

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO Y  
CALIDAD DE AGUA POTABLE DE LAS CIUDADES AMBATO Y TENA,  
ECUADOR.

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

**Máster en Ingeniería Civil con mención en Construcción y  
Saneamiento**

Presentado por:

José Luis, Rodríguez Peñarreta

Rafael Enrique, Paredes Rodríguez

GUAYAQUIL - ECUADOR

2021 – 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato y al GAD. Municipal del Tena, así como los profesionales de las distintas instituciones que nos proporcionaron su apoyo en el desarrollo de esta investigación

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *José Luis Rodríguez Peñarreta, Rafael Enrique paredes Rodríguez*, y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Autor

---

Autor

# EVALUADORES

.....  
**Ing. Nadia Quijano MSc**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Ing. Cristian Salas MSc**

PROFESOR TUTOR

.....  
**NOMBRE**

REVISOR EXTERNO

# **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DE AGUA POTABLE DE LAS CIUDADES AMBATO Y TENA, ECUADOR.**

**AUTORES:** José Luis Rodríguez Peñarreta<sup>1</sup>, Ing. Rafael Enrique Paredes Rodríguez<sup>2</sup>  
*ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil, Ecuador*  
*E-mail: [joropena, rafenpar]@espol.edu.ec*

## **RESUMEN**

Este artículo contiene el análisis comparativo de la calidad de agua realizado entre tres plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) de la ciudad de Ambato, Tungurahua y una PTAP de la ciudad de Tena, Napo. Las tres primeras abastecen de agua a un 90% de Ambato, y la otra en 100% a Tena, ambas de Ecuador. El estudio se enfoca en algunos aspectos: Analizar los parámetros físico-químicos y microbiológicos, en las fuentes de captación; en las redes de distribución; los procesos y operaciones en las PTAP; y, la capacidad económica y administrativa. Con esta información se elaboró los Índices de Calidad del Agua (ICA), comprobar si los análisis de calidad brindados por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP EMAPAA) y el Municipio del Tena, cumplen con la norma Tulsma e INEN 1108, que son las que regulan y controlan la calidad del agua de la fuente y los parámetros de calidad en la potabilización. Como resultado las PTAP de Ambato en eficiencia alcanza un 80%, mientras que el tena 30%. Además EP EMAPAA en la parte administrativa y económica ha demostrado tener una influencia notable en el desempeño de las PTAP en sus procesos y operaciones con 550 servidores públicos vs el departamento de agua del GAD Tena 15 servidores públicos. Otro resultado importante es la bitácora de control de calidad que lleva la empresa pública con ninguna del departamento de agua de tena. Finalmente se concluye que las PTAP de Ambato son de excelente calidad con respecto a una PTAP de baja calidad de la ciudad de Tena, considerando que todas las PTAP son de tratamiento convencional.

**Palabras clave:** Captación, Potabilización, Sistemas convencionales, Control de calidad, Índice de Calidad del Agua.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF DRINKING WATER TREATMENT AND QUALITY PLANTS IN AMBATO AND TENA CITIES, ECUADOR

## ABSTRACT

This article contains a comparative analysis of water quality carried out between three drinking water treatment plants (PTAP) in the city of Ambato, Tungurahua and one PTAP in the city of Tena, Napo. The first three supply water to 90% of Ambato, and the other 100% to Tena, both from Ecuador. The study focuses on some aspects: Analyze the physical-chemical and microbiological parameters, in the catchment sources; in distribution networks; the processes and operations in the PTAP; and, economic and administrative capacity. With this information, the Water Quality Indexes (ICA) were elaborated, to verify if the quality analyzes provided by the Municipal Public Company of Potable Water and Sewerage of Ambato (EP EMAPAA) and the Municipality of Tena, comply with the Tulsma e INEN 1108, which are the ones that regulate and control the quality of the water from the source and the quality parameters in potabilization. As a result, the PTAP of Ambato in efficiency reaches 80%, while he had 30%. In addition, EP EMAPAA in the administrative and economic part has shown to have a notable influence on the performance of the PTAP in its processes and operations with 550 public servants vs. the water department of the GAD Tena 15 public servants. Another important result is the quality control log kept by the public company with none of the Tena water department. Finally, it is concluded that the PTAP of Ambato are of excellent quality with respect to a PTAP of low quality in the city of Tena, considering that all the PTAP are of conventional treatment.

Keywords: Catchment, Purification, Conventional systems, Quality control, Water Quality Index.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT .....	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE GENERAL .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	6
CAPÍTULO I: .....	¡Error! Marcador no definido.
1 INTRODUCCIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
2 ANTECEDENTES .....	8
3 PROBELAMA A RESOLVER.....	10
4 OBJETIVOS .....	10
4.1 Objetivo General.....	10
4.2 Objetivo Espeífico.....	10
CAPÍTULO II: .....	¡Error! Marcador no definido.
METODOLOGIA.....	¡Error! Marcador no definido.1
1.1 Materiales y Metodos.....	¡Error! Marcador no definido.1
1.2 Operaciones en los Sistemas.....	14
1.3 Procesos en los sistemas.....	17
CAPÍTULO III: .....	¡Error! Marcador no definido.9
RESULTADOS Y ANALISIS .....	¡Error! Marcador no definido.9
3.1 Fuentes de Ingreso .....	¡Error! Marcador no definido.9
3.2 Redes de Distribución.....	23
3.3 Resumen Comparativo.....	27
3.4 Administrativo.....	28
4 Conclusiones .....	¡Error! Marcador no definido.0
5 Recomendaciones .....	¡Error! Marcador no definido.2

<b>6 Bibliografía .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.2</b>
<b>7 Anexos.....</b>	<b>35</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diferencias de características físicas de las PTAP.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 1a Fuentes de ingreso 2020. ....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 1b. Resultados ICA ingreso .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2a. Fuentes de ingreso 2021(Muestra) .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2b. Resultados ICA ingreso 2021.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3. ICA fuentes de ingreso 2020 – 2021 .....	22
Tabla 4. ICA Fuentes de ingreso 2020 Colonso.....	23
Tabla 5a. Muestra Redes de Distribución.....	25
Tabla 5b. ICA Redes de Distribución 2020.....	25
Tabla 6a. Muestra Redes de Distribución 2021.....	25
Tabla 6b. ICA Redes de Distribución 2021.....	25
Tabla 7. ICA Resumen Redes de Distribución 2020 – 2021.....	25
Tabla 8. ICA Redes de Distribución 2020 .....	27
Tabla 9. ICA 2020-2021 .....	28

## ÍNDICE DE GRAFICAS Y FIGURAS

Figura 1 Procesos de tratamiento de agua potable .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 2 Tren de Tratamiento de la PTAP.....	16
Grafico 1 ICA Fuente de ingreso 2020 – 2021 .....	23
Gráfico 2 Parámetros de calidad 2020.....	26
Gráfico 3 Parámetros de calidad 2021.....	27
Gráfico 4 ICA 2020-2021 Parámetros de calificación.....	29

## CAPITULO I:

### 1. INTRODUCCIÓN

El 70% de la tierra está ocupado por agua, y del referido porcentaje el 98% es salada. Cercano al 2% del agua dulce está disponible en las zonas polares y en acuíferos, por lo tanto, apenas el 0,014% se encuentra en lagos y ríos en el área terrestre del globo terráqueo (Ortiz et al., 2018). En países de América Latina y el Caribe, el tema de saneamiento no ha sido lo esperado. En los últimos 50 años el crecimiento poblacional ha aumentado hasta un 55% en las zonas urbanas, según datos de las Naciones Unidas y la CEPAL. (Ortuste, 2014). Por tal motivo la prevención del agua cruda mediante políticas que permitan conservar las fuentes de captación reduciría el costoso tratamiento de agua para uso de consumo humano (Chulluncuy-Camacho, 2011). Además de disponer plantas de tratamiento de agua con un sistema, estructuras y procesos que garanticen el uso para el consumo humano (Karol Briñez, Juliana Guarnizo, 2012).

