiencia y características de las unidades, así como la flexibilidad del sistema a los cambios de calidad del agua cruda. Además, se analizó la calidad de agua tratada mediante los datos de reportes históricos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para verificar que cumpla con requisitos de calidad de agua que establece la norma INEN 1108:2020. Para el análisis de datos se recopiló información procedente de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de EMAPALA mediante la colaboración del personal técnico y administrativo de la empresa. Por otro lado, se utilizó varias fuentes de información primaria y secundaria que permitieron profundizar conceptos teóricos de cada una de las unidades de proceso. Para el análisis de resultados se presentaron mediante gráficos estadísticos para evaluar el comportamiento de los parámetros de calidad de agua durante un periodo de tres meses. Mediante la evaluación de los procesos potabilización se pudo identificar la eficiencia y falencias existentes en la PTAP y con base en los resultados obtenidos se propuso alternativas de mejoras. Los resultados de la evaluación demuestran que las unidades de potabilización presentan algunas deficiencias como problemas de diseño, control de la operación de los procesos, tratamiento y disposición de lodos. Finalmente, la calidad de agua tratada demuestra que cumple con los límites máximos permitidos establecidos en la norma técnica ecuatoriana INEN 1108:2020 y es segura para la salud y bienestar de los consumidores. Las medidas de corrección que se tomen a partir de la evaluación permitirán incrementar la capacidad operacional, lo que repercutirá en una mejor calidad final de agua y reducirá los costos de operación.

Palabras clave: Procesos de potabilización; Lodos; Agua potable; Agua cruda; Calidad de agua

ABSTRACT

This study contains the results of the evaluation of the drinking water unit processes of the Municipal Public Company for Potable Water and Sewerage (EMAPALA) of Lago Agrio. A detailed description of the unit water treatment processes was carried out since it allows determining the efficiency and characteristics of the units, as well as the flexibility of the system to changes in the quality of raw water. In addition, the quality of the treated water was analyzed using the data from historical reports of the physical, chemical and microbiological parameters to verify that it meets the water quality requirements established by the INEN 1108: 2020 standard. For the data analysis, information was collected from the EMAPALA Drinking Water Treatment Plant through the collaboration of the company's technical and administrative staff. On the other hand, several primary and secondary information sources were used that allowed deepening theoretical concepts of each of the process units. For the analysis of results, they were presented by means of statistical graphics to evaluate the behavior of the water quality parameters during a period of three months. Through the evaluation of the purification processes, it was possible to identify the efficiency and shortcomings existing in the PTAP and based on the results obtained, alternatives for improvements were proposed. The results of the evaluation show that the water treatment units have some deficiencies such as design problems, control of the operation of the processes, treatment and disposal of sludge. Finally, the quality of treated water shows that it complies with the maximum permitted limits established in the Ecuadorian technical standard INEN 1108: 2020 and is safe for the health and well-being of consumers. Corrective measures taken from the evaluation will allow to increase the operational capacity, which will have repercussions in a better final quality of water and will reduce the operating costs.

Keywords: Water treatment processes; Sludge; Drinking water; Raw water; Water quality

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....1

1 INTRODUCCIÓN.....1

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....3

1.2 OBJETIVOS.....3

1.2.1 Objetivo general:.....3

1.2.2 Objetivos específicos:.....3

1.3 JUSTIFICACIÓN.....4

CAPÍTULO II.....5

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....5

2.1 Generalidades.....5

2.1.1 Agua.....5

2.1.2 Calidad del agua.....5

2.1.3 Agua cruda.....5

2.1.4 Agua tratada.....5

2.2 Parámetros del agua.....6

2.2.1 Parámetros Físicos.....6

2.2.2 Parámetros Químicos.....8

2.2.3 Parámetros Microbiológicos.....11

2.3 Enfermedades de transmisión hídrica.....11

2.4 Sustancias Tóxicas 12

2.5 Estándares de calidad del agua 13

2.6 Normativa ambiental aplicable 14

2.6.1 Norma Técnica Ecuatoriana- Agua Potable INEN 1108:2020 14

2.6.2 Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes 14

2.7 Tratamiento de agua potable 15

2.8 Planta de tratamiento de agua 15

2.9 Tipos de plantas de tratamiento de agua 15

2.9.1 Plantas convencionales 15

2.9.2 Plantas no convencionales 16

2.10 Procesos de potabilización agua potable 16

2.10.1 Captación 16

2.10.2 Aireación 16

2.10.3 Mezcla rápida 17

2.10.4 Coagulación 17

2.10.5 Floculación 19

2.10.6 Sedimentación 20

2.10.7 Filtración 22

2.10.8 Desinfección 23

2.10.9 Desinfección con cloro 24

CAPITULO III 25
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 25
3.1 Localización 25
3.2 Tipo de Investigación 26
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 27
3.4 Método de Investigación 28
3.4.1 Diagnóstico de las unidades de tratamiento de potabilización 29
3.4.2 Análisis de datos 29
CAPÍTULO IV 30
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS 30
4.1 Descripción de la situación actual de la planta de agua potable 30
4.2 Diagnóstico actual de las operaciones y procesos unitarios de potabilización 32
4.2.1 Unidad de Captación 32
4.2.2 Unidad de Aireación 32
4.2.3 Unidad de Mezcla Rápida 34
4.3 Mezclador hidráulico 40
4.3.1 Unidad de Floculación 42
4.3.2 Unidad Sedimentación 45
4.3.3 Unidad de Filtración 48
4.3.4 Tanque de contacto de cloro 50
4.3.5 Unidad de Desinfección 52

4.3.6 Tanques de reserva 53

4.4 Evaluación de los parámetros de calidad de agua mediante los reportes históricos de la PTAP 54

4.4.1 Turbiedad 55

4.4.2 Conductividad 56

4.4.3 Sólidos totales disueltos 57

4.4.4 Hierro 58

4.4.5 Color Verdadero 59

4.4.6 Temperatura 60

4.4.7 pH 61

4.4.8 Cloro Residual 62

4.5 Evaluación de los reportes de análisis de calidad de agua realizados en laboratorios externos 62

4.5.1 Análisis microbiológico de agua 64

4.5.2 Eficiencias de las etapas del proceso de potabilización 64

4.5.3 Propuestas de mejoras 68

5 CONCLUSIONES 70

6 RECOMENDACIONES 70

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

8 ANEXOS 76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Olores y sabores típicos de las aguas 8

Tabla 2-2. Rangos de dureza del agua 10

Tabla 3-2. Principales cationes que causan dureza en el agua y los aniones asociados a ellos 10

Tabla 4-2. Enfermedades transmitidas por el agua 11

Tabla 5-2. Fuentes y efectos más importantes de algunos elementos y compuestos 12

Tabla 6-2. Parámetros y Límites Máximos Permisibles del agua establecidos en la norma INEN 1108 y CPE INEN5 14

Tabla 7-2. Clasificación de las unidades de mezcla rápida 17

Tabla 8-2. Clasificación de polielectrolitos usados en la potabilización 18

Tabla 9-2. Clasificación de los floculadores 20

Tabla 10-2. Tipos de sedimentación según el sentido de flujo en unidades de decantación de plantas de purificación de agua 21

Tabla 11-2. Clasificación de tipos de filtros 22

Tabla 12-2. Principales características de filtros 23

Tabla 14-4. Características del sistema de dosificación de sustancias 36

Tabla 15-4. Cantidad de reactivo a dosificar 37

Tabla 16-4. Características de la unidad de mezcla rápida y tanque repartidor 40

Tabla 17-4. Resumen de características del floculador 43

Tabla 18-4. Parámetros óptimos de referencia para floculadores hidráulicos 44

Tabla 19-4. Resumen de características del sedimentador 46

Tabla 20-4. Resumen de las características de las unidades de filtración 49

Tabla 21-4. Resumen de características del tanque de contacto 51

Tabla 22-4. Reporte de análisis de turbiedad 55

Tabla 23-4. Reporte de análisis de conductividad.....56

Tabla 24-4. Reporte de análisis de sólidos totales disueltos 57

Tabla 25-4. Reporte de análisis de hierro.....58

Tabla 26-4. Reporte de análisis de color verdadero 59

Tabla 27-4. Reporte de análisis de temperatura 60

Tabla 28-4. Reporte de análisis del pH 61

Tabla 29-4. Reporte de análisis de cloro residual 62

Tabla 30-4. Reporte de los análisis de calidad de agua cruda.....63

Tabla 31-4. Reporte de análisis microbiológico.....64

Tabla 32-4. Porcentaje de eficiencia del proceso de sedimentación 65

Tabla 33-4. Porcentaje de eficiencia del proceso de filtración.....65

Tabla 34-4. Variación de la turbiedad media mensual en cada proceso 66

Tabla 35-4. Variación de la concentración de hierro media mensual en cada proceso.....67

Tabla 36-4. Descripción de alternativas de mejoras 68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-3. Mapa de la Planta de Agua Potable del Cantón Lago Agrio.....26

Figura 2-4. Diagrama de flujo de los procesos de potabilización.....31

Figura 3-4. Unidad de Captación 32

Figura 4-4. Torre de aireación con bandejas múltiples.....33

Figura 5-4. Tanques de agitación de polímeros 35

Figura 6-4. Sistema de dosificación de polímeros 35

Figura 7-4. Unidad de mezcla rápida 40

Figura 8-4. Empaques de polímeros 39

Figura 9-4. Almacenamiento de productos químicos 39

Figura 10-4. Punto de dosificación del coagulante 41

Figura 11-4. Floculador hidráulico de flujo vertical 42

Figura 12-4. Dosificación del ayudante de floculación 43

Figura 13-4. Tanques de Sedimentación 45

Figura 14-4. Tolva de lodos del sedimentador 47

Figura 15-4. Tanques de Filtración 48

Figura 16-4. Tanque de contacto 51

Figura 17-4. Edificio de desinfección 53

Figura 18-4. Tanque de reserva y medidor de nivel 54

Figura 19-4. Comportamiento de la turbiedad 55

Figura 20-4. Comportamiento de la conductividad 56

Figura 21-4. Comportamiento de los sólidos totales disueltos 57

Figura 22-4. Comportamiento del hierro 58

Figura 23-4. Comportamiento del hierro 59

Figura 24-4. Comportamiento de la temperatura 60

Figura 25-4. Comportamiento del pH 61

Figura 26-4. Comportamiento del cloro residual 62

Figura 27-4. Comportamiento de la turbiedad en los diferentes procesos 66

Figura 28-4. Comportamiento del hierro en los diferentes procesos 67

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro seguro y continuo para el consumo humano, higiene personal y preparación de alimentos. El agua tal y como se encuentra en la naturaleza no se puede usar de forma directa para el consumo humano. A su paso arrastra una gran cantidad de sustancias como: materia en suspensión o solución como arcillas, organismos vivos como plantas, bacterias, virus y huevos de parásitos, sales disueltas, materias orgánicas y gases (Piña Fernández & Ochoa Ochoa, 2019). Por otro lado, la disponibilidad de agua está amenazada debido al aumento de los contaminantes antropogénicos. Para obtener agua de calidad aceptable para el consumo humano es necesario la eliminación o reducción de impurezas mediante el tratamiento eficiente del agua en las plantas de potabilización (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia & Organización Mundial de la Salud, 2019)

La evaluación de una planta de tratamiento de agua potable comprende un análisis detallado del funcionamiento y comportamiento hidráulicos de cada una de sus partes que físicamente la conforman, de su eficiencia y de la forma que está siendo operada, controlada, mantenida y administrada (CEPIS, 2006).

La evaluación es una actividad muy importante que debe realizarse con frecuencia, ya que permite identificar la eficiencia y características de las unidades, así como su flexibilidad del sistema a los cambios de calidad de agua cruda. Como resultado de la evaluación será posible obtener información importante que permitirá determinar las condiciones actuales de operación para mejorar la eficiencia del sistema los cuales servirán como base para el planteamiento de proyectos de optimización o ampliación (CEPIS, 2006).

La Planta de Agua Potable sector las “Chozas” que pertenece a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado es la más grande del cantón Lago Agrio, opera con un caudal de promedio de 200L/s para garantizar el suministro a la población. Durante el funcionamiento de la planta se han realizado varias adecuaciones en las unidades que efectúan el proceso de tratamiento, sin que se haya hecho una revisión integral de los mismos, lo que conlleva a la presunción de que la planta no se encuentre operando en condiciones óptimas. Además, en la planta de tratamiento de agua potable no se ha realizado ningún tipo de estudio en las diferentes unidades de tratamiento que

permitan evaluar la eficiencia y características de las unidades. Por lo tanto, este proyecto tiene la finalidad es realizar una evaluación integral de los procesos de potabilización y la calidad de agua cruda y tratada mediante los datos de reportes históricos durante un periodo de tres meses (octubre, noviembre y diciembre) en el año 2020.

Como resultado de la evaluación, será posible identificar las deficiencias existentes a fin de conocer si la calidad de agua distribuida cumple los requisitos de calidad establecido en la normativa ecuatoriana INEN 1108:2020 y proponer alternativas de mejoras a partir de la evaluación para garantizar una calidad de agua segura para la salud y bienestar de los consumidores.

Para el desarrollo del presente estudio se recopiló información procedente de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de EMAPALA mediante la colaboración del personal técnico y administrativo de la empresa. Por otro lado, se utilizó varias fuentes de información primaria y secundaria que permitieron profundizar conceptos teóricos de cada una de las unidades de proceso. Para el análisis de resultados se presentaron mediante gráficos estadísticos para evaluar el comportamiento de los parámetros de calidad de agua. La presente investigación esta estructura de la siguiente manera:

En el capítulo I se presenta el planteamiento y formulación del problema, la determinación de los objetivos y la justificación del trabajo de investigación.

En el capítulo II se plantea la fundamentación teórica que sirve de base para el enunciado del problema de investigación.

En el capítulo III se establece la metodología aplicada en el proceso de la investigación, considerando el tipo de investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos y el método utilizado en el desarrollo del presente estudio.

En el capítulo IV se reporta en análisis de resultados presentándolos en función a los objetivos establecidos previamente, buscando así dar respuesta a cada planteamiento.

Finalmente están las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, apéndices y anexos.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿La evaluación de los procesos de potabilización de agua en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Lago Agrio permitirá identificar deficiencias y proponer mejoras para garantizar la eficiencia del sistema y una calidad de agua segura para la salud y bienestar de los consumidores?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general:

Evaluar los procesos de potabilización del agua y proponer mejoras en la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio (EMAPALA) mediante revisión bibliográfica para garantizar una calidad de agua segura para la salud y bienestar de los consumidores.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Diagnosticar el estado actual de los operaciones y procesos unitarios de potabilización de la Planta de Agua Potable de EMAPALA.
- Evaluar la calidad del agua cruda y tratada mediante los datos de reportes históricos de los parámetros físicos químicos y microbiológicos disponibles en Planta de Agua Potable.
- Comparar los reportes históricos de los análisis de calidad del agua tratada con los parámetros de calidad de agua establecidos en la normativa ecuatoriana para verificar su cumplimiento.
- Proponer alternativas de mejoras en los procesos de potabilización a partir de los resultados obtenidos de la evaluación con el fin de optimizar el sistema de tratamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso indispensable para la vida y todas las personas deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, seguro y accesible) la disponibilidad de este recurso es limitada ya que solo el 3% del agua del planeta es agua dulce.

El crecimiento de la población y el desarrollo industrial han multiplicado los problemas de contaminación del agua. La contaminación del agua es producida principalmente por las descargas producidas por el vertimiento de aguas residuales. En estas condiciones modifica las características de los recursos hídricos alcanzando niveles de contaminación que hacen al agua no apta para su consumo, por esta razón los procesos para tratar el agua son cada vez más complejos. El agua destinada a consumo humano debe ser de características organolépticas aceptables y exenta de organismos o sustancias que puedan producir efectos fisiológicos perjudiciales, esto contempla que no debe tener sustancias nocivas para la salud ni microorganismos patógenos capaces de causar las enfermedades transmitidas por el agua. Garantizar una calidad de agua segura es proteger la salud de los consumidores. Por este motivo se debe hacer un máximo esfuerzo para lograr que el agua de consumo humano sea tan segura como sea posible y que cumpla con los límites máximos permisibles según lo establecido en la normativa de agua potable para su uso y consumo humano.

El presente estudio se plantea evaluar los procesos de potabilización del agua de la planta de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Lago Agrio a través de un análisis de información recopilada en la PTAP y revisión bibliográfica. Para ello se utilizó principalmente metodologías para la evaluación rápida de plantas potabilizadoras de la CEPIS y CONAGUA para diagnosticar e identificar posibles falencias en las unidades de proceso. Además, se verificó que la calidad del agua cruda y tratada cumpla con requisitos de calidad de agua potable que establece la norma técnica ecuatoriana INEN 1108:2020 mediante los análisis históricos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.

Por otro lado, se propusieron mejoras al sistema de tratamiento de agua potable que permitan garantizar una calidad de agua segura para la salud y bienestar de los consumidores.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Generalidades

2.1.1 Agua

El agua es una sustancia química compuesta de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno que puede presentarse en tres estados sea líquido, gas o sólido. A las características que posee el agua se les conoce como propiedades del agua.

2.1.2 Calidad del agua.

Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas que debe tener el agua, para conferirle un uso determinado.

La descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas:

- Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (pH, acidez, etc.) o biológicas (bioensayos) de carácter general.
- Utilizando un índice específico de calidad del agua.

2.1.3 Agua cruda

Se refiere al agua que se encuentra en el ambiente en su estado natural es decir que no ha recibido ningún tratamiento o modificación en sus características (Sierra, 2011)**.**

2.1.4 Agua tratada

Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido modificadas a fin de garantizar su aptitud para su uso por los humanos (MAE, 2015).