La presencia o aumento de microorganismos en el agua se debe a cambios en el medio ambiente y en la población, crecimiento industrial, pobreza, y la disposición inadecuada de excretas humanas y animales.(Ríos-Tobón et al., 2017). Por tal motivo el agua proveniente de diferentes fuentes de abastecimiento presenta distintas características físicas y microbiológicas, como consecuencia los reactivos químicos no funcionan con la misma eficiencia (Francisco & ., 2010). Es así que una planta de tratamiento de agua potable es un sistema creado para perfeccionar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda, de tal forma que sea posible su uso y aprovechamiento en diversos aspectos de la población social (ARRIETA LOZANO, 2019).

El desafío en la actualidad es el control de calidad del agua, que se define como el vinculado de actividades a cargo de un administrador, con el objetivo de comprobar que las características del agua suministrada al consumidor sea segura (CARVALHO et al., 2020). Que según (Lopez Cualla, 2007) las PTAP convencionales que utilizan procesos, y operaciones como sedimentación, coagulación, floculación, filtración, y desinfección, son usados para la potabilización del agua cruda, provenientes de diferentes fuentes. Por lo

que es importante que el líquido vital para los seres humanos y animales dispongan de este recurso en condiciones que permita el uso y consumo (Vázquez, 2016). Es aquí que para un control en la calidad es necesario considerar un rango amplio de parámetros para el cálculo del ICA, para obtener un resultado satisfactorio de resultados (Reyes Cristian, 2017).

Finalmente, en el Ecuador, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) es la entidad pública encargada de la regulación y control del agua, a través de las normativas locales, otorgando la viabilidad técnica con base a criterios técnicos de diseño, tecnología en agua potable y aguas residuales. (SENAGUA, 2008a) (SENAGUA, 2008b). Además (Arellano & , Andrés Bayas , Antonio Meneses, 2018) indica que para diseños de poblaciones menores a 150000 habitantes, el caso de la PTAP del Tena, la norma INEN 005-9-1 (INEN, 1992), que fue elaborada en los años 70, no ha recibido actualizaciones importantes hasta ahora. Por otra parte las dotaciones para las poblaciones están dadas en función de su clima; frío, templado o cálido (SENAGUA, 2008b; UNACH, 2018). Concluyendo el control de calidad de agua es garantizar al consumidor sustancias no tóxicas, ni microorganismos patógenos que perjudiquen la salud (IEOS, 1992).

## **2. ANTECEDENTES**

La ciudad de Ambato, capital de la provincia de Tungurahua tiene una población de 465200 habitantes a diciembre del 2020, de acuerdo con la información relevada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo INEC. Actualmente la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato EP- EMAPAA, es la encargada de desarrollar, mantener y operar la infraestructura instalada para la dotación de servicios básicos de agua potable y alcantarillado de la ciudad, a la cual se le entrega un caudal de 785 l/s. En Ambato existen 90000 usuarios para el 2022 y necesitarán un caudal de 1080 l/s. (Emapa, 2022).

La EP- EMAPA-A cuenta con 550 servidores públicos aproximadamente en los siguientes departamentos: Administrativo central, Operación y Mantenimiento, Gestión de Proyectos e infraestructura, Financiero, Jurídico, encargada de Administrar las siguientes PTAP:

Apatug, Casigana, Tilulum, Santa Marianita, con caudales de 280l/s, 250l/s, 235 l/s, 20 l/s, respectivamente. La tarifa de los servicios hidrosanitarios se la maneja en dos categorías: Residencial y Comercial, en un rango de 0 a 10 m<sup>3</sup>, se cobra 3.48 USD y 10.35 USD, respectivamente. EP- EMAPA-A., tendrá un presupuesto 2022 de aproximadamente 45 millones de dólares. (Emapa, 2022)

Por otra parte, la ciudad de Tena, capital de la provincia de Napo tiene una población de 60880 habitantes según el censo poblacional 2010. El Gobierno autónomo Descentralizado Municipal de Tena, dentro de su organización institucional cuenta con la Dirección de Agua y Alcantarillado, que está conformada por la Unidad de Agua Potable, Alcantarillado y Comercialización con un total de 15 servidores públicos entre personal Directivo, Técnico, Administrativo y obreros. La PTAP produce 280 l/s, y el costo del metro cubico de agua producida para los usuarios de uso doméstico tiene un costo mínimo de 0,075 USD por m<sup>3</sup> y dependiendo de la categoría aumenta su costo. Esto se debe a que la planta de tratamiento de agua ubicado en la Parroquia Muyuna sector el Coloso que está al servicio de la ciudad de Tena no genera confianza para el consumo humano, y simplemente se usa para servicios básicos, por ello es el bajo costo, (GAD TENA, 2022)

Para el desarrollo de esta investigación, se escogieron 3 plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, y una en Tena, provincia de Napo, país Ecuador, para determinar el proceso se utilizaron el ICA, para evaluar la eficiencia, y también la operación, además saber si cumplen con la Norma INEN 1108, para finalmente hacer un control de calidad en los procesos físicos, químicos y bacteriológicos en las fuentes de ingreso. Por lo que se va a comparar los parámetros de calidad al ingreso de caudal en la captación y en la salida después de la depuración en las plantas de tratamiento de agua potable, bajo la normativa ecuatoriana INEN 1108, con el fin de garantizar el consumo humano, tomando en cuenta factores como accesibilidad, ubicación, forma de administración y presupuesto.

### **3. PROBLEMA A RESOLVER**

En el Ecuador un grave problema que siempre ha existido y que está presente en la actualidad es la mala calidad de agua que se brinda al consumidor final, debido que desde el gobierno central, gobiernos autónomos descentralizados y juntas de agua, no lo han considerado, tal vez sea por la falta de recursos, mala administración o por los diseños de las PTAP. Por este motivo se ha desarrollado la presente investigación, que consiste en realizar un análisis comparativo de las plantas de tratamiento y calidad de agua potable de las ciudades Ambato y Tena, cantones pertenecientes al centro y sierra y en el oriente ecuatoriano. Se efectuara algunas visitas técnicas in situ de las PTAP. En la ciudad de Ambato se optó por Apatug, Casigana y Tilulum, mientras que en la ciudad del Tena fue la PTAP de Colonso. Con el objetivo de realizar un análisis comparativo en sus procesos y operaciones, mediante resultados de distintos parámetros obtenidos en el laboratorio de las fuentes de ingreso a la captación y las redes de distribución, para establecer con ayuda del ICA el tipo de calidad, y de obtener la eficiencia, desempeño de cada una de las PTAP. Para finalmente comparar su forma de administración, mantenimiento y operación.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1Objetivos General**

Analizar y comparar las plantas de tratamiento y calidad de agua potable de las ciudades Ambato y Tena, para determinar si cumplen con la norma Tulsma e INEN 1108, y medir su eficiencia operativa y administrativa.

#### **4.2Objetivos Específicos**

- a) Analizar los parámetros físico-químicos y microbiológicos, en las fuentes de captación y en las redes de distribución.

- b) Comparar los procesos y operaciones en las PTAP, para verificar si el tren de tratamiento con el que trabajan es el adecuado, y si cumplen con los parámetros exigidos por la norma INEN y Tulsma, para obtener una calidad de agua aceptable.
- c) Considerar si la capacidad económica y administrativa, influye directamente en el performance de las PTAP.

## **CAPITULO II.**

### **1. METODOLOGIA**

#### **1.1 MATERIALES Y METODOS**

En las visitas de campo realizadas a las PTAP, se identificó que utilizan un tratamiento convencional. Apatug se encuentra ubicada en el sector de Juan Benigno Vela, cuya fuente del proyecto es el embalse Chiquihurco, abastece a los sectores de San Pablo, Juan Benigno Vela, Santa Rosa, Huachi Grande, Montalvo, La libertad y los Laureles. Casigana se encuentra ubicada en el sector del mismo nombre, su fuente de abastecimiento es el canal Huachi Pelileo, abastece a los sectores de Huachi Chico, Huachi Chico Alto, Magdalena, Floresta, y alimentan algunas estaciones de bombeo. Finalmente Tilulum se encuentra ubicada en el sector del mismo nombre, cuya fuente del proyecto es el Río Alajua, abastece a los sectores de Ficoa, Miraflores y parte del centro de la ciudad de Ambato.

En la visita de campo realizada a la planta de tratamiento de agua potable Colonso, esta se encuentra ubicada en la Parroquia Muyuna sector alto Tena, cuya fuente del proyecto es el Río Colonso que procede de la Reserva Colonso Chalupas. La Planta fue construida en el año 2007, el cual ha sido ampliado y mejorado hasta el año 2018 donde se construyó un tanque de reserva de diez mil metros cúbicos para controlar la turbidez en temporadas de lluvias intensas. Esta planta tiene una capacidad de producción de 250 m<sup>3</sup> y abastece al centro sur y norte de la ciudad de la ciudad de Tena; y, a la parroquia de Puerto Napo.

A continuación, se presenta una tabla entre las diferencias de las PTAP de la ciudad de Ambato y una de Tena, (Ver tabla 1).



Tabla 1. Diferencias de características físicas de las PTAP.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE					
Características	Ambato				Tena
	Apatug	Casigana	Tilulum		Colonso
Fuente	Embalse	Canal de Riego	Rio	Vertiente	Rio
Nombre fuente	Chiquihurco	Huachi Pelileo	Alagua	-	Colonso
Tratamiento	Convencional	Convencional	Convencional	No	Convencional
Pretratamiento	si	No	si	No	si
Coagulación	si	si	si	No	si
Floculación	si	si	No	No	si
Sedimentador	si	si	si	No	si
Filtración	si	si	si	No	si
Desinfección	si	si	si	si	si
Caudal (l/s) diseño	280	300	100	160	250
Caudal (l/s) funcionando	280	250	75	160	250
Reserva (m3)	3000	2000	2000		200 y 1000
Tiempo de funcionamiento (años)	6	45	35		14

Un aspecto que influye directamente en la calidad de agua es la vida útil de cada sistema. La recolección de información de datos de laboratorio de control de calidad, corresponde a un análisis de resultados de laboratorio, entregados por EP- EMAPAA y GAD. Tena, regidos por la Norma Ambiental (Anexo Libro VI, 2021),. . Para ello es imperante el contar con un ICA por procesos o validación de parámetros de calidad de la INEN 1108 por cada proceso, (NORMA TÉCNICA ECUATORINA, 2014). En las PTAP se pudo identificar que todas tienen un tren de tratamiento convencional, ver. Fig. 1. Se hace una breve descripción de cada PTAP, ver anexo 1.

#### A. Descripción de la planta de APATUG.

La planta está conformada de: Canal de entrada, pretratamiento (precloración), coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, Tanque de Reserva. Tiene un periodo de uso de 6 años, ver fig.1.

#### B. Descripción de la planta de CASIGANA.

La planta está conformada de: Canal de entrada, coagulación, floculación mecánica e hidráulica, sedimentación, filtración, desinfección, Tanque de Reserva. Tiene un periodo de uso de 45 años. Ver fig. 1.

### **C. Descripción de la planta de TILULUM.**

La planta está conformada de: Canal de entrada, pretratamiento (Descripiador, Desarenador), coagulación, filtración, sedimentación, desinfección, Tanque de Reserva. Tiene un periodo de uso de 35 años. Ver fig. 1.

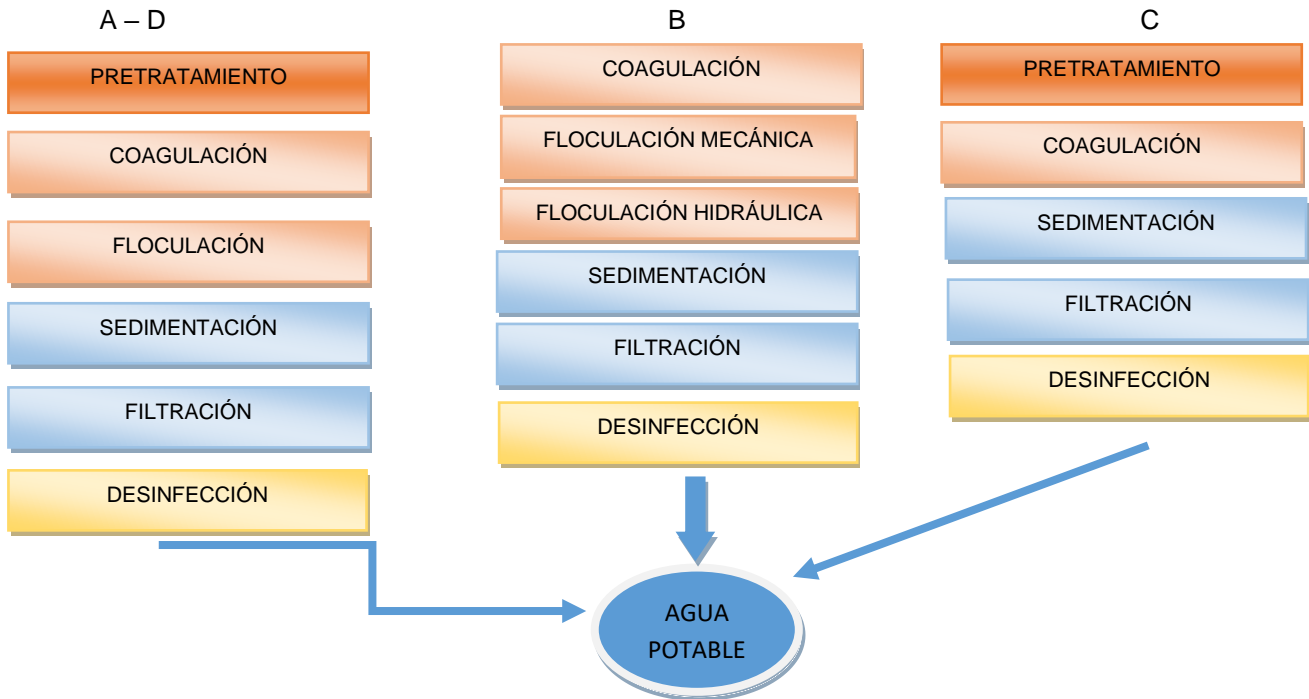
### **D. Descripción de la planta Colonso.**

La planta está conformada de: canal de entrada, pretratamiento (descripiador, desarenador), coagulación, floculación, sedimentación, filtración (filtros rápidos y filtros de arena), desinfección, tanque de reserva de agua cruda de 1000 m<sup>3</sup> y tanque de reserva de 200m<sup>3</sup>. Tiene un periodo de uso de 14 años. Ver fig. 1.

Las PTAP presentan una infraestructura en buenas condiciones y con características físicas, no presentan daños en las paredes de las unidades, ni desgaste en la maquinaria utilizada en los diferentes procesos, ver anexo 1, demostrando que realizan un mantenimiento periódico de las instalaciones y de todos sus componentes, con su respectiva señalización, para que el trabajo operativo sea más eficiente y seguro. Además, existe un mantenimiento rutinario con 3 cuadrillas diarias divididas en 3 jornadas, capaces de solventar cualquier inquietud.

Con respecto al mantenimiento de las infraestructuras, tanto EP- EMAPAA como el GAD Tena, las realizan mediante procesos de contratación pública, dirigido a profesionales y empresas capacitadas en el tema. La EP- EMAPAA, en la actualidad está desarrollando consultorías de especialización, para la repotenciación de las PTAP de Casigana y Tilulum, considerando su vida de uso que va en de 35 a 45 años, respectivamente. Con el objetivo de que estas PTAP sigan trabajando de manera eficiente y brindando agua de calidad. (Emapa, 2022).