2.2 Parámetros del agua

2.2.1 Parámetros Físicos

Sólidos en aguas

Sustancias sólidas o sus mezclas que tienen un tamaño y forma definidos y que pueden encontrarse dispersas en las aguas. (J. A. Romero, 2009) menciona que los sólidos en el agua se clasifican en una de las siguientes categorías:

- Sólidos totales: Se define tal a la materia que permanece como residuos después de la evaporación y secado a 103ºC.
- Sólidos disueltos: Son determinados directamente o por diferencia entre sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa y el residuo de la evaporación se seca a 103-105ºC, el incremento de peso por encima del peso del recipiente vacío representa a los sólidos disueltos o residuo filtrable.
- Sólidos suspendidos: Son determinados por filtración a través de un filtro de fibra de vidrio en un crisol Gooch previamente pesado.
- Sólidos volátiles y sólidos fijos: Son lo que se obtienen calcinando en una mufla el residuo retenido, a una temperatura de 550 ± 50 ºC, durante quince a veinte minutos.
- Sólidos sedimentables: Se aplica a sólidos en suspensión que se sedimentarán, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de un litro de volumen y registrando el volumen de material sedimentado en una hora; se expresa en mL/L.

Turbiedad

La turbiedad es una medida del grado en que la luz es absorbida o dispersada por material suspendido en agua. Tanto el tamaño como las características de la superficie del material suspendido influyen en la absorción y la dispersión. La mayor parte de la turbiedad es ocasionada principalmente por partículas inorgánicas como las arcillas. Microrganismos y materia vegetal también pueden contribuir a la turbiedad (J. A. Romero, 2009).

Desde el punto de vista del agua de consumo humano, se suelen correlacionar valores altos de turbidez con la aparición de bacterias y virus. Por otro lado, los compuestos orgánicos productores de turbidez poseen un notable efecto adsorbente sobre los posibles plaguicidas y pesticidas en general existentes en un agua, dificultando de esta forma su

eliminación, además de poder formar quelatos con metales, incrementando la resistencia a la reducción de estos en el posterior tratamiento del agua (Marín Galvín, 2015).

Color

Idealmente, el agua de uso y consumo humano no debe tener ningún color visible. El color se produce por la reducción de la claridad del agua causada por la absorción de luz visible de sustancias disueltas, incluyendo compuestos orgánicos (ácido fúlvico, ácido húmico) y compuestos inorgánicos como la presencia de hierro, manganeso y otros metales. (Spellman, 2016).

El color se clasifica como color aparente y color verdadero. Color aparente se considera al producido por la materia en suspensión mientras que color verdadero es el que permanece en el agua después de remover la turbiedad a través de un filtro de 40 µm. Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente (Marín Galvín, 2015).

Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que este haya sido removido, para evitar que la aplicación de cloro como desinfectante pueda dar origen a la formación de trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales.

El valor guía de la OMS y del Canadá es 15 unidades de color (UC) para aguas de bebida (CEPIS, 2006).

Olor y sabor

Se mencionan juntos por estar íntimamente ligados. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en agua entre las comunes se encuentran materia orgánica en solución, H_2S, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, algas, hongos etc.

Tanto el olor como el sabor se pueden distinguir cualitativamente, lo cual es muy útil para que el consumidor pueda evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad (J. A. Romero, 2009).

Los cambios en la apariencia, olor y sabor del agua de consumo humano de un sistema de abastecimiento pueden indicar alteraciones en la calidad del agua de la fuente o deficiencias en los procesos de tratamiento, lo que debe investigarse (Organización Mundial de La Salud, 2018).

La EPA y la OMS recomiendan como criterio que por razones organolépticas, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable.

En la Tabla 1-2 presenta un resumen de algunos olores característicos del agua, de acuerdo con su origen.

Tabla 1-2. *Olores y sabores típicos de las aguas*

Olores	Sabores
Aromático (especies, limón, etc.)	Amargo
Balsámico (flores diversas)	Metálico
Clorado	Salado
Hidrocarburos	Medicinal
Medicinal	Terroso
Sulfuroso	Mohoso
Terroso	Otros
Fecal	
Mohoso (cieno, fango, otros)	

*Tomado de:**(Marín Galvín, 2015)**.*

.

Temperatura

La temperatura es el parámetro físico más importante del agua porque afecta muchos parámetros de los diseños de ingeniería. Estos parámetros incluyen densidad, viscosidad, presión de vapor, tensión superficial, solubilidad, valor de saturación de los gases disuelto en agua, actividad biológica y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (John C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, David W. Hand, 2017).

2.2.2 Parámetros Químicos

Potencial de hidrógeno

Es una medida de la concentración de iones hidrógenos (H^+). Las soluciones varían desde muy ácidas (con una alta concentración de iones H^+) hasta muy básicas (con una alta concentración de iones OH^-). La escala de pH varía de 0 a 14, siendo 7 el valor neutro (Spellman, 2016).

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud. En los procesos de tratamiento del agua el pH es un factor que se debe tener en consideración en la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento de aguas y el control de la

corrosión para prevenir incrustaciones en las redes de distribución (Sawyer, Perry, & MacCarty, 2001). Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) presentan valores de pH en el rango de 5 a 9.

Conductividad

La conductividad es un indicativo de sales disueltas en el agua y mide la concentración de iones especialmente de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en microhmios/cm o Siemens/cm (J. Romero, 2012).

La conductividad de un agua natural se ve afectada por el terreno que atraviesa y por la disolución de rocas y minerales, el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH, potencial redox y toda la serie de factores que pueden afectar la solubilidad de un soluto en agua (Marín Galvín, 2015).

Acidez

La acidez de un agua puede definirse como la capacidad de neutralizar bases. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO_2 o de ácidos minerales fuertes (H_2SO_4, HNO_3, HCl). Generalmente se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior 8,5 unidades tienen acidez (Sierra, 2011).

Alcalinidad

Se define como la capacidad del agua que tiene para neutralizar ácidos. La alcalinidad puede considerarse por la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente sales de ácidos débiles o bases fuertes. Aunque muchos compuestos pueden contribuir a la alcalinidad natural la mayor parte es causada por la presencia de los iones hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos (Sierra, 2011).

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y cuando alcanza niveles altos puede tener efectos sobre el sabor (CEPIS, 2006).

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Los iones hidrogeno liberados reaccionan con la alcalinidad. Esta alcalinidad actúa para amortiguar el agua en una margen de valores de pH donde el coagulante pueda ser efectivo. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter

corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor (Sawyer et al., 2001).

Dureza

Representa la concentración total de iones de calcio y magnesio, expresada como carbonato de calcio. La dureza hace que los jabones y detergentes sean menos efectivos y contribuye a la formación de incrustaciones en tuberías y calderas (John C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, David W. Hand, 2017).

En términos de dureza, las aguas pueden clasificarse así:

Tabla 2-2. *Rangos de dureza del agua*

0-75 mg/L	Blanda
75-150 mg/L	Moderadamente dura
150-300 mg/L	Dura
>300mg/L	Muy dura

Tomado de: (Sawyer et al., 2001).

La dureza se expresa en mg/L como $CaCO_3$

Tabla 3-2. *Principales cationes que causan dureza en el agua y los aniones asociados a ellos*

Cationes que causan dureza	**Aniones**
Ca^{2+}	$\mathbf{HCO^-_3}$
Mg^{2+}	$\mathbf{SO^{2-}_4}$
Sr^{2+}	$\mathbf{Cl^-}$
Fe^{2+}	$\mathbf{NO^-_3}$
Mn^{2+}	$\mathbf{SiO^{2-}_3}$

Tomado de: (Sawyer et al., 2001).

Hierro y Manganeso

Se discuten en conjunto porque en la naturaleza se encuentran juntos con frecuencia en las aguas subterráneas. No causan grandes problemas de salud, pero son objetables porque pueden causar problemas estéticos. Tanto el hierro como el manganeso manchan la ropa, aparatos sanitarios, imparten sabores desagradables, además, cuando se agota el oxígeno forman compuestos que se depositan, corroen y obstruyen tuberías y equipos mecánicos. La norma recomienda que la concentración no sea mayor a 0.3 mg/L de hierro total y las concentraciones de manganeso menores a 0.1 mg/l suelen ser aceptables para los consumidores. (Sierra, 2011).

2.2.3 Parámetros Microbiológicos

Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Estos microorganismos pueden ser patógenos o no. Los patógenos son microorganismos que provocan enfermedades incluyen muchas clases de microrganismos entre los que se encuentran bacterias, virus, protozoos y helmintos (Lozano & Lozano, 2015).

Debido a la gran variedad de microorganismos se han seleccionado un grupo de organismos indicadores (como los coliformes) se han identificado y se utilizan para monitorear la calidad microbiana del agua lo que posibilita el asegurar la eficacia de la potabilización

y depuración de un agua. Dentro de este grupo se clasifican los coliformes totales y fecales. Vázquez et al.(2017) define que el grupo de coliformes, que incluye el género *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, y *Klebsiella*, es relativamente fácil de detectar. Este grupo está definido como todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas. Gram negativas, no formadoras de esporas y de forma redonda que fermentan la lactosa formando gas en 48 horas y a 35 ºC (Spellman, 2016).

2.3 Enfermedades de transmisión hídrica

La Tabla 4 presenta una recopilación de las enfermedades de carácter hídrico más importantes que pueden afectar al hombre. Obsérvese que entre los organismos patógenos se encuentran bacterias, virus, protozoos, hongos, helmintos, así como insectos vectores que transmiten ciertas enfermedades (es decir, el agente causal de estas).

Tabla 4-2. *Enfermedades transmitidas por el agua*

Enfermedad	Organismo productor
	Bacterias
Fiebre tifoidea	*Salmonella thyphosa*
Fiebre paratifoidea	*Salmonella paratyphi*
Disentería	*Shighella dysenteria*
Cólera	*Vivrio comma*
Tuberculosis	*Mycobacterium tuberculosis*
Diarreas	*Proteus morganii*
Ictericia hemorrágica	*Leptospira*
Colibacilosis	*Escherichia coli*
Turalemia	*Pasteurella tularensis*
	Virus
Poliomielitis	*Enterovirus*
Diarreas	*Virus ECHO*
Meningitis, miocardiopatías	*Coxacky virus*
Hepatitis infecciosa	**Virus**
Conjuntivitis, faringitis	*Adenovirus*
Infecciones cutáneas	*Papillomavirus*
	Varios
Enfermedades cutáneas	*Histoplasma Capsulatum* (hongo)
Disentería amebiana	*Entamoeba histolytica* (protozoo)
Esquistosomiasis	*Bilharzia* (helminto)

Vías urinarias	*Eustrongylus gigas* (helminto)
Ascaridiasis	*Ascaris lumcricoides* (helminto)
Paludismo	*Anófeles* (insecto vector)
Fiebre Amarilla	*Aedes aegypti* (insecto vector)

Tomado de: (Marín Galvín, 2015)

2.4 Sustancias Tóxicas

Existen varias sustancias que tienen un demostrado efecto adverso sobre la salud humana, aun en concentraciones muy bajas. Algunas de estas son: antimonio, arsénico, bario, cadmio, cianuro, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio, trihalometanos (THM's), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y plaguicidas, entre otros. Todas estas sustancias deben medirse y vigilarse en aguas de consumo humano. Dependiendo del tipo de sustancia, podría medirse en equipos como fotómetros, espectrofotómetros o cromatógrafos de gases o de líquidos (Lozano & Lozano, 2015).

En la Tabla 5 resume fuentes y efectos de algunos elementos y compuestos presentes en las aguas. Algunos son de procedencia natural y otros de origen antropogénico

Tabla 5-2. *Fuentes y efectos más importantes de algunos elementos y compuestos*

Constituyente	Origen	Efectos Tóxicos
	Inorgánicos	
Nitritos	Lixiviación de los fertilizantes que emplean nitrato de amonio. Excretas humanas y de animales.	Bloquea la hemoglobina y produce metahemoglobina
Fluoruros	Ampliamente distribuido en la corteza terrestre y existe en forma de fluoruros en diversos minerales, como el espato fluor, criolita y fluorapatita.	Efectos en los tejidos óseos (huesos y dientes).
Arsénico	Minería, Pesticidas, Industria Química	Toxico en la piel y sistema nervioso. Posible cancerígeno
Cadmio	Carbón; Minería; Tratamiento Afecciones renales, cardiovasculares.de metales	Afecciones renales, cardiovasculares. Hipertensión. Reemplaza bioquímicamente al Zn
Hierro	Minería; Erosión, lixiviación de rocas y suelos; Fundición; Galvanotecnia; Corrosión	No tóxico. Problemas de sabor y turbidez. Daños a plantas a alta concentración

Cianuro	Industria; Galvanoplastia, plásticos; Fertilizantes y Minería	Altamente tóxico constricción del tórax, náusea, vómito, mareo, dolor de cabeza, palpitaciones, hipernea, disnea, bradicardia, inconciencia, convulsiones y muerte.
Mercurio	Residuos Industriales; Minería y Carbón	Efectos en los riñones, gastritis hemorrágica, incidencia de tumores, neurotóxico y genotóxico.
Plomo	Minería; Carburantes; Pinturas; Corrosión	Muy tóxico en niños y mujeres embarazadas. Daños al sistema nervioso, riñón. Anemia
Selenio	Carbón y petróleo; Minería	Afecta sistema nervioso a altas concentraciones. Hemorragias
	Orgánicos	
Hidrocarburos Totales	Derivados de la combustión, de desechos de automotores, asfalto, etcétera.	Cancerígeno, Trastornos neurológicos, infertilidad, malformaciones
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Procedentes de diversos procesos de combustión y pirolisis, revestimientos de alquitrán de las tuberías	Cancerígeno
	Residuos de Desinfección	
Trihalometanos Totales	Subproducto de la desinfección al reaccionar cloro con MON.	Posible cancerígeno, daños al hígado, tumores hepáticos, daños renales
Monocloramina	Son producto de la reacción del cloro con el amoniaco	Son compuestos olorosos y, por lo tanto, su formación en el agua potable no es deseada.

Tomado de: (Orozco, Pérez, González, Rodríguez, & Alfayate, 2016)

2.5 Estándares de calidad del agua

El agua contiene una variedad de componentes químicos, físicos y biológicos disueltos y suspendidos en ella. Durante el ciclo del agua desde que evapora a la atmósfera, cae al suelo en forma de precipitación, escurre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo disuelve componentes de su entorno. Además, contiene microorganismos que

pueden ser perjudiciales para la salud. Por estas razones es necesario tratarla antes de que pueda ser utilizada para un fin determinado (Heney & Heinke, 2013).

2.6 Normativa ambiental aplicable

2.6.1 Norma Técnica Ecuatoriana- Agua Potable INEN 1108:2020

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano y se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014).

2.6.2 Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes

Estas normas proporcionan criterios básicos de diseño para el desarrollo de proyectos de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en el Ecuador.

En la Tabla 6-2 se muestran los parámetros físicos, químicos y microbiológicos considerados en el presente estudio.

Tabla 6-2. *Parámetros y Límites Máximos Permisibles del agua establecidos en la norma INEN 1108 y CPE INEN5*

Parámetro		L.M.P INEN 1108	L.M.P CPE INEN 5
Físicos	Color	15 Pt-Co	
	Sólidos totales disueltos	-	
	Turbiedad	5 NTU	
	Temperatura	-	
	Olor	No objetable	
	Sabor	No objetable	
	Inorgánicos		
Químicos	Nitritos	0,2 mg/l	
	Conductividad	-	
	Cloro libre residual	0,3-1,5	
	Fluoruros	1,5 mg/l	
	Arsénico	0,01 mg/l	
	Cadmio	0,003 mg/l	
	pH	-	7-8,5
	Hierro	-	0,3 mg/l
	Cianuro Libre	0,07 mg/l	
	Mercurio	0,006 mg/l	
	Plomo	0,01 mg/l	
	Selenio	0,01 mg/l	

	Orgánicos	
	Hidrocarburos Totales	-
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,0007 mg/l
	Residuos de Desinfección	
	Trihalometanos Totales	0,5 mg/l
	Monocloramina	3 mg/l
Microbiológicos	Coliformes Totales	-
	Coliformes Fecales	Ausencia
	Crypstosporidium	
	Giardia Lambia	Ausencia

Tomado de: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014)

2.7 Tratamiento de agua potable

Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, para modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas con el propósito de hacerla apta para consumo humano, de acuerdo con una norma dada (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014).

2.8 Planta de tratamiento de agua

Una planta de tratamiento es un conjunto conjunto de estructuras, instalaciones, procesos y operaciones unitarios, que tiene como finalidad remover componentes indeseables en el agua haciéndola apta para uso y consumo humano.

2.9 Tipos de plantas de tratamiento de agua

Existe una gran variedad de sistemas de tratamiento para lograr una calidad de agua determinada para lograr una calidad determinada en función de la calidad de agua de la fuente

Según Ruiz (2015), los principales tipos de plantas potabilizadoras se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales y no convencionales.

2.9.1 Plantas convencionales

Este tipo de plantas están constituidas por las operaciones unitarias básicas en el proceso de potabilización: mezcla rápida, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El pretratamiento como cribado y la pre-cloración pueden adicionarse dependiendo las necesidades de la planta y la calidad del agua cruda (CONAGUA, 2015).

2.9.2 Plantas no convencionales

son aquellos tratamientos especiales no de utilización generalizada, tales como filtración directa, tratamiento con carbón activado, desinfección con ozono, y otros (SENAGUA, 2016).

2.10 Procesos de potabilización agua potable

2.10.1 Captación

Se capta el agua, en ella se encuentra un sistema de rejas y compuertas que retienen materiales de gran tamaño, para evitar que ingresen al acueducto o canal abierto que conduce el agua hacia la planta (Lozano & Lozano, 2015).

2.10.2 Aireación

Proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de eliminar sustancias volátiles contenidos en ella (J. Romero, 2012).

Las funciones más importantes de la aireación son:

- Transferir oxígeno al agua para aumentar el OD
- Disminuir la concentración de CO2
- Disminuirla concentración de H 2S
- Remover gases como metano, cloro y amoníaco
- Oxidar hierro y manganeso
- Remover compuestos orgánicos volátiles
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

2.10.2.1 Factores que afectan el sistema de tratamiento:

1. Temperatura del agua: a mayor temperatura, menor capacidad de absorción de gases.

2. Presión atmosférica: a mayor presión, mayor absorción de gases.

3. Magnitud de la superficie del agua en contacto con el aire: entre más pequeñas las gotas o más delgadas las capas en que se subdivide el agua para airearla, mayor eficiencia.