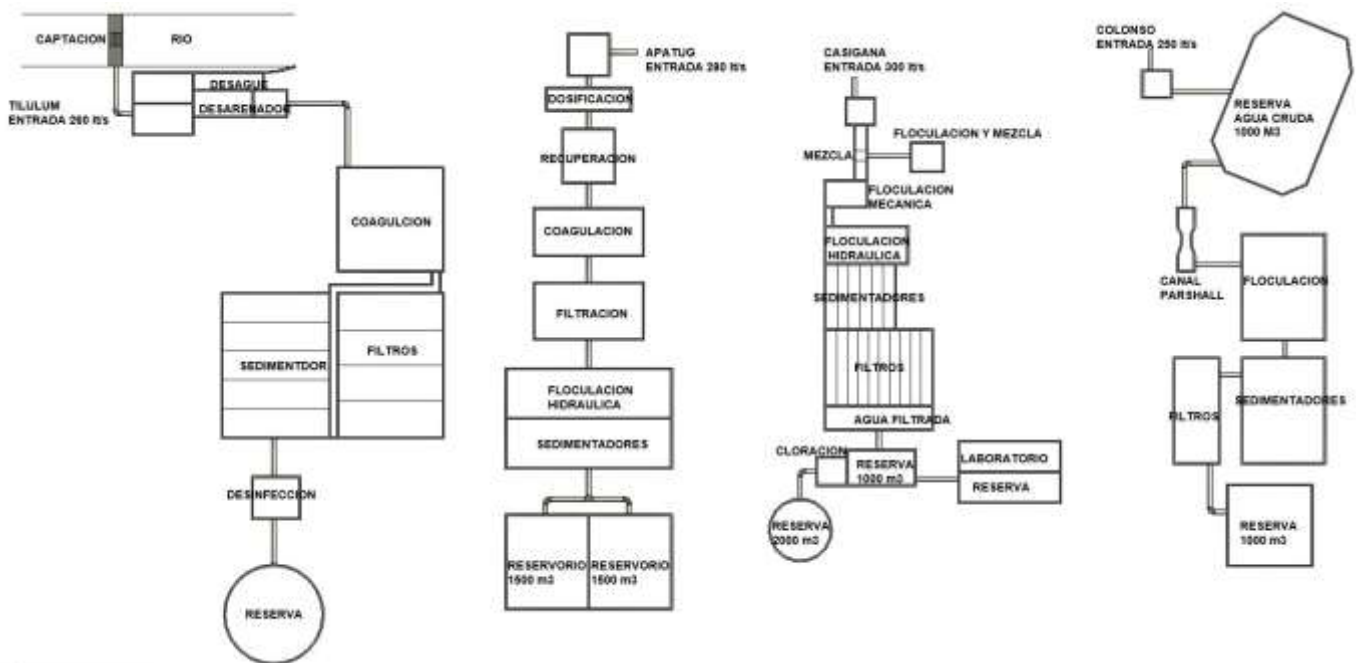
Figura 1. Procesos de tratamiento de agua potable



## 1.2 Operaciones de los sistemas.

Se consideraron parámetros como PH, Conductividad Eléctrica, Nitratos, Nitritos, Cloro Libre, Coliformes fecales, Metales pesados, Fluoruro. Turbidez, están dentro de las normas de calidad INEN 1108 y Tulsma, los cuales sirven para medir las características físico químico y microbiológicas del agua que se brinda al consumidor final. Considerando que las fuentes de agua al ingreso de la captación son diferentes como se detalla a continuación: Embalse Chiquihurco, Apatug; Canal de Riego Huachi Pelileo (Río Ambato), Casigana; Rio Alagua, Tilulum; Rio Colonso.

Figura 2. Tren de Tratamiento de la PTAP



Todas las PTAP tienen un sistema convencional (ver figura 2), sin embargo, existen dos PTAP que tienen un pretratamiento. Apatug basada en precloración, y Tilulum en sedimentación (descripiador y sedimentador). Casigana que no posee pretratamiento, pero tiene doble proceso de floculación uno mecánico y otro hidráulico. Estas configuraciones de tratamientos convencionales están diseñadas en la cantidad de componentes presentes en el agua de fuente de ingreso a las captaciones. Apatug está enfocado en controlar un número alto de coliformes fecales, Tilulum su tren de tratamiento en la cantidad de sedimentos, provenientes del Río Alagua, y finalmente Casigana a controlar la turbidez, con doble proceso de floculación.

En la figura 2 podemos observar que los PTAP de los sistemas de Tilulum, Apatug y Casigana respectivamente, tienen un tren de tratamiento convencional de diferentes características. Esto en función del tipo de fuente de abastecimiento que tiene y a los parámetros y datos la calidad de agua como coliformes fecales, sedimentos, presencia de metales, entre otros. Apatug es una planta de tratamiento nueva tiene 6 años, Casigana 35 años, y Tilulum 45 años de construcción. Hay que aclarar que la Empresa Pública EMAPAA, como ente administrador, operación y mantenimiento, ha venido modernizando

los sistemas más antiguos, y en constante mantenimiento a lo que es hormigones y equipo mecánico.

De acuerdo con esta clasificación, la calidad de fuente de agua para la PTAP Apatug es considerada aceptable, y la cantidad de agua cruda tratada en la PTAP. Apatug, es de 280l/s o 0.28m<sup>3</sup>/s, es decir unos 6.36 millones de galones por día. En cambio, Casigana y Tilulum, la calidad de fuente de agua es considerada poco aceptable. En Casigana, la cantidad de agua cruda tratada es de 220l/s o 0.22m<sup>3</sup>/s, pero está diseñada para 300l/s, es decir unos 6.82 millones de galones por día. En Tilulum, la cantidad de agua cruda tratada es de 40l/s o 0.04m<sup>3</sup>/s, pero está diseñada para 100l/s, es decir unos 2.27 millones de galones por día, en la planta de tratamiento, pero a esto hay que sumarle 160l/s más que se suman solo al proceso de desinfección, dando un total 260 l/s. Si las características de los parámetros del agua antes de ingresar a la PTAP fueran mejores o mejoraran a tal grado que cumplieran los parámetros de fuente aceptable de acuerdo a la Norma INEN 1108, solo sería necesario el proceso de desinfección (Velandia Medina et al., 2019), caso de planta Tilulum vertientes.

La PTAP de Colonso tiene un tratamiento convencional con similitud a la de Tilulum que, son de fuente de río, con la diferencia que Colonso si tiene el proceso de floculación igual que Apatug y Casigana. El proceso de tratamiento de Colonso el químico de potabilización del agua se realiza con tres insumos certificados, como coagulante, el sulfato de aluminio que depende de la turbiedad y se dosifica de 30 ppm hasta 60 ppm, conjuntamente se añade hidróxido de calcio como estabilizador de pH al 50% de la concentración de sulfato de aluminio. Además, se añade un polímero catiónico para mejorar la floculación a un 0,016% de concentración. Después de los procesos de floculación, sedimentación y filtración se añade cloro gas para la desinfección del agua a una concentración de 1 ppm así se garantiza cloro residual presente en toda la red de agua potable para la ciudad. Se hacen controles microbiológicos y se determina que no existen coliformes totales, coliformes fecales, hongos y levaduras. Para la operación de la PTAP de Colonso existen de tres grupos rotativos de dos personas.

### 1.3 Procesos de los sistemas

La empresa Pública EMAPAA, ha brindado y colaborado en esta investigación con los resultados de los ensayos de control de calidad de las fuentes de agua como de las redes de distribución, de los años 2020 y 2021. Considerando todos los parámetros que exige la norma INEN 1108. Con estos datos se ha procedido a analizar los resultados obtenidos y clasificarlos en valores máximos y mínimos. Para saber cuál de los sistemas en estudio son los más eficientes, considerando que en su proceso de tratamiento.

- a) Pretratamiento. - todos los sistemas tienen pre tratamiento, sistema Apatug de precloración, Tilulum y Colonso de Pre sedimentación.
- b) Coagulación. - En todos los sistemas que se están analizando se realiza una mezcla de Policloruro de aluminio que varía entre 35 ppm a 45 ppm al 5%. En dos tanques coagulantes donde ingresa una parte del agua cruda y con la ayuda de mezcladores mecánicos, se obtiene una homogenización para ser descargada a un canal de mezcla rápida. Por medio de aforos contraloran el porcentaje que deben aplicar al sistema. Colonso varia de 30 ppm hasta 60 ppm, conjuntamente se añade hidróxido de calcio como estabilizador de pH al 50% de la concentración de sulfato de aluminio.
- c) Floculación. - En el sistema de Apatug se utiliza floculación hidráulica, mientras que en el sistema de Tilulum no se realiza floculación. El sistema de Casigana tiene floculación mecánica y luego hidráulica. Para controlar el tamaño del floculo en los sistemas de agua potable, se realizan pruebas de cono, mínimo unas tres veces al día o dependiendo de la calidad del agua que va ingresando. Con estos resultados van variando el porcentaje de PAC en la coagulación del 35 ppm a 45 ppm al 5%. El número de compartimentos varía por cada planta de agua potable.
- d) Sedimentación.- es donde se eliminan los sólidos en suspensión, partículas de gran tamaño que acarrea el agua cruda (Aguirre et al., 2005). En las PTAP se la realiza por medio de Sedimentadores de flujo lento rectangular

con placas inclinadas, aquí se pierde el 1% del caudal de ingreso a la planta. El número de Sedimentadores y sus secciones varían por cada sistema. Se tiene un Turbilímetro, que es un dispositivo electrónico que mide la turbidez en los Sedimentadores.

- e) Filtración. - Son filtros lentos ascendentes de arena y grava, existe un caudalímetro dispositivo electrónico en cada filtro para medir el caudal. Estos filtros son de retrolavado importante función para el mantenimiento y la buena operación.
- f) Desinfección. - En todos los sistemas Apatug, Tilulum, Casigana, se utiliza una mezcla de 45 a 50 libras de clorogás por día. Para eliminar parásitos, gérmenes presentes en las coliformes fecales y para oxidar los metales pesados que contiene el agua cruda.

El proceso de las plantas de tratamiento está compuesto de la siguiente manera: En Apatug, 4 módulos de floculadores hidráulicos, 16 Sedimentadores, 16 filtros, dos reservas de 1500m<sup>3</sup>. En Casigana 2 floculadores mecánicos de 60 rev/min, floculación hidráulica de flujo ascendente, 6 Sedimentadores de flujo descendente, 6 filtros de arena, una reserva de 2000m<sup>3</sup>. En Tilulum, 4 filtros, 5 Sedimentadores, una reserva de 2000m<sup>3</sup>. En todos los sistemas existen dos tanques coagulantes y dos tanques de 907Kg cada uno para la desinfección. Además, las PTAP tienen 1 turbilímetro para medir la turbidez. Y para el mantenimiento 3 cuadrillas de 2 operadores y un ingeniero que se encarga de tomar 3 veces al día ciertos parámetros para el control interno de la PTAP. En cada planta de tratamiento se realizan mantenimientos diarios, quincenales, mensuales y semestrales.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y ANALISIS

#### 3.1 Fuentes de Ingreso

En la tabla 1 y 2 se pueden observar las características del agua que ingresa a las plantas de tratamiento de agua potable, parámetros como coliformes fecales, color real, conductividad, ph y turbidez, se realizan ensayos de control de calidad en todo el año, mientras que los parámetros como nitratos, nitritos, fluoruro, dureza total; y metales como bario, cianuro y cobre presentes en la fuente de ingreso se realizan mínimo una vez al año. Ver Anexo 2. Todos estos parámetros son controlados según los métodos y valores máximos de la norma de calidad ambiental y efluentes. Tulsma, Libro VI, Anexo 1. (Anexo Libro VI, 2021).

Los parámetros de fuentes de ingreso son el resultado del análisis del promedio de valores obtenidos en los doce meses de cada año 2020 y 2021, tabla 1 y tabla 2, respectivamente. Se observa que en el año 2020 el parámetro de coliformes fecales las PTAP de Casigana y Tilulum de tiene un valor casi similar de 200 ufc/100ml, algo que no sucede en el año 2021 mostrando una diferencia de 800 ufc/100ml vs. 353 ufc/100ml. Mientras que Apatug mantiene un valor bajo en estos años, mostrando un poco de aumento, pero comparado con los otros sistemas es menos apreciable las cantidades.

El parámetro de color real, el PH en las 3 plantas potabilizadoras es similar en el año 2020 y 2021. La conductividad en el año 2020. La PTAP de Casigana y Apatug va en los mismos valores, mientras que en Tilulum es el doble, en cambio el año 2021 Casigana y Tilulum va en los mismos valores, mientras que Apatug es menor. Los valores de la turbidez en ambos años y en todas las plantas de tratamiento son bajos con respecto a lo dicta la norma que es de 100 NTU, en un rango de 4 a 8 NTU. Igual caso sucede con los nitratos.



**Tabla 1a. Fuentes de ingreso 2020 (Muestra)**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>	<b>Tusla Libro VI. Anexo 1</b>	<b>Casigana 2020 (A)</b>	<b>Apatug 2020 (B)</b>	<b>Titulum 2020 (C)</b>
Coliformes Fecales	mmp/100ml	APHA-9221-C	1000	201,15	11,71	232,31
Color Real	UPt-Co	HACH 8025	75	54,45	53,45	52,91
Conductividad	us/cm	APHA-2510-B	-	258,52	232,54	500,47
Dureza Total	mg/l	APHA2340c	-	44,3	7,28	24,55
Nitratos	mg/l	HACH 8039	50	4,47	2,3	4,83
PH	UpH	APHA-4500 H+B	6-sep	7,86	7,51	7,72
Turbidez	NTU	APHA-2130-B	100	6,97	4,4	5,71

**Tabla 1b. Resultados ICA ingreso 2020**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>A (ICA)</b>	<b>B (ICA)</b>	<b>C (ICA)</b>	<b>Importancia (W)</b>	<b>A (IxW)</b>	<b>B (IxW)</b>	<b>C (IxW)</b>
Coliformes Fecales	mmp/100ml	15,078	32,492	14,503	4	60,31	129,97	58,01
Color Real	UPt-Co	49,619	49,825	49,939	1	49,62	49,83	49,94
Conductividad	us/cm	65,775	68,469	51,207	2	131,55	136,94	102,41
Dureza Total	mg/l	92,532	93,915	93,267	1	92,53	93,92	93,27
Nitratos	mg/l	97,075	121,893	94,483	2	194,15	200	188,97
PH	UpH	82,355	104,609	90,902	1	82,36	100	90,9
Turbidez	NTU	76,441	82,964	79,205	0,5	38,22	41,48	39,6
					<b>11,5</b>	<b>648,74</b>	<b>752,14</b>	<b>623,1</b>

**Tabla 2a. Fuentes de ingreso 2021(Muestra)**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>	<b>Tusla Libro VI. Anexo 1</b>	<b>Casigana Septiembre 2021</b>	<b>Apatug Septiembre 2021</b>	<b>Titulum Septiembre 2021</b>
Coliformes Fecales	mmp/100ml	Stendar Methods-9221-C	1000	884,4	46,433	353,3
Color Real	UPI-Co	HACH 8025	75	48,667	46,222	59,111
Conductividad	us/cm	Stendar Methods-2510-B		312,289	210,344	291,2
Nitratos	mg/l	HACH 8039	50	0,204	0,305	0,215
PH	UpH	Stendar Methods-4500H+B	6-sep	8,05	7,987	7,963
Turbidez	NTU	Stendar Methods-2130-B	100	8,426	3,829	7,213
Aceites y grasas	mg/l	HACH 8506	0,3	0,217	0,033	0,05