4. Tiempo de contacto: entre mayor tiempo permanezca el agua en contacto con el aire, mayor absorción.

5. Grado de agitación del agua: a mayor agitación, mayor eficiencia.

2.10.3 Mezcla rápida

Es una operación empleada en el tratamiento de agua con el fin de dispersar sustancias químicas y gases. En las plantas de agua se utiliza la mezcla rápida con el propósito de dispersar uniformemente el coagulante en el flujo de agua. La mezcla rápida se efectúa mediante la turbulencia provocada por medios mecánicos o hidráulicos (J. Romero, 2012).

Tabla 7-2. *Clasificación de las unidades de mezcla rápida*

Mecánicas	Retromezclador en línea		
Hidráulica	Resalto hidráulico	Canaleta Parshall	
		Canal de fondo inclinado	
		Vertedero rectangular	
	En línea	Difusores	En tuberías
			En canales
		Inyectores	
		Estáticos	
	Caídas	Orificios	
		Vertederos triangulares	
	Contracciones	Medidor Venturi	
		Reducciones	
		Orificios alargados	
	Velocidad o cambio de flujo	Línea de bombeo	
		Codos	

Tomado de: (CEPIS, 2006)

2.10.4 Coagulación

La coagulación implica la adición de un coagulante químico con el fin de desestabilizar cargas que involucra el acondicionamiento de materia suspendida, coloidal y disuelta para que se agreguen o formen un precipitado para crear condiciones que permitan su eliminación posterior

(Heney & Heinke, 2013).

Actualmente se considera la coagulación como el resultado de la acción de cuatro mecanismos:

1. Compresión de capa difusa
2. Adsorción y neutralización
3. Barrido
4. Adsorción y formación del puente.

Tipos de coagulantes

Los coagulantes los podemos clasificar en dos grupos: Los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos.

Clasificación de polielectrolitos

Los polielectrolitos de importancia en el tratamiento de agua pueden clasificarse así:

Tabla 8-2. *Clasificación de polielectrolitos usados en la potabilización*

Según su origen	Según su carga		Sustancias
Polímeros Naturales	Iónicos	Catiónicos	Derivados de materia animal y vegetal
		Aniónicos	Tales como proteínas y carbohidratos
Polímeros sintéticos	No Iónicos		Poliacrilamida Sílice Activada

Tomado de: (Valencia, 2000)

Coagulantes metálicos

Se emplean diversos coagulantes metálicos en la potabilización de los cuales podemos clasificarlos en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Derivados de aluminio

- Sulfato de Aluminio
- Aluminato de Sodio
- Cloruro de Aluminio
- Policloruro de Aluminio (PAC)

Derivados de hierro

- Sulfato ferroso
- Sulfato férrico
- Cloruro férrico

Arboleda (2000) considera que los polímeros pueden ser añadidos al agua de tres maneras distintas: a) como coagulantes, b) como ayudantes de coagulación y c) como ayudantes de floculación. En el primer caso el polímero es agregado al agua como único

coagulante en vez del coagulante metálico. En el segundo caso, el polímero es agregado antes del coagulante metálico y en el tercero, después del mismo.

Factores que influyen en el proceso

La coagulación y floculación es sensible a muchas variables como: la calidad del agua cruda, alcalinidad, pH, tamaño de partículas, tipo y dosis optima de coagulante. De todas, las que se pueden controlar en la práctica son cantidad y tipo tanto de coagulante como del floculante y condiciones de mezclado (Comisión Nacional del Agua, 2007).

2.10.5 Floculación

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas (partículas de las que la carga eléctrica superficial se ha reducido) y los productos de precipitación formados por la adición de coagulantes se conocen con "flóculos". El flóculo agregado se puede eliminar por gravedad mediante la sedimentación y/o filtración (Spellman, 2016).

Dichos procesos de coagulación y floculación se usan para lograr la:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, entre otros.
- Eliminación de bacterias virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general

Los factores que influyen en la floculación según CEPIS (2006)son:

• La naturaleza del agua
• Las variaciones de caudal
• La intensidad de la agitación
• El tiempo de floculación
• El número de compartimentos de la unidad

Clasificación de floculadores

Según el tipo de energía usada para producir la agitación, los floculadores pueden clasificarse en hidráulicos, mecánicos e hidromecánicos. Los primeros, según el sentido del flujo, se clasifican en: de flujo horizontal, de flujo vertical y de flujo he!icoidal. Los

segundos, asimismo, según el sentido del movimiento, se clasifican en reciprocantes y rotatorios (Valencia, 2000).

Tabla 9-2. *Clasificación de los floculadores*

Según la energía de agitación	Según sentido del flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo Horizontal	Con tabiques de ida y regreso	De tabiques
	Flujo Vertical	Con tabiques arriba y abajo del tanque	
		Con codos en el fondo que proyectan el agua hacia arriba	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	Cox
Mecánicos	Rotatorios	De paletas de eje horizontal o vertical	De paletas
		De turbinas horizontales o verticales	De turbinas
	Reciprocantes	Rejas o cintas oscilantes	Reciprocantes
Hidromecánicos	Flujo horizontal	De turbina Pelson y paletas horizontales	Hidromecánicos

Tomado de: (Valencia, 2000)

2.10.6 Sedimentación

La sedimentación es el proceso físico mediante el cual se elimina partículas en suspensión por efecto gravitacional. La remoción se consigue después de mezclar el agua cruda y los productos químicos y formado el floculo pasa al proceso de sedimentación, los flóculos han adquirido un mayor peso específico que el agua y el resultado que se obtenga será un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (John C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, David W. Hand, 2017).

Clasificación de los procesos de clarificación por sedimentación.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Sedimentación tipo 1: Se denomina partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída.

Sedimentación tipo 2: Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de

agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas (forma, tamaño, densidad) sí cambian durante la caída.

Sedimentación tipo 3: Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal (CEPIS, 2006).

Factores que influyen en el proceso

Los siguientes factores influyen en el proceso de sedimentación o decantación:

Calidad del agua

Variaciones en la concentración de solidos suspendidos influyen en la forma de sedimentación de las partículas, así como las propiedades de las partículas modifican la forma de depósito.

Condiciones hidráulicas

Los criterios y parámetros hidráulicos de diseño tienen gran influencia en la eficiencia de los sedimentadores.

Factores externos

Prácticas operacionales y factores ambientales son los que tienen más influencia en la eficiencia de un sedimentador(Valencia, 2000).

Tabla 10-2. *Tipos de sedimentación según el sentido de flujo en unidades de decantación de plantas de purificación de agua*

Sentido del flujo	Tipo de sedimentación	Ejemplo	Tasa de filtración $m^3/m^2/d$
Horizontal	1 y 2	Desarenadores	200-420 15-30
Vertical	2 y 3	Manto de lodos	45-60
Inclinado (ascendente o descendente)	1 y 2	Decantadores con módulos o placas	120-180

Tomado de: (Valencia, 2000)

2.10.7 Filtración

La filtración de agua es un proceso físico de separación partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión que pasa a través de un material granular. Este proceso es una de las últimas etapas de producción de agua potable que permite obtener un efluente de menor turbidez para asegurar posteriormente una desinfección eficiente (García-Ávila et al., 2020).

Clasificación:

Hay muchas maneras de clasificar los filtros: por la presión a la que trabajan; la dirección y velocidad del flujo; el material filtrante; el modo de control o la manera en que se retienen los sólidos.

Tabla 11-2. *Clasificación de tipos de filtros*

Por la fuerza que provoca el flujo a través del medio filtrante	Gravedad A presión
Por la velocidad o tasa de filtración	Lentos; con tasas de filtración entre 0.08 y 0.3 m3/m2 h Rápidos; con tasas de aplicación de 2 a 15 m3/m2 h.
Por el sentido de flujo	Pueden ser ascendentes, descendentes, biflujo u horizontales.
Por la manera en el que operan	Constante Variable
Por el material filtrante	Pueden ser homogéneos o simples cuando sólo están compuestos por un material filtrante. Duales, cuando hay dos materiales filtrantes (regularmente arena y antracita) o múltiples cuando cuentan con más de dos tipos de materiales filtrantes.
Por la manera en que se retienen los sólidos en el medio filtrante	Se pueden clasificar como de filtración superficial y de filtración profunda.

Tomado de: (Valencia, 2000)

Factores que influyen en la filtración

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión, del medio filtrante, de la hidráulica de la filtración y la calidad del efluente (García-Ávila et al., 2020).

Características del medio filtrante

Entre las características del medio filtrante que influyen en la filtración, destacan:

a) Tipo del medio filtrante

b) Características granulométricas del material filtrante

c) Peso específico del material filtrante

d) Espesor de la capa filtrante.

Principales características de filtros

En la Tabla 12-2 resume algunas de las principales características de los filtros por gravedad más utilizados en nuestro medio.

Tabla 12-2. *Principales características de filtros*

Característica	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5 (<12 m/d)	120 m/d	180-480 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración de carrera	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
Perdida de carga	Inicial: 0,6m Final: 1,2m	Inicial: 0,3 Final: 2,4-3m	Inicial: 0,3m Final: 2,4-3m
Agua de lavado	No usa	2-4 % del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad de medio	0,6-1,0m	0,60-0,75m	Antracita 0,4-0,6 m Arena 0,15-0,3m
Profundidad de grava	0,3m	0,3-0,45m	0,3-0,45m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falsos fondos	Tubería perforada Falsos fondos

Tomado de: (Romero Rojas, 2000)

2.10.8 Desinfección

Destrucción parcial e inactivación de organismos patógenos mediante la exposición a agentes químicos o físicos. En el tratamiento del agua potable se utilizan habitualmente cinco agentes desinfectantes como: cloro libre, cloro combinado (cloro combinado con amoníaco, también conocido como cloraminas), dióxido de cloro, ozono y luz ultravioleta (Spellman, 2016).

La desinfección química en un sistema de abastecimiento de agua reducirá el riesgo potencial de enfermedades, pero no garantiza necesariamente la seguridad del abastecimiento. (Organización Mundial de La Salud, 2018).

Las características deseadas de un desinfectante incluyen:

1. Debe poder desactivar o destruir cualquier tipo de microorganismos causantes de enfermedades que puede estar en un suministro de agua, en razonable tiempo, dentro de los rangos de temperatura esperados, y a pesar de los cambios en las características del agua (por ejemplo, pH).

2. No deben ser tóxicos para los seres humanos y los animales domésticos, ni desagradables o de otro tipo.

3. No debe añadir un sabor u olor desagradable al agua.

4. Debe estar disponible a un costo razonable y ser seguro y fácil de manejar, transportar, almacenar, y aplicar.

5. Debe ser rápido y fácil determinar la concentración del desinfectante en el tratado agua.

6. Debe persistir en el agua desinfectada a una concentración suficientemente alta para proporcionar residuos protección a través de la distribución (Spellman, 2016).

Los factores que influyen en la desinfección son:

- Los microorganismos presentes y su comportamiento.
- La naturaleza y concentración del agente desinfectante.
- La temperatura del agua.
- La naturaleza y calidad del agua.
- El pH del agua.
- El tiempo de contacto.

2.10.9 Desinfección con cloro

Es un proceso químico que destruye organismos patógenos existen dos tipos de desinfección por cloro: la primaria, donde mata los organismos y la secundaria que mantiene un desinfectante residual para prevenir el crecimiento de microrganismos en los sistemas de distribución del agua (Salamanca, 2017). El cloro se puede utilizar como elemento (Cl_2), como hipoclorito de sodio (NaClO), también conocido como lejía, como hipoclorito de calcio Ca $(ClO)_2$ (Mackenzie, 2017).

La tasa de desinfección depende de la concentración y forma en que se encuentre el cloro disponible, el tiempo de contacto, el pH, temperatura y otros factores. El ácido hipocloroso es más eficiente que el ión hipoclorito, por ello el poder del cloro residual disminuye conforme se incrementa el pH. La acción bactericida del cloro combinado es mucho menor que las del cloro residual libre, particularmente en términos de la velocidad de la reacción (Comisión Nacional del Agua, 2007).

El cloro es el principal compuesto empleado para la desinfección del agua. Se usa en forma gaseosa, sólida o líquida y en forma pura o combinada. La desventaja del cloro es su capacidad de reaccionar con la materia orgánica natural, lo que produce trihalometanos

y otros subproductos halogenados de la desinfección. No obstante, la formación de subproductos se puede controlar mediante la optimización del sistema de tratamiento (Organización Mundial de La Salud, 2018).

Los principales factores que afectan la eficiencia de desinfección son:

- Tiempo de contacto: Se refiere al tiempo disponible para que el cloro actúe sobre los microorganismos. Este tiempo debe ser como mínimo de 10 a 15 min en agua potable, normalmente entre 15 y 30 min.
- Temperatura: La destrucción de microorganismos con cloro es mucho más rápida a mayor temperatura. A pesar de esto, el cloro es más estable en agua fría lo que en la práctica compensa la menor velocidad de desinfección. Así, para lograr la misma acción a 4 ºC que a 21ºC, la concentración de cloro residual debe ser el doble con los demás factores constantes.
- pH: Afecta la acción desinfectante del cloro, particularmente la del cloro residual combinado. De forma general, mientras más alcalina sea el agua se requieren mayores dosis para una misma temperatura y tiempo de contacto. A un pH de 6.5 y una temperatura de 21 ºC, 0.3 mg/l de cloro residual combinado causa un efecto letal al 100 % de bacterias. A la misma temperatura y para lograr el mismo efecto, el cloro residual combinado debe aumentarse hasta 0.6 mg/l a pH de 7.0 y hasta 1.2 mg/l a pH de 8.5 (Comisión Nacional del Agua, 2007).

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

El presente proyecto se realizó en la Planta de Agua Potable de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos está ubicado a 355 m del margen derecho del Puente Aguarico, aproximadamente a 3 km del centro de la ciudad de Nueva Loja y a una altitud de 305 m.s.n.m.



Figura 1-3. Mapa de la Planta de Agua Potable del Cantón Lago Agrio

3.2 Tipo de Investigación

La presente investigación tiene un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo porque se realizó un diagnóstico técnico y operativo de los procesos unitarios y se evaluó la calidad de agua a través del análisis de datos recolectados en la planta de agua potable.

Según su alcance se utiliza un diseño descriptivo simple dado que el propósito es recoger datos, sistematizar, analizar y caracterizar el estado actual de las unidades de proceso. Y comparativo porque se tiene como finalidad comparar los reportes históricos de análisis de agua con los limites máximo permitidos que establece la NTE INEN 1108 que establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para su consumo humano. Por otra parte, es un estudio transeccional dado que se recolectó información durante un periodo de tres meses (octubre, noviembre y diciembre) y su propósito es de describir variables y analizar su comportamiento. Todo esto se llevará a cabo con el propósito diagnosticar los problemas más evidentes en el sistema de potabilización y para finalmente proponer alternativas de mejoras.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron principalmente para el desarrollo este trabajo de investigación fueron documentos y registros disponibles en la Planta de Agua Potable de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio y varias fuentes de información bibliográfica.

A continuación, se describe las técnicas e instrumentos utilizados en la presente investigación para la obtención de datos.

- Entrevistas; al personal técnico de planta y a expertos en el área de tratamiento de agua potable
- Registros fotográficos y videos; de las instalaciones y unidades de tratamiento de la planta de agua potable
- Libros; especializados en tratamiento de agua potable
- Repositorios de tesis; de pregrado y postgrado
- Manual de operación y mantenimiento disponible en la PTAP
- Artículos científicos tomados de bases de datos académicos
- Reportes históricos de los análisis de calidad de agua del laboratorio de la planta de EMAPALA durante los meses octubre, noviembre y diciembre del año 2020.
- Reportes de análisis anuales de calidad de agua realizados en laboratorios externos acreditados.
- Planos de arquitectónicos de las estructuras hidráulicas en AutoCAD 2020
- Manuales de evaluación de plantas de tratamiento de agua potable del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA)
- Normativas referentes al sector de agua potable y saneamiento de Ecuador y Colombia.

3.4 Método de Investigación

Para efectuar el primer objetivo se procede a recopilar información disponible en la planta de tratamiento de agua potable mediante la colaboración del personal técnico de EMAPALA.

Cabe señalar que debido a las limitaciones del presente estudio por la pandemia no se pudo hacer observaciones directas en la planta de agua potable, por lo que se recurrió a hacer entrevistas al personal técnico y administrativo de la empresa de agua potable como a los analistas químicos y operadores de mantenimiento, además se solicitó registros fotográficos y videos de las instalaciones de las unidades de proceso, estas técnicas de recolección de datos permitieron identificar el funcionamiento de los procesos de potabilización así como sus falencias técnicas y operativas. En la primera etapa de esta investigación se recopilaron las siguientes fuentes de información disponible en la Planta de Agua Potable.

- Manuales de operación y mantenimiento
- Planos arquitectónicos de las estructuras.
- Reportes históricos de los análisis de calidad de agua cruda y tratada diarios de ocho parámetros físicos químicos y microbiológicos realizados en la PTAP.
- Registros de medición de caudales del sistema SCADA.
- Resultados de análisis anuales de agua cruda y tratada de 20 parámetros realizados en laboratorios externos

La evaluación de una planta de tratamiento de agua comprende un análisis detallado del funcionamiento y comportamiento hidráulico de cada una de las partes que físicamente la conforman, de su eficiencia y de la forma en que está siendo operada.

Para llevar a cabo la evaluación de la planta se utilizó principalmente el Manual III de Evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada de la CEPIS.

El manual de la CEPIS recomienda que, para empezar una evaluación de la planta de tratamiento de agua potable, se inicia con una inspección preliminar con la finalidad de cumplir los siguientes objetivos:

- Conocer el sistema e identificar problemas y deficiencias más evidentes
- Establecer la capacidad potencial de la planta y determinar sus limitaciones para alcanzar sus objetivos de optimización de la producción.
- Realizar un diagnóstico previo que sirva para orientar los recursos necesarios para la posterior evaluación de los procesos más críticos.
- Determinar los recursos disponibles para las siguientes etapas del proceso.

Como resultado de la evaluación del sistema de tratamiento, se obtendrá información valiosa que comprenderá la determinación de las condiciones para mejorar la eficiencia del sistema y desarrollar el proyecto de optimización o ampliación.

3.4.1 Diagnóstico de las unidades de tratamiento de potabilización

A través de la información recolectada se analiza y se describe cada una de las unidades de tratamiento que integran el sistema de potabilización considerando criterios como material de construcción de las estructuras hidráulicas, dimensiones, estado físico, operación y proceso.

3.4.2 Análisis de datos

Para el análisis cualitativo y cuantitativo de datos de los reportes históricos de análisis de agua se tabularon datos y se elaboró gráficos estadísticos de líneas y barras en Microsoft Excel 2018 para estudiar el comportamiento de los parámetros físicos químicos y microbiológicos durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2020. Por otro lado, se compararon los registros históricos de los análisis de calidad del agua

tratada con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la norma técnica ecuatoriana INEN 1108:2020 para verificar su cumplimiento

Con base en los resultados obtenidos de la evaluación, se realizó un diagnóstico para identificar las posibles deficiencias técnicas y operativas que presenta las unidades de tratamiento, con la finalidad de proponer alternativas de mejoras.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Descripción de la situación actual de la planta de agua potable

La planta de Agua Potable sector las "Chozas" de la ciudad de Nueva Loja, que pertenece a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Lago Agrio, fue creada en 2012 por la Empresa Pública Ecuador Estratégico EP. con la reinversión de los recursos que genera el petróleo en esta provincia y entró en operación en mayo del 2016.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado es la encargada de suministrar agua potable a todo en cantón Lago Agrio, actualmente cuenta con 22 plantas potabilizadoras las cuales se encuentran distribuidas estratégicamente tanto en el sector urbano como rural.

La planta de Agua Potable Aguarico es la más grande del cantón que abastece a una población de 49,480 habitantes en base al número de medidores y el número de personas por familia en la provincia según la INEC. La planta funciona de manera automatizada mediante el sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos en sus siglas en inglés (SCADA) que reduce la dependencia de los operadores y costos de mantenimiento. Por otro lado, la planta cuenta con una capacidad máxima de diseño de 300 L/s de agua para tratar, que dotará a la población por un periodo de diseño de 30 años, actualmente

opera con un caudal promedio de 200 L/s, su capacidad se irá incrementando en función del crecimiento poblacional mediante nuevas fuentes de captación y líneas de distribución. Se construyó la fuente de captación superficial sobre el rio Aguarico que es la principal fuente de abastecimiento de agua y se traslada a través de un sistema de bombeo hasta la planta de agua potable donde se somete a procesos físicos-químicos como; aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección con cloro gas como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2-4.

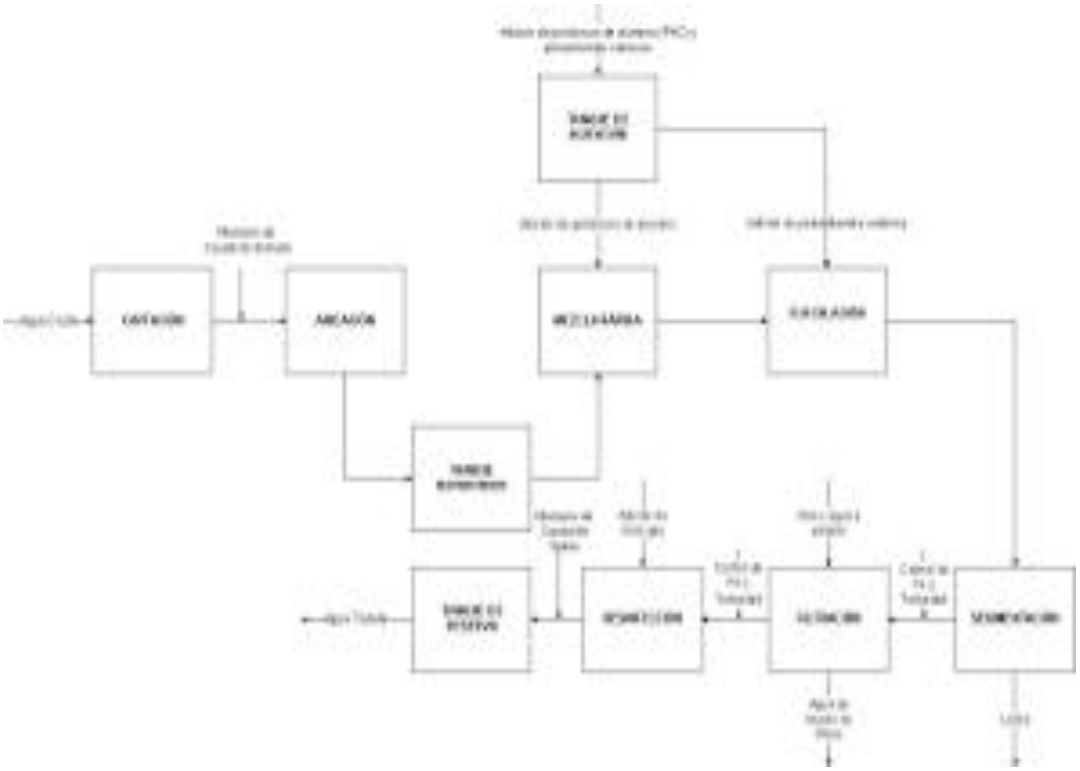


Figura 2-4. Diagrama de flujo de los procesos de potabilización

Además, la planta cuenta con un laboratorio de análisis físico químico y microbiológico de agua donde realizan las pruebas de calidad del agua cruda y tratada para verificar el cumplimiento de la norma INEN 1108:2020 que establece los requisitos de calidad de agua potable.

4.2 Diagnóstico actual de las operaciones y procesos unitarios de potabilización

4.2.1 Unidad de Captación

La unidad de captación está constituida por una casa de control, una garita y una barcaza donde están instaladas sobre la misma tres bombas hidráulicas de carcasa partida de potencia de 200HP, que conducen el agua cruda desde un dique de captación hacia la planta de agua potable.



Figura 3-4. Unidad de Captación

4.2.2 Unidad de Aireación

La planta cuenta con cuatro torres de aireación de bandejas múltiples que consisten en una serie de bandejas metálicas con fondos perforados sobre las cuales de distribuye el agua cruda donde ingresa un caudal aproximado de 50 L/s en cada una de las torres de aireación. El flujo de agua de ingreso es controlado mediante un medidor de caudal de tipo electromagnético.

Dimensiones

Las torres de aireación cuentan con seis bandejas metálicas, con un espaciamiento entre bandejas de 46 cm, con dimensiones de 16.56 m^2, una altura total 3.1 m como se muestra en la Figura 4-4, así también una carga de superficie 260.87m^3/m^2 día y un tiempo de exposición de 1.88 s.



Figura 4-4. Torre de aireación con bandejas múltiples

Operación y proceso

En esta unidad se logra remover minerales como hierro, manganeso y compuestos orgánicos volátiles mediante procesos de oxidación y precipitación, a través del aporte de oxígeno que entra en contacto con el agua y actúa como agente oxidante. Además, cuenta con medios de contacto como los anillos pall ring de material de propileno de alta densidad que también ayuda a la remoción hierro principalmente.

Diagnóstico de la unidad de aireación

Se evidenció que las bandejas de aireación presentan crecimientos de algas y lamas biológicas, paredes superficiales un poco oxidadas y medios de contacto deteriorados. Por todo lo anteriormente mencionado son factores importantes a tomar en consideración

para garantizar la eficiencia del proceso. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2000) recomienda que en lugares donde existe ataque de crecimiento de las algas pueden adicionarse pequeños cristales de sulfato de cobre, que tienden a disolver las algas antes de que precipiten. Instituto Ecuatoriano de Normalización (2014) sugiere que en todo caso se debe evitar el uso de materiales importados y utilizar medios de contacto disponibles en la localidad. Por esta razón para promover la adsorción de sustancias orgánicas y el desarrollo de microorganismos oxidantes de sulfuros y materia orgánica disuelta, se recomienda utilizar piedra pómez o carbón vegetal como medio de contacto.

4.2.3 Unidad de Mezcla Rápida

La unidad de mezcla rápida se divide en dos áreas:

En la primera se encuentran los agitadores de los polímeros y bodega de químicos.

En la segunda se encuentra el canal de mezcla rápida.

Tanque de agitación de polímeros

Antes de dosificar el coagulante y el ayudante de floculación en el mezclador hidráulico se hace una disolución en un tanque agitado con un cierto de volumen de agua. El coagulante empleado es el policloruro de aluminio y el ayudante de floculación es una poliacrilamida catiónica, la alimentación de estos insumos químicos se hacen de forma manual por el personal técnico de la planta cada 24h. La agitación se realiza por medios mecánicos en un tanque para luego ser conducida al mezclador hidráulico por una tubería a través de un sistema de dosificación por bombeo con bombas centrifugas de 2HP.

Los tanques de mezcla para el policloruro de aluminio son de sección circular, de material de concreto recubierto con cerámica y la mezcla es inducida a través de impulsores turbina de tipo pala recta que son manipulados por un tablero de control como se puede observar en la Figura 6-4. Estos impulsores generan corrientes radiales y tangenciales con velocidades rotacionales bajas de 40-100 rpm que son manipulados por un tablero de control.



Figura 5-4. Tanques de agitación de polímeros

Los tanques de mezcla para el ayudante de floculación cumplen el mismo funcionamiento su distinción varia en que los tanques son de sección cuadrada con cuatro paletas de tipo hélice que giran a velocidades de 40-100 rpm propiciando una adecuada mezcla como se observa en Figura 5-4.



Figura 6-4. Sistema de dosificación de polímeros

Dosificación de sustancias químicas

A continuación, se describe la dosis de aplicación de los polímeros, las dimensiones de los tanques agitados y otras características importantes.

Tabla 13-4. *Características del sistema de dosificación de sustancias*

			V(m3)	Dosis (Kg)	Concentración (%)	Tiempo de mezcla
Tanque para policloruro de aluminio (PAC)	Radio(m)	0.43	0.493	25	5.066	30 min
	h(m)	0.85				
Tanque para poliacrilamida catiónica (QUEMIFLOC)	L1(m)	1.3	2.33	0.125	0.00537	30 min
	L2(m)	1.28				
	h(m)	1.4				

Calculo de la dosificación de insumos químicos

Cálculo de dosis de ayudante de floculación

El Q=204 L/s dividimos para seis puntos de aplicación del ayudante de floculación entonces se obtiene un Q=34 L/s. Y si tengo un aforo de 700 ml /10s. Determine la dosis de ayudante de floculación.

$$\text{Dosis(ppm)} = \frac{\text{A} * \text{C}}{\text{Q}} \qquad (1)$$

Donde:

A= Aforo (ml/s)

C= Concentración (%)

Q= Caudal (L/s)

$$\text{Dosis (ppm)} \frac{700 * 0.00537}{34} = 0.11 \text{ ppm}$$

Cálculo de dosis de policloruro de aluminio

El Q=204 L/s, dividimos para dos puntos de aplicación, entonces tenemos un Q=102 L/s. Y si tengo un aforo de 350ml/10s. Determine la dosis del coagulante.

$$\text{Dosis(ppm)} = \frac{350 * 5.066}{102} = 17.38\text{ppm}$$

Para determinar la dosis óptima de coagulante y ayudante de floculación se realizó previamente pruebas de jarras para estandarizar las dosis de coagulante y floculante en dependencia de la variación de la turbiedad del agua como se muestra en la Tabla 14-4. En periodos de lluvia las variaciones de turbiedad incrementan lo cual la dosificación aumenta por ende requiere mayor cantidad de insumos químicos y esto implica mayores costos económicos. El ajuste de pH no se realiza ya que el polímero PAC trabaja muy bien a rangos amplios de pH.

Tabla 14-4. *Cantidad de reactivo a dosificar*

Tabla para dosificar planta de agua			**Aforo (ml/10s) Diferentes caudales**										
NTU	**PAC(ppm)**	**QUEMIFLOC(ppm)**	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120
0-20	6	En todos los casos se aplicará 0.1	118	121	123	126	128	130	133	135	137	140	142
21-50	8		158	161	164	167	171	174	177	180	183	186	190
51-80	10		197	201	205	209	213	217	221	225	229	233	237
81-150	12		237	242	246	251	256	261	265	270	275	280	284
151-300	15		296	302	308	314	320	326	332	338	343	349	355
301-700	18		355	362	370	377	384	391	398	405	412	419	426
701-1000	20		395	403	411	418	426	434	442	450	458	466	474
1000-2000	25		493	503	513	523	533	543	553	563	572	582	592

Diagnóstico de los tanques de agitación

En el laboratorio de planta existe una tabla de dosificación en función al caudal y la turbiedad de entrada que es variable. Según CEPIS (2006) menciona que la coagulación y floculación son extremadamente sensibles a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad por tal motivo es imprescindible realizar las pruebas de tratabilidad todos los días para determinar la dosis óptima de coagulante y floculante. Por otro lado, Valencia (2000) recomienda que es importante analizar características hidráulicas de las unidades de proceso para de determinar los reales tiempos de retención y la gravedad de cortocircuitos. Estos aspectos inciden en la

cantidad de coagulante utilizado y garantizan la eficiencia del proceso, así como en la economía de la operación y mantenimiento.

En el sistema de dosificación, las bombas centrifugas no son recomendables para realizar una dosificación precisa de los polímeros. Por lo tanto, se sugiere instalar bombas dosificadoras de pistón o de diafragma resistentes a la abrasión o corrosión generada por la solución química y con potencia de 2 HP.

Por otro lado Valencia (2000) menciona que el uso de PAC como coagulante es el más apropiado porque presenta una serie de ventajas como mayor eficiencia en la remoción de la turbiedad, disminución de producción de lodos, menor consumo de alcalinidad y trabaja en amplios intervalos de pH.

Es indispensable determinar el gradiente de velocidad producido por el mezclador; se aconseja realizar esta evaluación por medio de la medición de la potencia demandada por el mezclador, midiendo el voltaje, el amperaje y el desfase.

Dosificación de sustancias químicas

Manejo y almacenamiento de sustancias químicas

La planta cuenta con una bodega de almacenamiento de sustancias químicas utilizadas para los procesos de coagulación y floculación. Las sustancias utilizadas son el policloruro de aluminio que es un polímero sintético que actúa como coagulante y poliacrilamida catiónica conocida de nombre comercial como QUEMIFLOC que es un ayudante de floculación. En la Figura 7-4 se puede observar el rotulado de los envases donde se muestra las fichas técnicas y de seguridad del producto.



Figura 7-4. Empaques de polímeros

La forma de almacenamiento de estas sustancias químicas se realiza en forma inadecuada porque no se utiliza tarimas para prevenir la humedad de los productos como se muestra en la Figura 8-4 y ocasionen reacciones desfavorables que afecten a la calidad del producto y perjudiquen la salud de los operadores. Por otro lado, los operadores no utilizan equipos de protección personal para la manipulación de sustancias químicas.



Figura 8-4. Almacenamiento de productos químicos

4.3 Mezclador hidráulico

El flujo procedente de las torres de aireación llega a un tanque repartidor de caudales su función es controlar las fluctuaciones del caudal entrante y repartir el caudal en dos canales rectangulares de capacidad de 100 L/s cada uno.

El tanque repartidor de caudales tiene una compuerta plana lateral en el borde del canal principal donde el flujo pasa a través de este y se conecta al mezclador hidráulico que consiste en un canal de sección rectangular de tipo rampa.





Figura 9-4. Unidad de mezcla rápida

Dimensiones

A continuación, en la Tabla 15-4 se describen las características de la unidad de mezcla rápida y el tanque repartidor.

Tabla 15-4. *Características de la unidad de mezcla rápida y tanque repartidor*

Tipo	Canal rectangular tipo rampa
Material de la unidad	Hormigón Armado
Ancho del canal	1.13 m
Profundidad del canal	1.21 m
Altura del nivel de agua	0.75 m
Longitud total del canal	14.2 m
Inclinación de la rampa	65 º
Dimensiones del tanque repartidor	2.50mx2.04mx1.31m

Punto de aplicación del coagulante

Se dosifica la solución de coagulante de manera puntual en donde se genera turbulencia para favorecer la mezcla del polímero, a través de una llave de paso conectada a un tubo de PVC de 2 pulg como se puede observar en la Figura 10-4.



Figura 7-4. Punto de dosificación del coagulante

Diagnóstico de la unidad de mezcla rápida

La aplicación del polímero en el punto donde se produce turbulencia, pero el polímero no se distribuye de manera homogénea dado que la aplicación es puntual. Instituto Ecuatoriano de Normalización (2003) menciona que la dosificación del coagulante debe aplicarse en el punto de mayor turbulencia y debe realizarse uniformemente distribuido en la masa del agua. Por ello se recomienda utilizar una tubería con un diámetro nominal de 1 pulg con orificios de diámetro de 0.5 pulg en todo el ancho del canal. También se puede observar que existe crecimiento de algas, formación de incrustaciones por hidróxidos metálicos que originan pérdidas de energía hidráulicas y en consecuencia sufre cambios del tipo de flujo.

El régimen de flujo aguas arriba y abajo es la misma, generando turbulencia desde la entrada por la compuerta lo que impide determinar parámetros operacionales como el gradiente de velocidad.

Romero Rojas (2000) describe que el régimen de flujo aguas arriba de la intersección debe ser supercrítico mientras que aguas abajo, la pendiente impone un tirante normal en régimen subcrítico, presentándose en algún punto intermedio, la transición entre ambos. Por otro lado, CEPIS (2006) menciona que estudios realizados demuestran que la

tasa de aglomeración en un reactor depende del rango de gradiente de velocidad y el tiempo de retención que está operando y así también el reactor depende del mecanismo de coagulación es así que para adsorción y barrido se recomienda el uso de salto hidráulico. De acuerdo con CEPIS (2006) describe que el gradiente óptimo para este tipo de unidades es de aproximadamente de $1000s^{-1}$.