Tabla 2b. Resultados ICA ingreso 2021

Parámetros	Unidades	Método	A (ICA)	B (ICA)	C (ICA)	Importancia (W)	A (IxW)	B (IxW)	C (IxW)
Coliformes Fecales	mmp/100ml	Stendar Melhods-9221-C	10,109	22,4	12,95	4	40,44	89,6	51,8
Color Real	UPI-Co	HACH 8025	50,878	51,466	48,72	1	50,88	51,47	48,72
Conductividad	us/cm	Stendar Melhods-2510-B	61,229	71,122	62,873	2	122,46	142,24	125,75
Nitratos	mg/l	HACH 8039	279,8	243,745	274,805	2	200	200	200
PH	UpH	Stendar Melhods-4500H+B	72,669	75,824	77,062	1	72,67	75,82	77,06
Turbidez	NTU	Stendar Melhods-2130-B	73,903	85,042	75,976	0,5	36,95	42,52	37,99
Aceites y grasas	mg/l	HACH 8506	137,563	241,128	213,046	0,5	68,78	120,56	106,52
						<b>11</b>	<b>592,18</b>	<b>722,21</b>	<b>647,84</b>

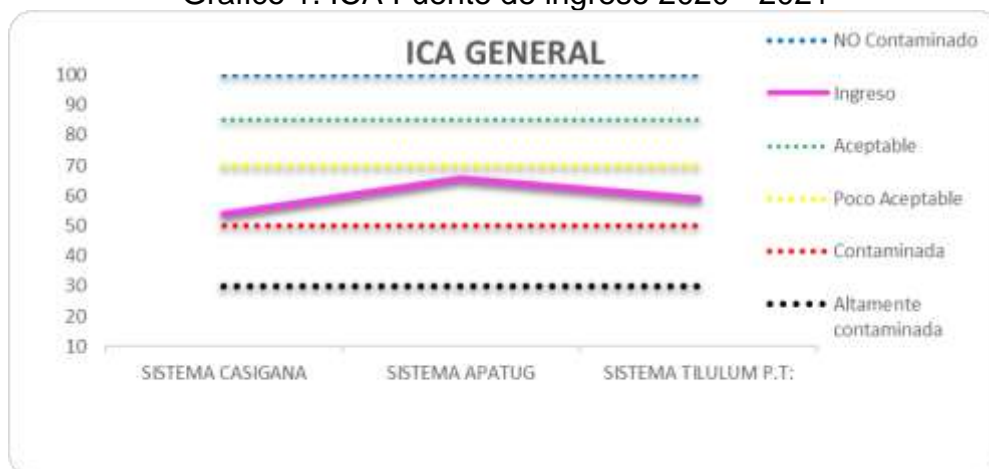
Con lo antes indicado se ha procedido a realizar el cálculo de cada muestra, para obtener valores que se indican en la tabla 1 y 2 para el cálculo del ICA GENERAL. En la tabla 3 y en la gráfica 1 se observa que el agua que proviene del embalse Chiquihurco al sistema de Apatug la calidad de agua de la fuente es aceptable con un valor de 65 año 2020 y 66 año 2021 de acuerdo a los resultados obtenidos, mientras que el sistema del Casigana y Tilulum tienen un valor similar que provienen de fuentes de río, encontrándose en el rango poco aceptable con valores de 56 y 54 año 2020, 54 y 59 año 2021 respectivamente.

El análisis Índice de Calidad de Agua ICA, considera varios parámetros para obtener una calificación, y saber si el agua de ingreso a la captación es apta para el consumo humano o se la desecha. Tenemos que tener en cuenta que este resultado es el análisis individual de cada parámetro, que se toma en cuenta para el cumplimiento de la Norma INEN 1108.

Tabla 3. ICA fuentes de ingreso 2020 - 2021

Índice de Calidad de Agua Global			
Ubicación	Sistema Casigana	Sistema Apatug	Sistema Tilulum
Ingreso 2020	56	65	54
Ingreso 2021	54	66	59

Grafico 1. ICA Fuente de ingreso 2020 - 2021



En la tabla 4 se puede observar los parámetros de calidad a la entrada de la fuente PTAP de Colonso, ósea en la conducción, para determinar el índice de calidad del agua; entre ellos en la presente investigación tenemos color, turbiedad, conductividad, SST, pH, dureza total, cloruros, alcalinidad, nitratos, índice de coliformes fecales y totales. Estos valores son solo de los meses de marzo, abril y mayo, del año 2020. Debido a la falta de información y control que lleva el GAD Municipal de Tena.

Tabla 4. ICA Fuentes de ingreso 2020 Colonso

PARÁMETRO	UNIDAD	TUSLA TABLA 1	AGUA CRUDA	COLONSO (ICA)	Importancia (W)	Muestra A IxW
Color	Unidades Escala Pt-Co	75	17	53,324	1	53,32
Turbiedad	NTU	100	2,09	94,719	0,5	47,36
Conductividad	µs/cm	400	32,8	143,839	2	200
SST	mg/L		16,4	94,668	1	94,67
pH	-	6 – 9	8,16	67,471	1	67,47
Dureza Total	mg/L	< 500	17,22	93,541	1	93,54
Cloruros	mg/L Cl**		7,77	76,599	0,5	38,3
Alcalinidad	mg/L	< 40	13,78	64,46	1	64,46
Nitrato	mg/L N-NO3	< 1	0,23	268,521	2	200
Índice de coliformes totales	UFC/100 ml	< 1000	335	20,288	3	60,86
Índice de coliformes fecales	UFC/100 ml	<1000	32,63	24,638	4	98,55
Nota: no se tomaron datos los meses marzo, abril y mayo por covid 19					<b>17</b>	<b>101853</b>

### 3.2 Redes de Distribución

En las tablas 5 y 6 se muestra el ICA de las redes de distribución, considerando parámetros como color aparente, nitratos, ph, turbidez, flúor y coliformes fecales, después del proceso de purificación, de cada uno de los sistemas en estudio. Nos indican que los trenes de tratamiento y las operaciones unitarias que llevan a cabo, con las dosificaciones exactas en los procesos de coagulación y floculación, y un control de calidad riguroso, demuestran que las plantas de tratamiento de agua potable están funcionando de manera óptima, dotando a la población o consumidor final agua de calidad.

Además, por parte de EP EMAPAA el trabajo administrativo, operativo y de mantenimiento en los sistemas permite que se mantenga las referidas plantas su funcionamiento las 24 horas del día. El parámetro de coliformes fecales no se lo ha colocado en las tablas 4 y 5 ya que después del proceso de potabilización en las tres PTAP, su resultado es cero, indicando que la cantidad de clorogas colocado en su fase de tratamiento es capaz de eliminar todos los patógenos provenientes del agua cruda que afectan al saluda del beneficiario final, demostrando una eficiencia del 100%.

El parámetro de color aparente y el ph en las 3 plantas potabilizadoras es similar en el año 2020 y 2021, promediando un valor de 4.5 UPI-Co y 7.44 U-pH, respectivamente. Los valores de la turbidez en ambos años y en todas las plantas de tratamiento son bajos con respecto a lo dicta la norma que es de 5 NTU, en un rango de 0 a 1 NTU. Igual caso sucede con los nitratos que la norma indica un valor de 50 mg/l, y se tiene un rango que va de 1 a 9 mg/l. Con lo antes indicado se ha procedido a realizar el cálculo de cada muestra, para obtener valores que se indican en la tabla 3 y 6 para el cálculo del ICA GENERAL.

Tabla 5a. Muestra Redes de Distribución 2020

Parámetro	Unidades	Método	INEN 1108	Casigana septiembre 2020 (A)	Apatug septiembre 2020 (B)	Titulum septiembre 2020 (C)
Color Aparente	UPI-Co	HACH-8025	15	5,5	4,58	2
Nitratos	mg/l	HACH-8339	50	1,8	4,73	6,67
PH	U-ph	Estándar 2130-B	6,5 a 8	7,49	7,44	7,44
Turbidez	NTU	APHA-9222-O	5	0,61	0,5	0,33

Tabla 5b. ICA Redes de Distribución 2020

Parámetro	Unidades	A (ICA)	B (ICA)	C (ICA)	Importancia (W)	A lxW	B lxW	C lxW
Color Aparente	UPI-Co	82,734	86,181	103,671	1	82,734	86,181	100
Nitratos	mg/l	132,584	95,186	84,601	2	200	200	200
PH	U-ph	106,03	109,668	109,668	1	100	100	100
Turbidez	NTU	117,933	122,182	131,561	0,5	50	50	50
					<b>4,5</b>	<b>432,734</b>	<b>436,181</b>	<b>450</b>

Tabla 6a. Muestra Redes de Distribución 2021

Parámetro	Unidades	Método	INEN 1108	Casigana septiembre 2020 (A)	Apatug septiembre 2020 (B)	Titulum septiembre 2020 (C)
Color Aparente	UPI-Co	HACH-8025	15	4,51	3,89	2,6
Fluor	mg/l	HACH-8029	1,5	0,25	0,4	0,3
Nitratos	mg/l	HACH-8339	50	3,35	5,2	8,47
PH	U-ph	Estándar 2130-B	6,5 a 8	7,48	7,47	7,52
Turbidez	NTU	APHA-9222-O	5	1,14	0,5	0,24

Tabla 6b. ICA Redes de Distribución 2021

Parametro	Unidades	A (ICA)	B (ICA)	C (ICA)	Importancia (W)	A lxW	B lxW	C lxW
Color Aparente	UPI-Co	86,478	89,377	97,779	1	86,478	89,377	97,779
Fluor	mg/l					0		
Nitratos	mg/l	107,142	92,143	77,945	2	200	184,286	155,89
PH	U-ph	106,748	107,471	103,906	1	100	100	100
Turbidez	NTU	105,51	122,182	139,234	0,5	50	50	50
					<b>4,5</b>	<b>436,478</b>	<b>423,663</b>	<b>403,669</b>

Tabla 7. ICA Resumen Redes de Distribución 2020 – 2021

Índice de Calidad de Agua Global			
Ubicación	SISTEMA CASIGANA	SISTEMA APATUG	SISTEMA TILULUM P.T:
Salida 2020	96	97	100
Salida 2021	97	94	90

En tabla 6 podemos observar que tenemos un ICA de 90 puntos hacia arriba en su calificación, en todos los sistemas en estudio, cumpliendo la normativa de calidad INEN 1108 (NORMA TÉCNICA ECUATORINA, 2014), tanto del año 2020 y 2021 demostrando que el agua tratada es de muy buena calidad. Esto nos lleva a que EP EMAPAA en su forma de administrar las plantas y llevando un control diario y periódico, se puede alcanzar un nivel de calidad en el agua potable, que llegue a ser óptimo para el consumo humano.

A continuación, al analizar los parámetros de control de calidad de los sistemas de PTAP, en las redes de distribución agua cruda que ya ha pasado por un tren de tratamiento y se ha convertido en agua apta para el consumo humano. Datos del año 2020 y 2021, parámetros como coliformes fecales, color aparente, cloro residual, ph y turbidez, nitratos, nitritos, y flúor. En la gráfica 2 y 3 año 2020 se observa que todos los parámetros para el control de calidad de los sistemas Apatug, Casigana, y Tilulum, están por debajo de límite permitido y sobre lo mínimo establecido en la norma INEN 1108 (NORMA TÉCNICA ECUATORINA, 2014), que rige en el Ecuador para el control de calidad de agua óptima para el consumo humano.

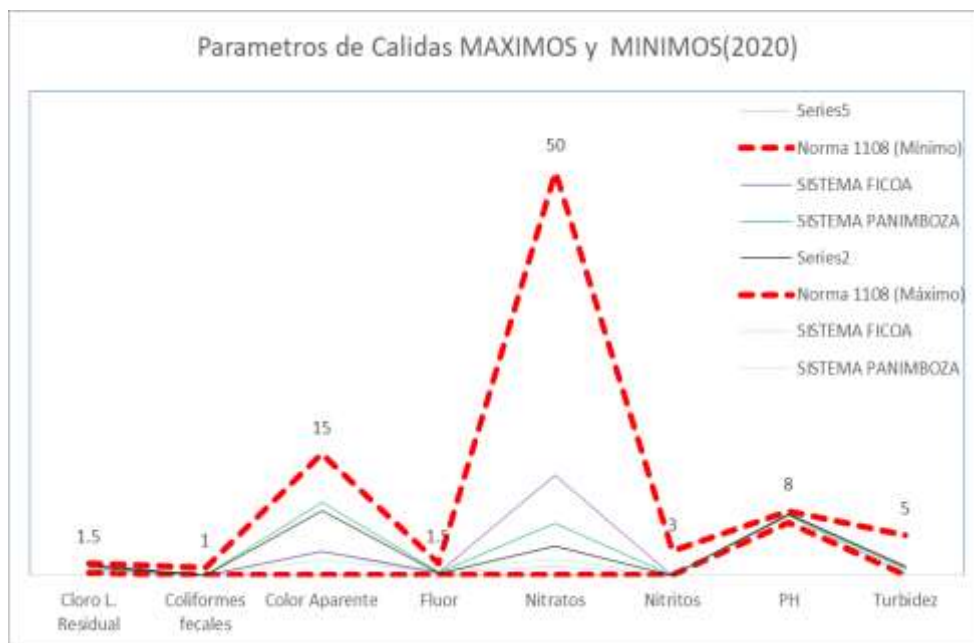


Gráfico 2. Parámetros de calidad 2020

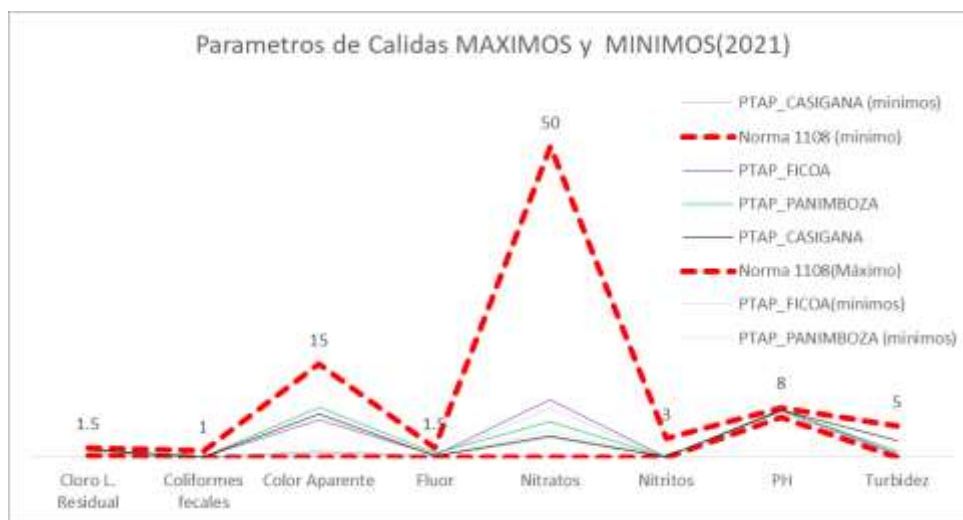


Gráfico 3. Parámetros de calidad 2021

En la tabla 8 se puede observar los parámetros de calidad en las redes de distribución de la PTAP de Colonso para calcular el índice de calidad del agua; entre ellos en la presente investigación tenemos color, turbiedad, conductividad, SST, pH, dureza total, cloruros, alcalinidad, nitratos, índice de coliformes fecales y totales. Estos valores son solo de los meses de marzo, abril y mayo, del año 2020. Debido a la falta de información y control que lleva el GAD Municipal de Tena.