4.3.1 Unidad de Floculación

Luego de la mezcla rápida el agua es repartida por medio de dos canales. Su ingreso es regulado por medio de compuertas en guillotina, operadas manualmente. La planta cuenta con seis floculadores hidráulicos de flujo vertical consiste en un tanque rectangular de concreto divido en seis tramos cada uno está separada por tabiques de material de fibra de vidrio dispuestos de tal forma que el agua fluye hacia arriba y hacia abajo sucesivamente, contorneando las diversas pantallas como se muestra en la Figura 11-4 con un tiempo de retención de 25-30 minutos de acuerdo a los criterios de diseño de manera que, mediante agitación lenta prolongada las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y densidad. Al final de la cámara de floculación se encuentra un canal rectangular que lleva el agua floculada hacia los tanques de sedimentación.

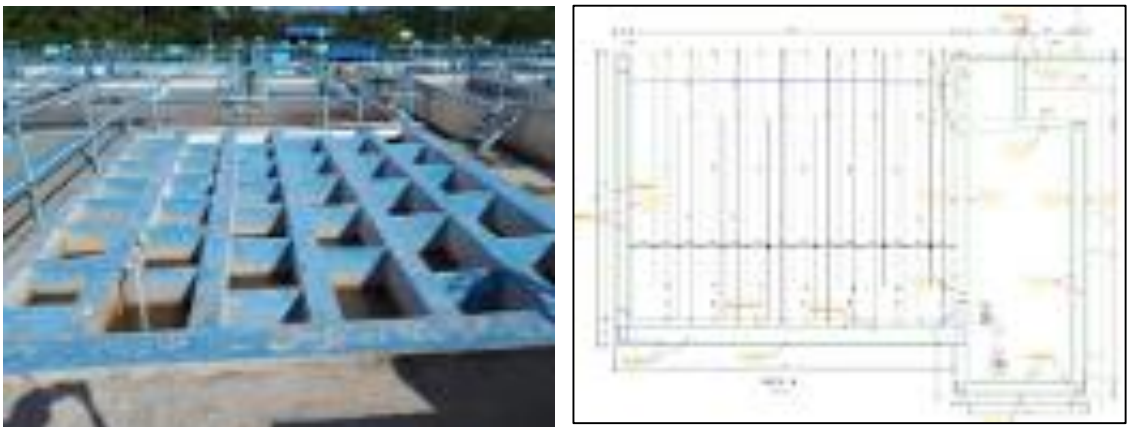


Figura 8-4. Floculador hidráulico de flujo vertical

Punto de aplicación del ayudante de floculación

La dosificación del ayudante de floculación se realiza de manera puntual mediante una llave de paso conectada a un tubo de PVC de 2 pulg como se observa en la Figura 12-4.



Figura 9-4. Dosificación del ayudante de floculación

Dimensiones

En la Tabla 16-4 se muestra las características del floculador hidráulico

Tabla 16-4. *Resumen de características del floculador*

Tipo	Floculador de pantallas de flujo vertical
Caudal de diseño	0.033 m3/s
Material de la unidad	Hormigón Armado
Ancho de la estructura	5.40 m
Longitud de tramos	6.23 m
Profundidad	4.5 m
Borde libre	0.4m
Ancho de tramos	0.63 m
Número de tramos	6
Numero de pantallas en cada unidad	34
Altura de pantalla superior	3.59m
Altura de pantalla inferior	3.15m
Separación entre pantallas	0.5 m
Espesor de tabiques	0.01 m

Diagnóstico de la unidad de floculación

El espacio entre pantallas no es uniforme. Criterios de diseño como la velocidad del agua a través del tanque y gradientes de velocidad no se conocen. CEPIS (2006) sugiere que cuanto mayor sea el número de compartimentos, menores serán los cortocircuitos del agua y la elección de valores adecuados para los gradientes de velocidad, se aumenta la eficiencia del proceso o se reduce el tiempo necesario de floculación (o ambos).

Por otra parte, se puede observar en la Figura 12-4 que la estructura hidráulica presenta fisuras en las paredes de los tramos y las pantallas de fibra de vidrio del floculador tienen espesores irregulares. CEPIS (2006) señala que entre los materiales indicados para las pantallas son la fibra de vidrio por su resistencia. En cada caso, la elección del material dependerá del tamaño de la planta, del costo del material y de los recursos disponibles.

Un gradiente de velocidad alto puede romper el floculo e impedir que adquiera un tamaño adecuado para su sedimentación rápida en cambio un gradiente muy bajo no produce suficiente agitación y no permite una compactación suficiente ni una floculación completa (Romero Rojas, 2000)

Por otro lado, Enriquez (2017) menciona que los mejores resultados para todos los tiempos de floculación de un agua cruda de turbiedad de 5.26 NTU se obtiene en tiempos entre 15 y 35 minutos a un gradiente de velocidad de $20s^{-1}$. A continuación, se describen valores recomendados de parámetros óptimos propuestos por algunos autores para floculadores hidráulicos de flujo vertical.

Tabla 17-4. *Parámetros óptimos de referencia para floculadores hidráulicos*

Parámetros				
La velocidad de flujo	**Tiempo de retención**	**Gradiente de velocidad**	**Separación mínima entre tabiques**	**Referencia**
0.15-0.5 m/s	15-20 min	10-100 s^{-1}	-	Según Valencia, (2000)
0.15-0.45 m/s	15 – 60 min	-	0.45m	Según Insfopal (1999)
0.2 m/s-0.6 m/s	20 -30 minutos	20 s^{-1} y 70 s^{-1}	-	Según Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2000)
-	-	>20s^{-1}	0.6m	Según Instituto Ecuatoriano de Normalización (2003)

Para la determinación de estos parámetros operacionales como gradiente de velocidad, velocidad de flujo y tiempo de retención se debe determinar mediante la aplicación de ensayos de trazadores.

4.3.2 Unidad Sedimentación

Después de la floculación las partículas aglomeradas llamadas flóculos sedimentan en el fondo del tanque de mediante la fuerza de la gravedad y el efluente clarificado. La planta de agua potable posee 12 sedimentadores rectangulares de flujo ascendente de alta tasa con módulos de geometría cuadrada, de material de polietileno de alta densidad de aproximadamente dispuestos con un ángulo de inclinación de 60 grados como se puede observar en la Figura 14-4 y con un tiempo de retención de 25 a 30 minutos. De tal manera que el agua cruda asciende y los flóculos de mayor de densidad que el agua se deslizan a través de los tubos cuadrados y se depositan en el fondo del tanque formando un manto de lodos. La recolección de agua se realiza mediante un sistema de tubos de acero perforados que están sumergidos de manera organizada, de modo que garantiza un caudal uniforme a lo largo de estos y posteriormente el agua recolectada pasa a un canal de recolección del agua clarificada.



Figura 10-4. Tanques de Sedimentación

Dimensiones

Tabla 18-4. *Resumen de características del sedimentador*

Tipo	Sedimentador de alta tasa de flujo ascendente
Caudal de diseño	0.0167m3/s
Material de la unidad	Hormigón Armado
Ancho	2.8 m
Longitud	6.77m
Profundidad	5.1m
Área superficial total	171.36 m3/m2*d
Numero de tubos de recolección	6
Numero de orificios por tubo	16 orificios de 25 mm de diámetro
Pendiente de tolva	56º
Altura de seditubos	1 m
Angulo de inclinación	60 º
Espesor de paredes de celdas	0.7mm

Manejo y disposición de lodos

En los procesos de sedimentación, remoción de hierro y manganeso, coagulación química y lavado de filtros se producen residuos llamados lodos. En la planta de agua potable se extraen los lodos producidos de los diferentes procesos y se conducen por el desagüe formado por un sistema de tuberías que descargan finalmente a los cuerpos hídricos.

En la Figura 14-4 se puede observar la tolva de recolección de lodos del sedimentador y el ángulo de inclinación apropiado permite que los lodos fluyan libremente hacia al fondo y a través de unos orificios de 50 mm de diámetro se drenan junto con el agua de lavado.

Rojas (2000) afirma que los lodos varían en sus características físico químicas y cantidades en de tipo de tratamiento, composición del agua y de calidad de producto por este motivo se hace necesario tratarlos y disponerlos en un sitio adecuado.

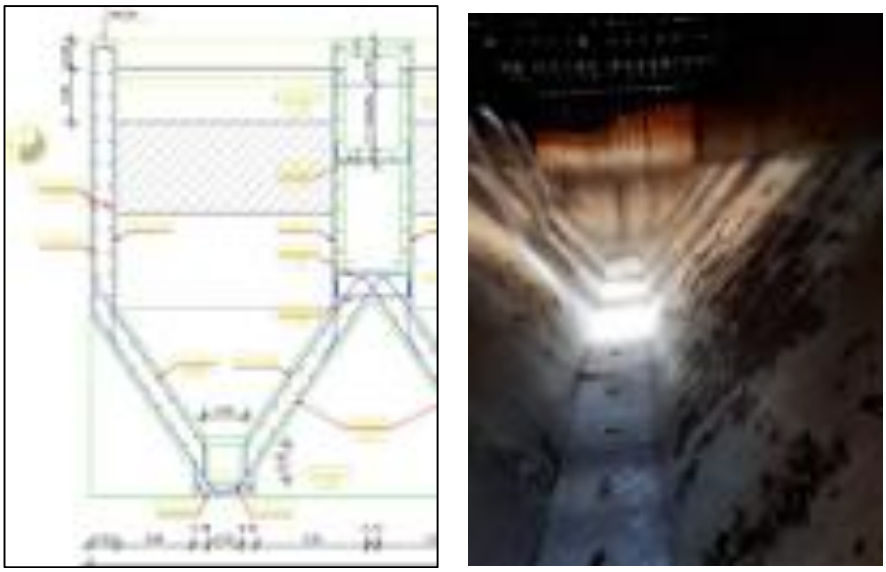


Figura 11-4. Tolva de lodos del sedimentador

Diagnóstico de la unidad de sedimentación

Se puede evidenciar que los módulos plásticos del tanque de sedimentación se encuentran deteriorados en la superficie, debido a que el personal de operación camina sobre los módulos de placas mientras realizan el lavado con agua a presión causando roturas de los mismos. CEPIS (2006) menciona que cuando los módulos se rompen, el agua pasa por las aberturas que estos dejan, lo que produce un cortocircuito. La mayor parte del agua pasa por el forado que han dejado los módulos rotos y la eficiencia de la unidad se anula.

El control del volumen de lodos generados no se realiza y tampoco se cuenta con un de tratamiento de lodos. Las descargas de agua de lavado junto con los lodos residuales se realizan en el río Aguarico al momento de hacer limpieza y mantenimiento de las unidades tratamiento. Este es uno de los problemas más críticos en la operación de las plantas de tratamiento es el manejo de lodos producidos en las unidades de tratamiento principalmente en los procesos de sedimentación, floculación y filtración. Valencia (2000) indica que los lodos provenientes de los sedimentadores constituyen entre el 60 y el 70% de los sólidos totales y en los filtros entre el 30 y el 40%. Por otro lado, aunque el uso de polielectrolitos reducen el volumen de lodos generados tienen características especiales puesto que son una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicos compuestos básicamente por hidróxidos metálicos, polielectrolitos, arcillas, hojas, plancton, carbón activado y demás compuestos químicos empleados durante los procesos de potabilización lo cual representa un problema medioambiental y debe ser tratado y dispuesto adecuadamente (Valencia, 2000).

Durante el tratamiento del agua se producen grandes volúmenes de agua de retrolavado del filtro y agua de lodos de sedimentación, lo que representa aproximadamente del 2 al 10% del flujo total de agua en las PTAP (Qian et al., 2020).

Según MAE (2015) prohíbe que todo tipo de descargas sin tratar particularmente en este este estudio lodos provenientes de tratamiento de aguas o cualquier tipo de residuo sea liquido o solido sin tratar no deberá disponerse en cuerpos de agua.

Consideraciones ambientales sobre el manejo inadecuado de lodos

- La descarga de lodos sobre ríos y lagos conducen a la formación de depósitos en las zonas de baja velocidad de flujo. Estos depósitos cubren organismos bentónicos y alteran la cadena alimenticia de los peces.
- Los lodos reducen la calidad estética y otros usos de la fuente receptora al aumentar la turbiedad del agua. Al aumentar la turbiedad reduce la cantidad de luz que ingresa al agua esto implica en la disminución de la actividad fotosintética.
- Las descargas de aguas de lavado de filtros conducen al aumento de carga microbiana y al riesgo de contaminación microbiana patógena.
- Los lodos de sales de aluminio pueden tener efectos toxicológicos por exceso de aluminio sobre algunos organismos acuáticos (Romero Rojas, 2000).

4.3.3 Unidad de Filtración

La planta cuenta con seis filtros rápidos de flujo descendente de geometría rectangular con lechos mixto de antracita, arena y grava como medio de soporte con espesores de 0.45 m, 0.30 m y 0.30 m respectivamente.

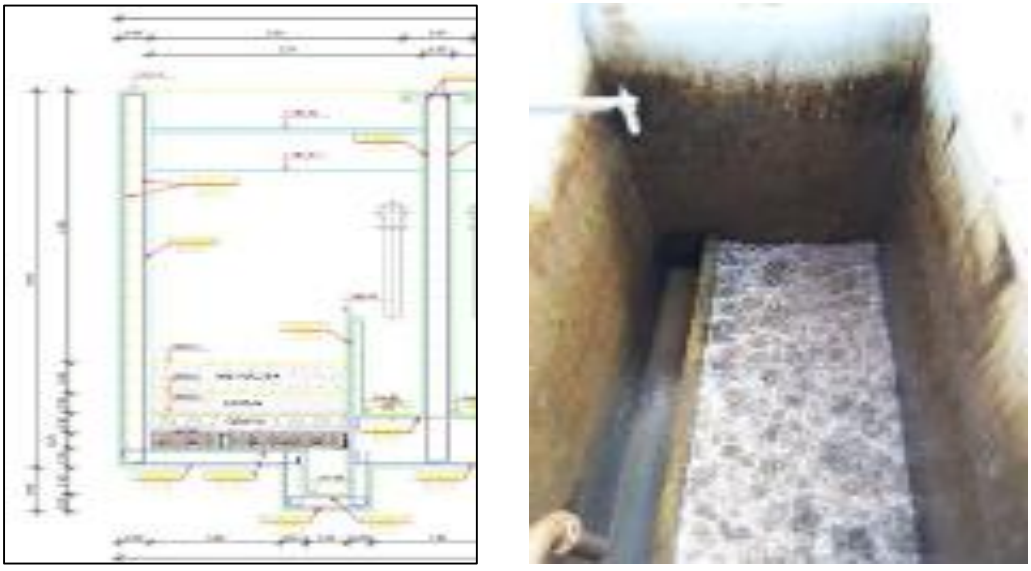


Figura 12-4. Tanques de Filtración

Tabla 19-4. *Resumen de las características de las unidades de filtración*

Tipo	Filtro rápido de flujo descendente
Material de la Unidad	Hormigón Armado
Ancho	2.47 m
Largo	5.1 m
Profundidad	6.3 m
Área filtrante total	75.58 m3/m2*d
Ancho de canal recolector de agua filtrada	1 m
Nivel máximo de agua	4.5 m
Nivel durante lavado	1.8 m

Operación de lavado de filtros

El agua de manera descendente atraviesa cada una de las capas del lecho filtrante, donde quedan atrapados los floc y los sólidos que quedan de los procesos anteriores, de esta manera garantiza la buena calidad física del agua tratada. Cada una de las cámaras de filtración cuenta con un sistema de retrolavado, inicialmente el nivel del agua en el interior del filtro se reduce hasta que permanezca cerca de 0.1 a 0.3 m de la cima del medio filtrante. En seguida se inyecta aire a través de boquillas durante un periodo de 10 minutos. Se paraliza la introducción de aire y se inicia el lavado con agua en contracorriente para para producir una expansión de como mínimo 10%, por un periodo de 15 minutos aproximadamente. El agua empleada en el lavado de los filtros es agua tratada proveniente de un tanque elevado.

En el fondo se encuentra el sistema de drenaje compuesto de tuberías perforadas que permiten la recolección del agua filtrada o la distribución de agua de lavado; la salida del efluente de los filtros se realiza mediante un canal rectangular que conduce a un canal recolector de agua filtrada para finalmente ser conducido a la cámara de contacto de cloro. Y por otro lado el agua de lavado es evacuado a la fuente de captación de la planta.

Diagnóstico de la unidad de filtración

La disposición de los lechos filtrantes utilizados es favorable porque al filtrar las partículas de mayor tamaño que provienen del afluente tienden a depositarse en la capa superior de antracita y las más finas en la capa inferior de arena. Con lo que la mayor parte del medio filtrante es aprovechada. Teóricamente el tamaño y el espacio libre de partículas de un medio filtrante debe variar uniformemente entre grueso y fino, en la dirección del flujo a través del filtro, con el fin de remover en la zona del medio grueso las partículas más grandes y en la zona de medio fino las partículas más finas. Así se

aprovecha mejor la longitud del medio filtrante, se incrementa la tasa de filtración y se mejore la calidad del efluente (Romero Rojas, 2000).

Por otro lado cuanto más tiempo esté operando el filtro la retención de sólidos ira aumentando a en las capas superiores lo cual conduce a grandes pérdidas de carga y poca penetración del floc por lo que es importante realizar retrolavados con frecuencia (Rodríguez, 2007).

Instituto Ecuatoriano de Normalización (2003) sugiere que cuando se utilizan lechos dobles, el espesor de la capa de arena será de 0.15 m a 0.3 m con las mismas características anteriores y sobre ella ira una capa de antracita con espesor de 0.4 m a 0.6 m. Por otra parte, la utilización de polielectrolito como coagulante en una dosis óptima conduce a apreciables beneficios en la calidad de agua tratada, las cuales son favorables para la operación de la cámara de filtración (Rodríguez, 2007).

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2000) menciona que debe preverse un lugar adecuado para el vertimiento de aguas de lavado y su tratamiento y reutilización si fuera el caso. Además, el agua tratada utilizada debe ser en lo posible la mínima cantidad. El porcentaje promedio mensual del consumo de agua tratada para el lavado de filtros debe ser máximo del 3%.

4.3.4 Tanque de contacto de cloro

El tanque de contacto de material de concreto armado. La cámara de contacto tiene por finalidad promover el tiempo de contacto necesario para permitir la acción bactericida del cloro con un máximo de eficiencia. En esta unidad se inyecta mediante difusores la dosis de cloro gas, está diseñado con tabiques de ida y regreso como se observa en la Figura 16-4 que permite retener la solución para un tiempo de contacto de 30 minutos y asegurar un máximo de eficiencia para la destrucción de microorganismos antes de que el flujo pase al tanque de almacenamiento o a la red de distribución.

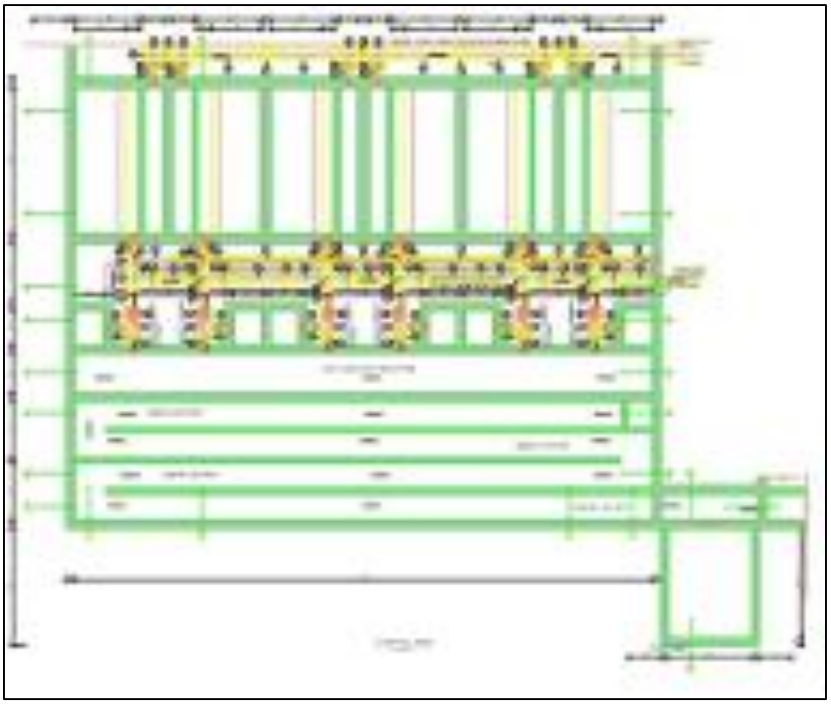


Figura 13-4. Tanque de contacto

Tabla 20-4. *Resumen de características del tanque de contacto*

Dimensiones	
Material de la unidad	Hormigón Armado
Ancho	4.1 m
Longitud	18.3 m
Profundidad	4.94 m
Ancho de cajón recolector de agua filtrada	1.7 m
Volumen de almacenamiento	370.64 m3

La forma del tanque de contacto y la buena ubicación de las pantallas son esenciales para un buen rendimiento hidráulico. Las entradas y salidas bien situadas también son importantes para reducir las zonas muertas y los cortocircuitos (CEPIS, 2006). El diseño de la cámara es semejante a un floculador hidráulico de pantallas para asegurar un mayor tiempo de retención. Se debe procurar que se permita un tiempo de contacto suficiente para garantizar una concentración de cloro residual de 0.3 a 1.5 mg/L que establece la norma INEN 1108.

4.3.5 Unidad de Desinfección

La planta de agua potable cuenta con un sistema de cloración de solución al vacío instalado en un edificio en donde se almacena seis cilindros con gas cloro presurizado de 1533 Kg de peso bruto y un peso neto de 907 Kg. En esta unidad se succiona el gas por medio de vacío generado en un inyector. Los componentes están conformados por un conjunto de componentes básicos como válvulas, tuberías, corlador, inyector o difusor que permiten hacer las conexiones necesarias para conducir el cloro al sitio de dosificación y para regular o suspender el suministro.

El efluente de los filtros se descarga en la cámara de contacto, en donde se aplica cloro gas en solución para la desinfección, se tiene calculado la dosis de cloro en función del caudal total medido al ingreso de la planta. Es así que la dosis establecida es de 1.3 a 1.5 Kg/h en el agua entrante para un tiempo de contacto de 30 min. Se llevan registros diarios de la dosis de cloro residual en el laboratorio de la planta. La instalación se encuentra en un lugar exclusivo bien ventilado. La planta no cuenta con una báscula plataforma que permita registrar la cantidad de cloro usada en la desinfección y la cantidad remanente en el cilindro.

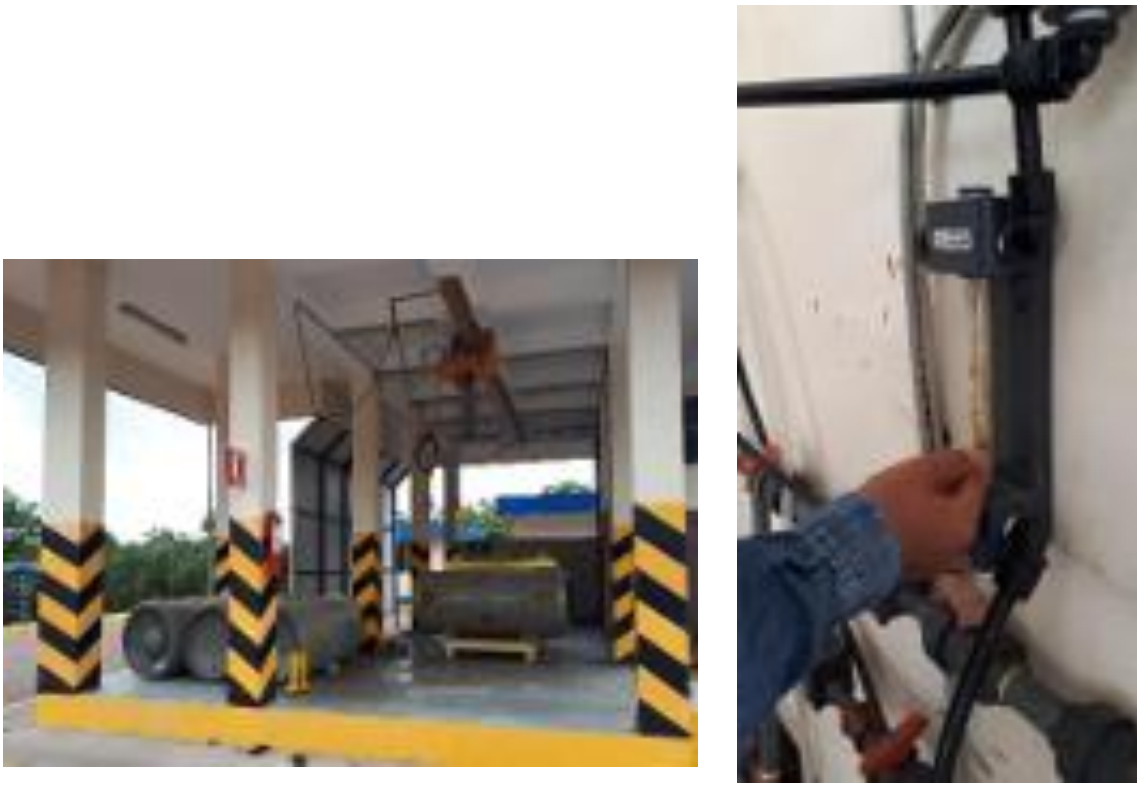


Figura 14-4. Edificio de desinfección

Diagnóstico dela unidad de desinfección

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2000) recomienda que para el control de la dosificación de cloro deben tenerse báscula plataforma o un sistema automático apropiado al tipo y cantidad de cilindros requeridos. Según CEPIS (2006) los cloradores de alimentación al vacío son más seguros y confiables que los cloradores a presión. Por ello, su uso está bastante extendido, a pesar de que necesitan suministro adicional de agua para su funcionamiento. Existen fugas de gas según versiones de los operadores y además no cuentan con un sistema de alarma de detección de gas cloro. Esto puede representar un peligro para la salud de los operadores.

4.3.6 Tanques de reserva

La planta cuenta con tres tanques de reserva equipado con medidores de nivel con sensores ultrasónicos y con dimensiones son 15.60 m de largo, 19.10m de ancho y 4.8 m de alto, de capacidad de 1000 m3 donde se almacena el agua tratada para ser distribuida a la población por medio de la red de distribución.



Figura 15-4. Tanque de reserva y medidor de nivel

Laboratorio de análisis de calidad de agua

El edificio de laboratorio se realizan diariamente las pruebas de calidad de agua, los operarios de PTAP, están a cargo de ejecutar los análisis confiables para la caracterización en las diferentes etapas de los procesos de producción y distribución de agua potable verificando el cumplimiento la normativa NTE INEN 1108 que establece los requisitos de calidad de agua potable.

4.4 Evaluación de los parámetros de calidad de agua mediante los reportes históricos de la PTAP

Los resultados de los análisis de calidad de agua realizados durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2020 se tabularon para calcular la media mensual, con la finalidad de verificar el cumplimiento con la norma INEN 1108 que establece los requisitos de calidad de agua potable.

4.4.1 Turbiedad

Tabla 21-4. *Reporte de análisis de turbiedad*

	Turbiedad			
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**	**Cumplimiento**
Octubre	47.24	5	0.33	Cumple
Noviembre	63.16	5	1.74	Cumple
Diciembre	59.7	5	0.37	Cumple

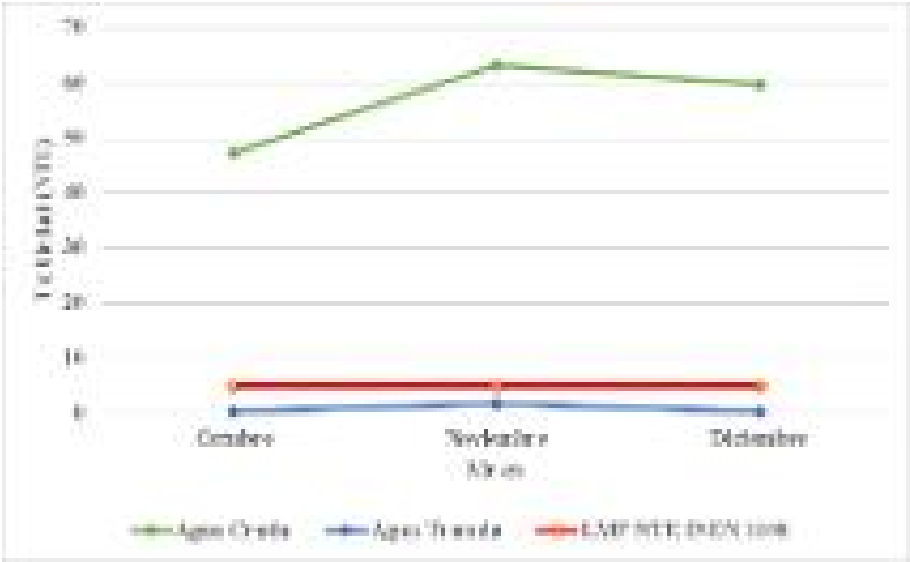


Figura 16-4. Comportamiento de la turbiedad

En la Figura 16-4 se puede apreciar la tendencia a aumentar la turbiedad en el agua cruda durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, en el mes de diciembre se muestra el valor más alto con 63.16 NTU. Probablemente esto se debe a los periodos de lluvia intensa que propiciaron a incrementar la turbiedad por el arrastre de sedimentos en la cuenca más alta y fenómenos erosivos. Por otra parte, en el agua tratada se puede observar que en el mes de noviembre presenta el valor más alto de 1.74 NTU en comparación con la norma INEN 1108 está dentro límites máximos permisibles para el consumo humano.

4.4.2 Conductividad

Tabla 22-4. *Reporte de análisis de conductividad*

	Conductividad		
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**
Octubre	94.28	-	84.4
Noviembre	76.31	-	77.76
Diciembre	66.12	-	69.16

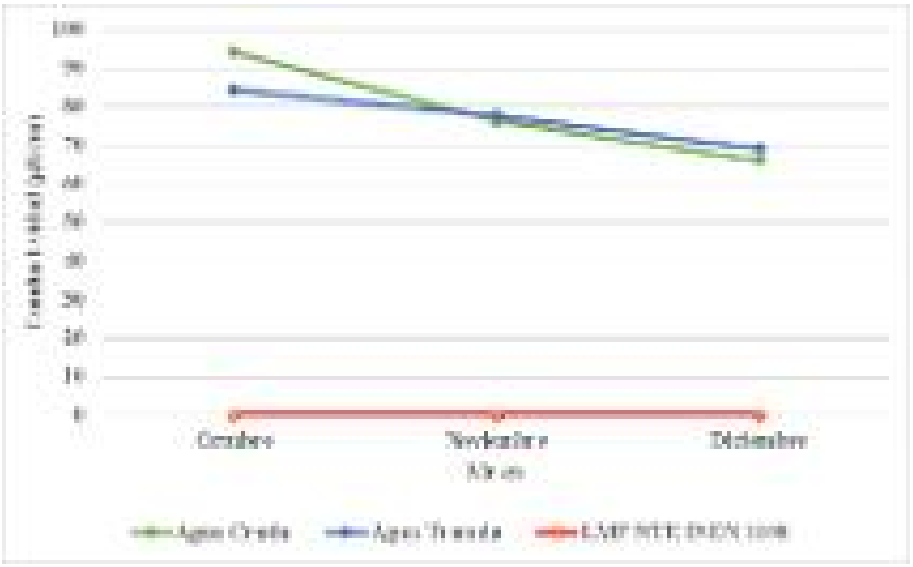


Figura 17-4. Comportamiento de la conductividad

En la Figura 17-4 se puede observar que la conductividad no varía significativamente, la variación mínima puede deberse a los polímeros agregados en el agua para los procesos de coagulación y floculación.

4.4.3 Sólidos totales disueltos

Tabla 23-4. *Reporte de análisis de sólidos totales disueltos*

	Sólidos Totales Disueltos		
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**
Octubre	39.27	-	40.75
Noviembre	33.33	-	36.9
Diciembre	32.38	-	32.88

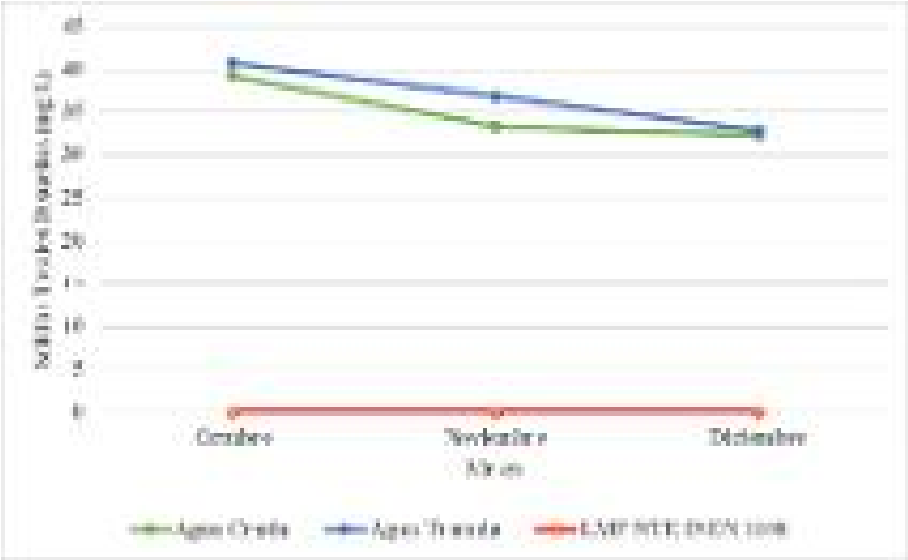


Figura 18-4. Comportamiento de los sólidos totales disueltos

En la Figura 18-4 se observa que los sólidos disueltos no varían significativamente esto puede deberse a la deficiente presencia del contenido de sales, minerales, metales y cualquier otro compuesto de origen orgánico o inorgánico menor a 1.5 micras. Por otro lado, hay que mencionar que la norma INEN 1108 no establece un límite máximo permitido para una cierta concentración de sólidos. La Agencia Protección Ambiental recomienda que el agua no exceda más de 500 mg/L de TDS para el agua de consumo humano porque puede generar efectos desagradables en el agua. En general se puede determinar con base a la media estadística del antes y después del tratamiento del agua que, no es eficiente la remoción de este parámetro.

4.4.4 Hierro

Tabla 24-4. *Reporte de análisis de hierro*

	Hierro			
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**	**Cumplimiento**
Octubre	0.52	0.3	0.02	Cumple
Noviembre	0.72	0.3	0.03	Cumple
Diciembre	1.05	0.3	0.07	Cumple

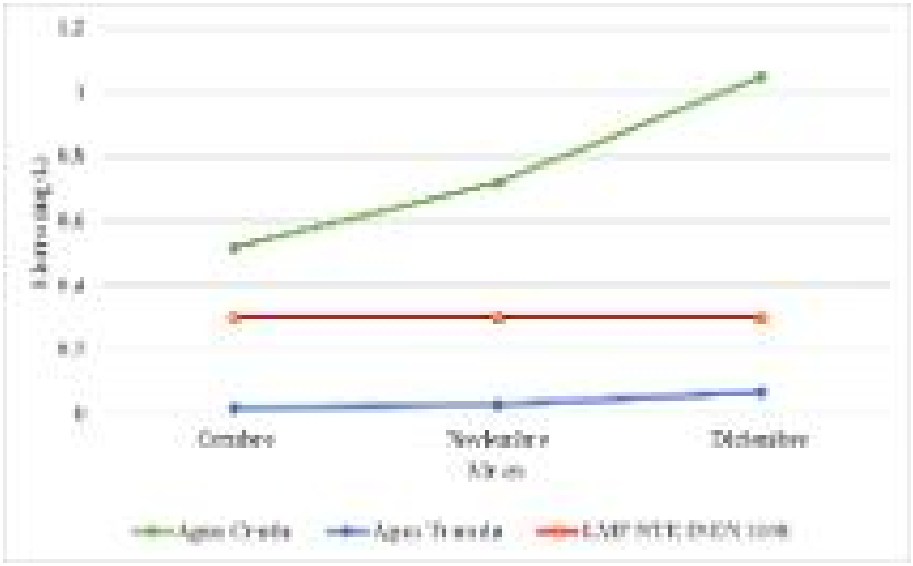


Figura 19-4. Comportamiento del hierro

Como se observa en la Figura 19-4 los resultados muestran diferencias significativas antes y después del tratamiento, la concentración de Hierro disminuye considerablemente en el agua tratada cumpliendo con los requisitos de calidad de agua que exige la norma INEN 1108. Esto se atribuye a la eficiencia principalmente en el proceso de aireación que interviene en la remoción de minerales como el Hierro y Manganeso.

4.4.5 Color Verdadero

Tabla 25-4. *Reporte de análisis de color verdadero*

	Color Verdadero			
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**	**Cumplimiento**
Octubre	118.57	15	5.19	Cumple
Noviembre	218.59	15	5.13	Cumple
Diciembre	244.43	15	3.61	Cumple

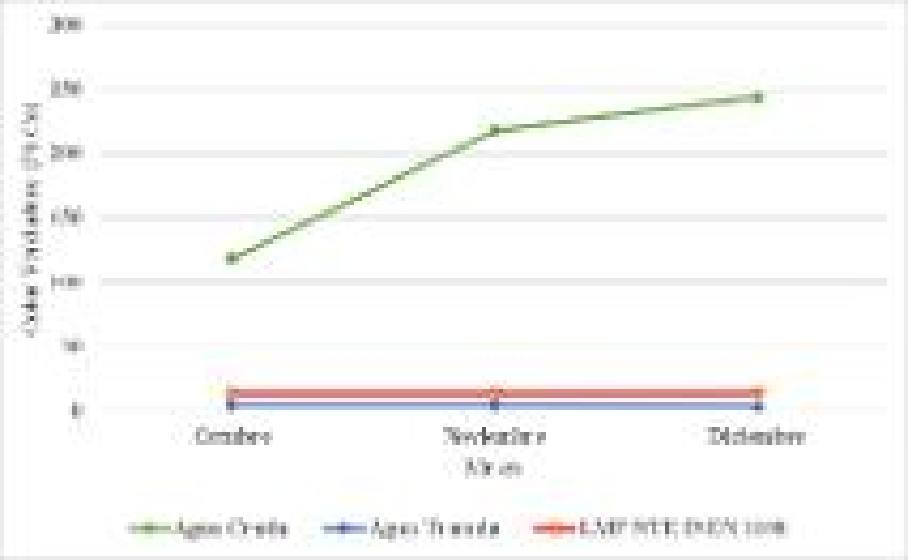


Figura 20-4. Comportamiento del hierro

En la Figura 25-4 se muestra que la cantidad de color verdadero en el agua cruda es apreciable esto se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos). Así mismo la presencia de minerales como el Hierro y otros metales que tienen gran influencia en el color del agua. Organización Mundial de La Salud (2018) menciona que la presencia de materia orgánica natural tiene la capacidad de reaccionar con el cloro produciendo subproductos de desinfección como los trihalometanos que puede generar efectos adversos a la salud. Sin embargo, los valores de color verdadero están dentro de los límites permitidos por la normativa INEN 1108.

4.4.6 Temperatura

Tabla 26-4. *Reporte de análisis de temperatura*

	Temperatura		
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**
Octubre	27.3	-	25.13
Noviembre	24.71	-	25.91
Diciembre	33.44	-	25.19

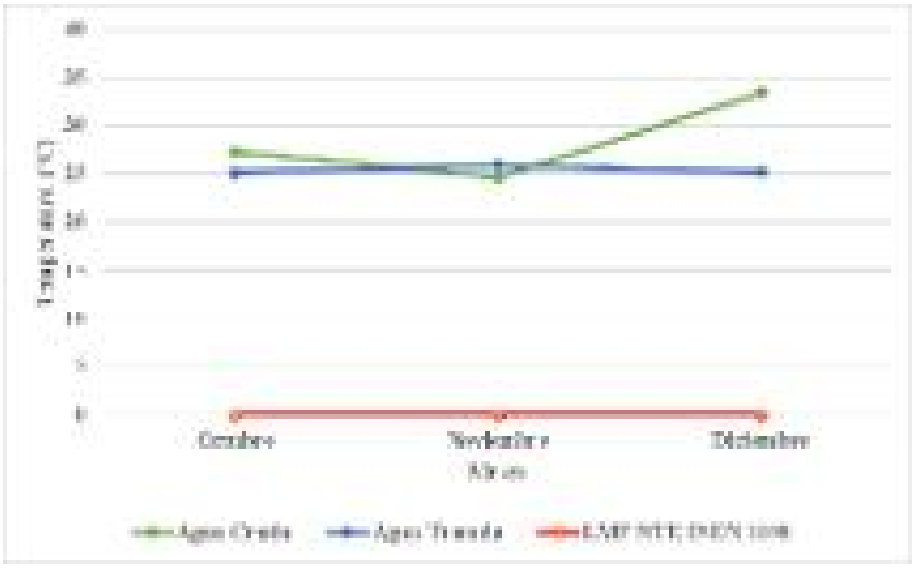


Figura 21-4. Comportamiento de la temperatura

Como se aprecia en la Figura 26-4 que la temperatura del agua tratada se mantiene constante durante los meses octubre, noviembre y diciembre con un promedio de 25.41ºC. Por otro lado, la temperatura del agua cruda registro el valor más alto en el mes diciembre de 33.44 ºC, mientras las más baja fue de 24.71 en el mes de octubre. De acuerdo con la Organización Mundial de La Salud (2018) menciona que las altas temperaturas repercutirá en la aceptabilidad de algunos compuestos y potencian la proliferación de microorganismos y puede aumentar problemas de sabor, olor y corrosión. Por otro lado, CEPIS (2006) argumenta que la temperatura es uno de los parámetros físicos del agua más importantes que influye considerablemente en los procesos de potabilización.

4.4.7 pH

Tabla 27-4. *Reporte de análisis del pH*

	pH			
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**	**Cumplimiento**
Octubre	7.24	6.5-7.5	7.18	Cumple
Noviembre	7.01	6.5-7.6	7.03	Cumple
Diciembre	7.13	6.5-7.7	8.03	No cumple

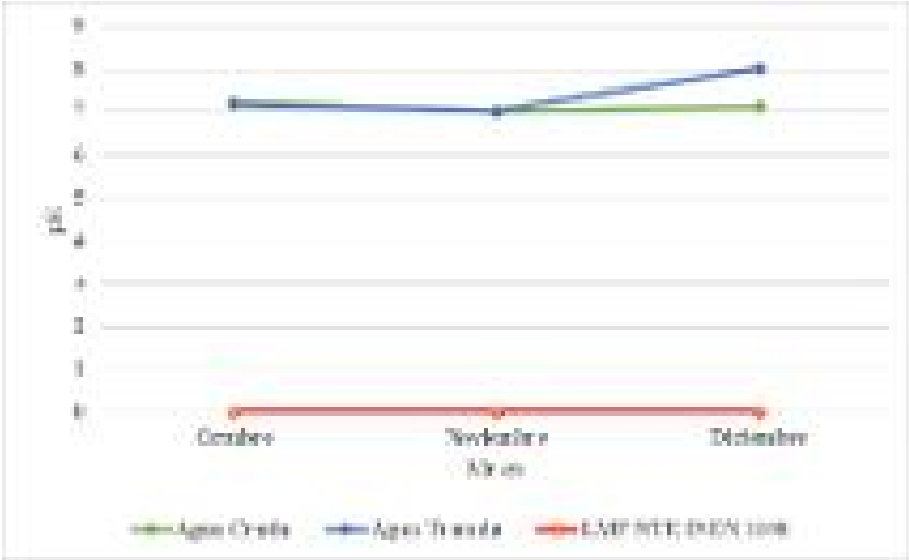


Figura 22-4. Comportamiento del pH

En la Figura 27-4 se muestra que el pH del agua tratada en el mes octubre y noviembre cumple con los requisitos de calidad de agua potable. Pero sin embargo en diciembre el pH registra un valor de 8.03 lo que sobrepasa los límites permitidos de la norma. CEPIS (2006) menciona que, aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, si puede influir en los procesos de tratamiento de agua potable, como la coagulación y desinfección.

4.4.8 Cloro Residual

Tabla 28-4. *Reporte de análisis de cloro residual*

Cloro Residual				
Meses	**Agua Cruda**	**LMP NTE INEN 1108**	**Agua Tratada**	**Cumplimiento**
Octubre	-	0.3-1.5	0.96	Cumple
Noviembre	-	0.3-1.5	0.89	Cumple
Diciembre	-	0.3-1.5	0.89	Cumple

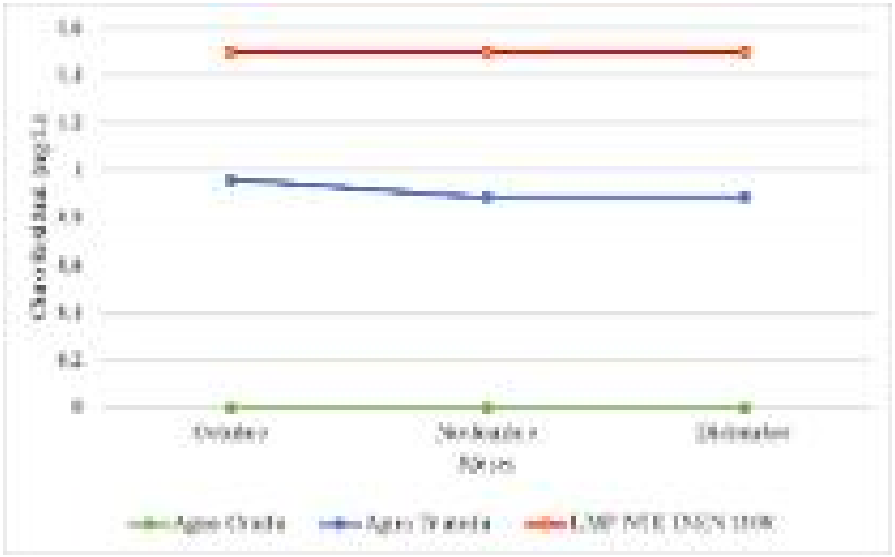


Figura 23-4. *Comportamiento del cloro residual*

En la Figura 28-4 se observa que las medias mensuales de la concentración de cloro residual cumplen con los límites máximos permitidos según la norma INEN 1108:2020.

4.5 Evaluación de los reportes de análisis de calidad de agua realizados en laboratorios externos

El reporte de los análisis de agua cruda realizados en el 2019, último año en el que se muestrea indica que todos los parámetros cumplen con los límites máximos permitidos establecidos en la norma INEN:1108:2020.

Tabla 29-4. *Reporte de los análisis de calidad de agua cruda*

Parámetros	Unidad	Resultados	Límite Máximo Permisible	Cumplimiento
Cloro libre residual	mg/L	0.33	0.3-1.5	Cumple
Color real	mg/L	< 15	-	-
Olor	mg/L	inobjetable	no objetable	Cumple
Sabor	mg/L	inobjetable	no objetable	Cumple
Floururos	mg/L	< 0.10	1,5	Cumple
Nitritos	mg/L	< 0.10	3	Cumple
Nitratos	mg/L	< 1	50	Cumple
Cloroformo	mg/L	0,009	0.3	Cumple
Bromodiclorometano	mg/L	< 0.001	0.06	Cumple
Dibromoclorometano	mg/C/L	< 0.001	-	-
Bromoformo	mg/L	< 0.001	-	-
Trihalometanos totales	mg/L	0,009	0.5	Cumple
Arsénico	mg/L	< 0.005	0.01	Cumple
Bario	mg/L	< 0.30	0.7	Cumple
Turbiedad	NTU	< 5	5	Cumple
Antimonio	mg/L	< 0.020	0.02	Cumple
Boro	mg/L	< 0.100	2.4	Cumple
Cadmio	mg/L	< 0.003	<0.003	Cumple
Cromo(total)	mg/L	<0.05	0.05	Cumple
Cobre	mg/L	< 0.20	2.0	Cumple
Mercurio	mg/L	< 0.002	0.006	Cumple
Níquel	mg/L	< 0.07	0.07	Cumple
Plomo	mg/L	< 0.01	0.01	Cumple
Selenio	mg/L	< 0.005	0.04	Cumple
Cianuro libre	mg/L	< 0.010	0.07	Cumple
HAPs-Benzo(a) Pireno	mg/L	< 0.0007	0.0007	Cumple
Coliformes fecales	ufc/100mL	< 2	Ausencia	Cumple

4.5.1 Análisis microbiológico de agua

Tabla 30-4. *Reporte de análisis microbiológico*

Registro de Análisis Microbiológico									
Nº	**Código**	**Fecha**	**Dirección**	**Tipo**	**CI(mg/I)**	**Parámetro**	**NTE INEN 1108**	**Cumplimiento**	**Resultados**
1	M1	08/03/2020	Muestra # 1 Agua SALVID	Tratada	0	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	0
2	M2	08/03/2020	Muestra # 2 Agua ARELIS	Tratada	0	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	0
3	M3	08/03/2020	Muestra # 3 Agua Bidon colegio	Tratada	0	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	0
4	M	11/03/2020	Muestra # 1 PG A C	Cruda	N/A	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	5
5	M	11/03/2020	Muestra # 2 Agua Tratada planta grande	Tratada	0.61	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	0
6	M	11/03/2020	Muestra # 3 AT. P6	Tratada	0.61	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	0
7	M1	13/03/2020	Muestra planta pequeña	Cruda	N/A	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	I/0
8	M2	13/03/2020	Muestra planta pequeña	Tratada	0.64	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	0
9	M3	15/03/2020	Muestra planta grande	Cruda	N/A	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	I/0
10	M4	15/03/2020	Muestra planta grande	Tratada	0.47	CT ufc/100 ml	<1	Cumple	0

Los parámetros analizados (turbiedad, conductividad, solidos totales disueltos, hierro, color verdadero, temperatura, pH, cloro residual, coliformes totales y fecales) disminuyeron progresivamente desde la sedimentación hasta la desinfección. En general, los parámetros físicos químicos y microbiológicos medidos en planta de tratamiento de agua potable cumplieron con lo establecido en la norma INEN 1108:2020.

4.5.2 Eficiencias de las etapas del proceso de potabilización

Para calcular la eficiencia en la remoción de los parámetros físico-químicos se tomó como base la fórmula de eficiencia basada en la turbidez de (Valencia, 2000). Las cuáles

fueron expresadas en porcentajes. A partir de los datos de los análisis de calidad de agua cruda se determinó la eficiencia de las unidades de sedimentación y filtración.

Sedimentación

Tabla 31-4. *Porcentaje de eficiencia del proceso de sedimentación*

	Sedimentadores					
	M1	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**
Octubre	95.89%	95.85%	95.85%	96.02%	95.27%	95.24%
Noviembre	97.1%	97.29%	71.58%	97.09%	96.63%	96.61%
Diciembre	96.62%	96.68%	96.83%	96.68%	96.08%	96.06%

En la tabla 31-4 se observa que la mayoría de las eficiencias en las unidades de sedimentación son mayores al 90% lo que indica que su eficiencia de remoción del parámetro de turbiedad es excelente. La eficiencia de un sedimentador debe ser como mínimo 85% en la separación de solidos sedimentables. Uno de los procesos que más afecta la eficiencia de los sedimentadores es la remoción de la turbidez y en la calidad de agua obtenida es el proceso de coagulación y floculación ya que una adecuada selección del coagulante y una eficiente dosificación del mismo genera una mayor cantidad de formación de partículas grandes en el floculador, para posteriormente ser eliminadas en el sedimentador (Guerrero Vejarano, Salazar Álvarez, & Paredes Salazar, 2018).

Filtración

Tabla 32-4. *Porcentaje de eficiencia del proceso de filtración*

	Filtros rápidos de arena y antracita					
	M1	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**
Octubre	80.93%	78.57%	75.51%	74.47%	77.13%	76.89%
Noviembre	87.98%	84.79%	98.05%	82.61%	49.77%	14.49%
Diciembre	83.16%	82.32%	81.48%	81.31%	84.19%	82.13%

Generalmente la filtración es el último proceso de remoción física y de organismos patógenos, por ende, se espera que cada unidad de filtración presente altos niveles de eficiencia en forma constante. En la Tabla 32-4 se observa que las eficiencias de las unidades de filtración en la mayoría de los casos se clasifican como buena entre 70-80% y muy buena 80-90%. Por el contrario, en los módulos cinco y seis en el mes de noviembre se puede evidenciar que las eficiencias son deficientes probablemente las unidades se encontraban colmatadas y necesitaban mantenimiento.

Variación de la turbiedad media mensual en los diferentes procesos

Tabla 33-4. *Variación de la turbiedad media mensual en cada proceso*

	Unidad	Octubre	Noviembre	Diciembre
Agua cruda	NTU	47.24	63.16	59.7
Sedimentación	NTU	2.04	1.9	2.1
Filtración	NTU	0.33	0.67	0.39
Desinfección	NTU	0.33	0.43	0.37

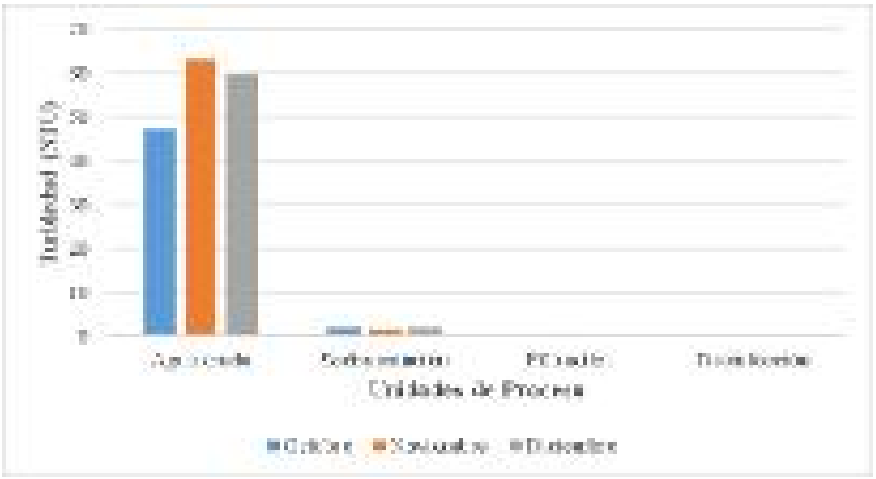


Figura 24-4. Comportamiento de la turbiedad en los diferentes procesos

Se puede observar en la Figura 24-4 que la turbiedad va disminuyendo gradualmente en cada uno de las etapas de los procesos de potabilización lo que demuestra una excelente eficiencia de los procesos de potabilización en la remoción de la turbiedad. Según la Organización Mundial de La Salud (2018) la turbidez del agua filtrada no debe ser superior a 1 NTU, preferiblemente inferior a 0.5 NTU. Mientras que la EPA(2020)

recomienda un valor de 0.5 NTU. Recientes investigaciones de la EPA recomiendan utilizar la turbiedad como índice para determinar la presencia de huevos, los filtros deben producir agua con menos de 0.1 NTU.

Variación de la concentración de hierro media mensual en los diferentes procesos

Tabla 34-4. *Variación de la concentración de hierro media mensual en cada proceso*

	Unidad	Octubre	Noviembre	Diciembre
Agua cruda	mg/L	0.52	0.68	1.05
Sedimentación	mg/L	0.3	0.17	0.04
Filtración	mg/L	-	0.37	0.05
Desinfección	mg/L	0.02	0.05	0.07

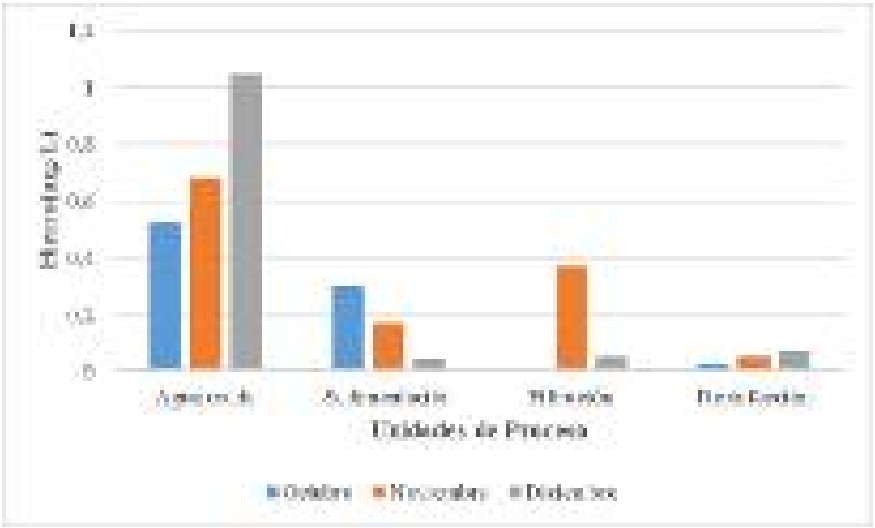


Figura 25-4. Comportamiento del hierro en los diferentes procesos

En la Figura 25-4 se muestra que la concentración de hierro va disminuyendo progresivamente en las diferentes unidades de proceso. En el mes de noviembre se aprecia en la gráfica que la concentración de hierro aumenta en la unidad de filtración esto puede deberse a que las unidades en ese momento necesitaban mantenimiento. Por otro lado, en el mes diciembre se observa que en la última etapa de desinfección hay un ligero aumento

que no es considerable. Sin embargo, cumple con límites permisibles que establece la norma INEN 1108.

4.5.3 Propuestas de mejoras

En base a los resultados y al diagnóstico final obtenidos, se plantea la aplicación de propuestas de optimización y mejora de los procesos evaluados en la PTAP descritas en la Tabla 35-4.

Tabla 35-4. *Descripción de alternativas de mejoras*

Unidad/ proceso	Problema	Consecuencia	Propuesta de solución	Objetivo
Aireación	Los anillos pall ring están deteriorados Presencia de algas y lamas biológicas	Reducción en la eficiencia de la remoción de minerales y compuestos orgánicos volátiles	Reposición de anillos pall ring o el uso de carbón vegetal o piedra pómez. Limpieza frecuente con agua tratada con una dosis mayor de cloro o la aplicación de sulfato de cobre	Mejorar la eficiencia en la remoción de Hierro y Manganeso y compuestos volátiles.
Mezcla rápida	El punto de dosificación no es la adecuada y no se distribuye a lo largo del canal El régimen de flujo no es el adecuado en el resalto hidráulico.	La mezcla de polímeros no es homogénea	Instalar una tubería de 1 pulgada con orificios de 0,5 pulgadas a lo largo de la tubería. Rediseño de canal de mezcla rápida	Mejorar la dosificación para que la mezcla sea uniforme Mejorar la distribución del flujo para garantizar una mejor aglomeración de partículas
Floculación	El espacio entre las pantallas no es uniforme. Los lodos son evacuados al desagüe Los lodos residuales son enviados al desagüe para evacuarlos en el río.	Generación de cortocircuitos y gradientes de velocidad elevados Contaminación de los cuerpos hídricos Contaminación de los cuerpos receptores.	Distribuir mejor el número de compartimentos en el floculador Disponer de un sistema de tratamiento de lodos por lechos de secado Disponer de un sistema de tratamiento lodos	Reducir los cortocircuitos del agua y mejorar la elección de valores adecuados para los gradientes de velocidad para se aumenta la eficiencia del proceso y se reduce el tiempo necesario de floculación

		Sanción por parte del MAE por incumplimiento de la normativa ecuatoriana 097-A	por lechos de secado para deshidratarlos y aprovecharlos como acondicionadores de suelo o para disponerlos en el relleno sanitario	Tratar lodos residuales mediante de lechos de secado para reducir la contaminación de los cuerpos hídricos.
Sedimentación	Los módulos están deteriorados en la superficie por el peso que ejercen los operadores al realizar el mantenimiento.	Generación de cortocircuitos en el agua	Colocar tablas de madera a lo largo del sedimentador cuando se realizan mantenimientos para reducir el deterioro de los módulos	Reducir el deterioro de los módulos y prolongar su vida útil
Filtración	Las descargas de aguas de lavado son vertidas al cuerpo receptor. El control de volumen de agua gastada en el lavado de filtros no se realiza	Conducen al aumento de carga microbiana y al riesgo de contaminación microbiana patógena	Reutilizar agua de lavado de filtros Registrar un control de volumen gastado de agua de lavado de filtros para garantizar un ahorro en el consumo.	Reutilizar el agua de lavado de filtros para reducir su desperdicio y la contaminación de los cuerpos hídricos.
Desinfección	Existe escape de cloro y no cuenta con un sistema de detección de cloro gas. No cuenta con una báscula para medir la cantidad de cloro consumida. Debe realizarse continuamente una inspección visual y/o por medio de equipos técnicos de todo el sistema de operación	Riesgos de intoxicación de los operadores. No se puede determinar el contenido de cloro remanente en el cilindro. Puede afectar la calidad de agua cruda porque el contenido de cloro gas se podría agotarse sin percatarse el operador.	Instalar un sistema de alarma de detección de fugas de cloro gas Debe proveerse de extractores que brinden seguridad en momentos críticos como fugas de reactivos químicos. Instalar una báscula para medir la cantidad de cloro que se está dosificando y poder determinar el momento en que quedan vacíos Utilizar equipo de protección personal para evitar riesgos a la salud de los operadores. Como mascara facial, con filtro B2, guantes y ropa de trabajo con protección química	Mejorar el sistema de dosificación de cloro y reducir riesgos laborales.

5 CONCLUSIONES

- A través de la evaluación se constató deficiencias que presenta en el diseño y operación de los procesos de potabilización que deben mejorarse con la finalidad de garantizar un agua segura y de calidad para los consumidores.
- Se determinó que el agua producida cumple con los de parámetros físicos químicos y microbiológicos que establece la norma INEN 1108:2020 para el agua de consumo humano. Sin embargo, aunque el agua tratada cumple actualmente con la normativa vigente las deficiencias encontradas de la planta de agua potable podría causar efectos indeseados a largo plazo en la calidad de agua cruda lo cual implicaría insatisfacción en el bienestar de los consumidores de la población de Lago Agrio.
- Las propuestas de mejoras están enfocadas a optimizar la producción de la PTAP solventado las deficiencias encontradas en la evaluación, dichas propuestas ayudaran a garantizar la eficiencia de los procesos de potabilización.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda capacitar a los operarios de la PTAP de forma continua y obligar a los operarios el uso de equipos de protección personal. Esto permite garantizar una mejor operación de los procesos y prevenir riesgos de salud a los operarios.

- La frecuencia de la prueba de jarras no está establecida, se recomienda realizarla todos los días para identificar las características del agua y así establecer la dosis correcta de coagulación y floculación.

- Es necesario instalar un sistema de alarma que detecte las fugas de gas cloro y una báscula para controlar el contenido de gas cloro que se consume y evitar interrupciones en la dosificación.

- Actualmente la disposición de lodos de la PTAP representa un problema medio ambiental por tal motivo con el fin de cumplir con la normativa ambiental vigente

se recomienda realizar un estudio de factibilidad para la instalación de un tratamiento lodos mediante lechos de secado en la PTAP para evitar sanciones por el incumplimiento del numeral 4.2 donde establece los criterios generales para la descarga de efluentes del Libro VI Anexo 1 del TULSMA. Por otro lado, esto permitirá reducir la contaminación de los recursos hídricos atribuidas por las descargas de lodos procedentes de las unidades de tratamiento.

- Llevar un registro de todo lo que se realice en la planta, permitiéndoles conocer el estado de cada unidad de tratamiento.

- Monitorearse constantemente los parámetros físico-químicos y microbiológicos para verificar que todos estén dentro del límite establecido en la Norma INEN 1108:2020.

- Se debe procurar ahorrar el consumo de agua tratada para el lavado de filtros, en lo posible ser máximo 3% del promedio mensual del consumo de agua tratada.

- Para evitar la pérdida innecesaria de agua evacuada en cada proceso de lavado, se recomienda la implementación de un sistema de recirculación que reduzca el desperdicio de agua e incremente la producción de la planta, reintegrando este caudal a la etapa de filtración

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros Enriquez, L. (2017). *Evaluación de los procesos de potabilización de la planta de Chilibulo – EPMAPS Quito y propuesta de optimización*. Escuela Politécnica Nacional.

CEPIS. (2006). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. In *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente*. Retrieved from http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2007). Diseño de plantas potabilizadoras de tipo de tecnología simplificada. In Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.), *Manual De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento*. México, D.F. Retrieved from http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11DisenoDePlantasPotabilizadorasTipoDeTecnologiaSimplificada.pdf

CONAGUA. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Manual de Agua Potable. Evaluación Rápida de Plantas Potabilizadoras* (Comisión N; B. A. Ruiz Cortines, Ed.). México, D.F.

EPA. (2020). *EPA Water Treatment Manual Filtration*. Ireland. Retrieved from https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/EPA_water_treatment_manual_filtration1.pdf

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, & Organización Mundial de la Salud. (2019). *Progresos en materia de agua para consumo, saneamiento e higiene en los hogares: 2000-2017. Las desigualdades en el punto de mira.* New York.

García-Ávila, F., Zhindón-Arévalo, C., Álvarez- Ochoa, R., Donoso-Moscoso, S., Tonon-Ordoñez, M. D., & Flores del Pino, L. (2020). Optimization of water use in a rapid filtration system: A case study. *Water-Energy Nexus*, *3*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.03.005

Guerrero Vejarano, T. E., Salazar Álvarez, J. C., & Paredes Salazar, J. L. (2018). Eficiencia De Un Sedimentador Laminar Y Convencional Para Eliminar Sólidos. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *84*(3), 336–349. https://doi.org/10.37761/rsqp.v84i3.194

Heney, J. G., & Heinke, G. W. (2013). Ingeniería Ambiental. In P. E. Roig (Ed.), *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia* (2a. Ed.). México, D.F.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes. , Norma Tecnica Ecuatoriana NTE 176 § (2003).

Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108. , Instituto Ecuatoriano de Normalización § (2014). Ecuador.

John C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, David W. Hand, K. J. H. and G. T. (2017). *MHW´s Water Treatment* (2nd editio). New Jersey.

Lozano, A. W., & Lozano, G. (2015). *Potabilización del Agua: principios de diseño, control de proceso y laboratorio* (2nd ed.; U. P. DE COLOMBIA, Ed.). Bogotá.

Mackenzie, D. (2017). *Water and Wastewater Engineering. Design Principes and Practice* (Layne-Nort; G. and Hansen, Ed.). Detroit.

MAE. *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI.* , (2015). Ecuador.

Marín Galvín, R. (2015). *Fisioquímica y microbiología de los medios acúaticos.* (1a Edición; S. Diaz, Ed.). Madrid.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Basico (RAS) Titulo C. , Dirección de Agua Potable y

Saneamiento Básico § (2000). Bogotá.

Organización Mundial de La Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano. In *Organización Mundial de la Salud* (4th ed.). Ginebra. Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Orozco, C., Pérez, A., González, M. N., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2016). Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. In Thomson Editores Spain (Ed.), *Ediciones Paraninfo* (Parainfo,). Madrid. Retrieved from http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v12n20/v12n20a07

Piña Fernández, J. A., & Ochoa Ochoa, I. J. (2019). *Evaluación hidráulica-sanitaria de la planta de tratamiento de agua potable del cantón El Tambo- Caña*. Retrieved from http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32501

Qian, Y., Hu, Y., Chen, Y., An, D., Westerhoff, P., Hanigan, D., & Chu, W. (2020). Haloacetonitriles and haloacetamides precursors in filter backwash and sedimentation sludge water during drinking water treatment. *Water Research*, *186*, 116346. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116346

Rodríguez, D. C. (2007). *Abastecimientos y Saneamientos Urbanos*. Madrid.

Romero, J. (2012). *Potabilización del agua* (3a.edición, Vol. 1; S. A. de C. . ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, Ed.). México. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Romero, J. A. (2009). *Calidad del Agua* (3a Edición; E. C. de Ingeniería, Ed.). Bogotá.

Romero Rojas, J. A. (2000). *Potabilización del agua* (3rd ed.; S. Alfa Omega Grupo

Editor, Ed.). México, D.F.

Salamanca, E. (2017). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, *17*(1), 29–48. https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02

Sawyer, C., Perry, L., & MacCarty, G. (2001). *Química Para Ingeniería Ambiental* (4th ed.; MC Graw Hill, Ed.). Bogotá.

SENAGUA. Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural. , Secretaria del Agua § (2016).

Sierra, C. A. (2011). Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico. In L. D. López (Ed.), *Universidad de Medellín* (1a Edición). Bogotá. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Spellman, F. R. (2016). Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations. In L. PUBLISHERS (Ed.), *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations* (3rd Ed.). New York: A CRC Press Company. https://doi.org/10.1201/b15579

Valencia, J. A. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Tercera ed; R. Pertuz Molina, Ed.). Santa Fe de Bogotá.

Vázquez López, C. M., Germán, M. B., García, H. A., & Carrillo Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales : Principios , modelación y diseño* (1a Edición; IWA Publishing, Ed.). Londres.

8 ANEXOS



Anexo 1. Unidad de mezcla rápida



Anexo 2. Torre de aireación



Anexo 3. Unidad de Floculación



Anexo 4. Bodega de químicos



Anexo 5. Recuento de coliformes totales



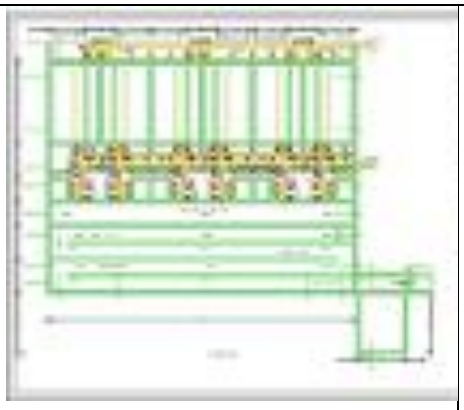
Anexo 6. Edificio de Cloración



Anexo 7. Reporte de análisis de agua en laboratorio de la Planta



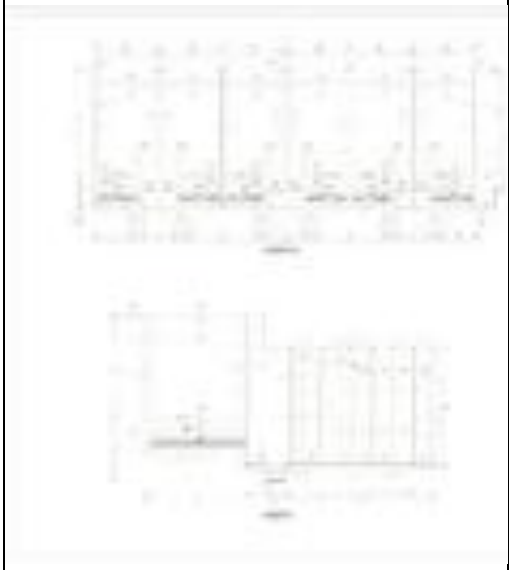
Anexo 8. Reporte de análisis de agua en laboratorio externo



Anexo 9. Plano de tanque de contacto



Anexo 10. Plano de sedimentadores



Anexo 11. Plano de la unidad de Floculación



Anexo 12. Plano general de la planta de agua potable