Tabla 8. ICA Redes de Distribución 2020

Parámetro	Unidad	INEN 1108	Agua tratada	Colonso (ICA)	Importancia (W)	Muestra A lxW
Color	Unidades Escala Pt-Co	15	11	60,631	1	60,63
Turbiedad	NTU	5	1,67	98,578	0,5	49,29
Conductividad	µs/cm	400	33,96	141,957	2	200
SST	mg/L		16,98	93,459	1	93,46
pH	-	6 – 9	8,26	63,07	1	63,07
Dureza Total	mg/L	< 500	18,67	93,487	1	93,49
Cloruros	mg/L Cl**		7,82	76,489	0,5	38,24
Alcalinidad	mg/L	< 40	13,44	64,76	1	64,76
Nitrato	mg/L N-NO3	50	0,23	268,521	2	200
Índice de coliformes totales	UFC/100 ml	< 1.1	11,38	50,565	3	151,7
Índice de coliformes fecales	UFC/100 ml	< 1.1	0,44	78,804	4	315,22
Nota: no se tomaron datos los meses marzo, abril y marzo					<b>17</b>	<b>1329,86</b>

### 3.3 Resumen Comparativo

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los sistemas de la fuente de entrada y de salida (Redes de Distribución) tabla 9. En la gráfica 4 se presenta el ICA resumen de los años 2020 y 2021, de la fuente de ingreso de agua como de las redes de distribución de los sistemas en estudio. Indicando que las fuentes de ingreso a los sistemas están en el rango aceptable a poco aceptable. Pero con un buen proceso y operación en los sistemas de Agua potable se puede tener una calificación o un rango de excelente, tal como se ve en los resultados obtenidos, e identificado en las redes de distribución.

Sin embargo, la planta de tratamiento del sistema Colonso los valores están por debajo de no contaminada; es decir, aceptable a la salida del proceso de desinfección y su eficiencia de remoción es la más baja en comparación con las plantas de Ambato. El Índice de calidad del agua nos indica que el tipo de tratamiento para estas plantas potabilizadoras es el tratamiento convencional. Y podemos medir la eficiencia de Remoción de las 4 PTAP en la entrada de las captaciones y redes de distribución.

Tabla 9. ICA 2020-2021

<b>Índice de Calidad de Agua Global</b>				
<b>Ubicación</b>	<b>SISTEMA CASIGANA</b>	<b>SISTEMA APATUG</b>	<b>SISTEMA TILULUM P.T:</b>	<b>SISTEMA COLONSO</b>
<b>Ingreso 2020</b>	56	65	54	60
<b>Ingreso 2021</b>	54	66	59	-
<b>Salida 2020</b>	96	97	100	78
<b>Salida 2021</b>	97	94	90	-
<b>Tipo de tratamiento</b>	Tratamiento de Potabilización			
<b>Eficiencia de remoción 2020</b>	70,47	48,20	<b>84,56</b>	<b>30,58</b>
<b>Eficiencia de remoción 2021</b>	80,17	43,40	<b>52,31</b>	-



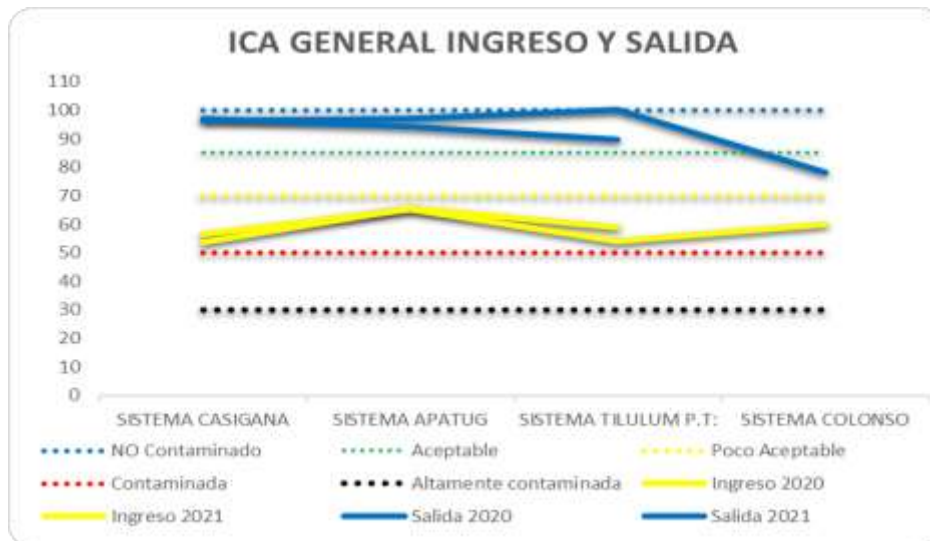


Gráfico 4. ICA 2020-2021 Parámetros de calificación

### 3.4 Administrativo

El Gobierno autónomo Descentralizado Municipal a través de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato EP- EMAPAA, es el encargado de administrar todo lo referente a saneamiento, cuenta con 550 servidores públicos aproximadamente distribuidos en los siguientes departamentos: Administrativo central, Operación y Mantenimiento, Gestión de Proyectos e infraestructura, Financiero, Jurídico, encargada de Administrar las siguientes PTAP: Apatug, Casigana, Tilulum, Santa Marianita, con caudales de 280l/s, 250l/s, 235 l/s, 20 l/s, respectivamente. La tarifa de los servicios hidrosanitarios se la maneja en dos categorías: Residencial y Comercial, en un rango de 0 a 10 m<sup>3</sup>, se cobra 3.48 USD y 10.35 USD, respectivamente. EP- EMAPA-A., tendrá un presupuesto 2022 de aproximadamente 45 millones de dólares.

El Gobierno autónomo Descentralizado Municipal de Tena, dentro de su organización institucional cuenta con la Dirección de Agua y Alcantarillado, que está conformada por la Unidad de Agua Potable, Alcantarillado y Comercialización con un total de 15 servidores públicos entre personal Directivo, Técnico, Administrativo y obreros. La PTAP produce 280 l/s, y el costo del metro cubico de agua producida para los usuarios de uso doméstico

tiene un costo mínimo de 0,075 USD por m<sup>3</sup> y dependiendo de la categoría aumenta su costo. Esto se debe a que la planta de tratamiento de agua ubicado en la Parroquia Muyuna sector el Coloso que está al servicio de la ciudad de Tena no genera confianza para el consumo humano, y simplemente se usa para servicios básicos, por ello es el bajo costo.

## CAPITULO IV

### 4 CONCLUSIONES

- Los procesos y operaciones unitarias utilizadas para la potabilización del agua en el centro y oriente de Ecuador son de un tren de tratamiento convencional, conformada de pretratamiento, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Dependiendo la fuente de ingreso a las PTAP para la utilización o no de sus componentes según el caso.
- Se comprueba que la toma de muestras de laboratorio realizadas periódicamente en las captaciones y redes de distribución son primordiales para la obtención de parámetros de calidad confiables, tal como lo demuestran las PTAP de Ambato, considerando que son administradas por la EP EMAPAA. Mientras que Colonso, administrada por el GAD. Municipal de Tena no lleva un sistema tecnológico automatizado conllevando a que no sea aceptable su verificación e inspección permanente. El control de calidad del agua, depende mucho su una administración en las PTAP.
- Adicionalmente, se indica que las PTAP de Tilulum y Casigana iniciaron su funcionamiento hace 35 y 45 años respectivamente, mientras que las PTAP de Apatug y Colonso en los años de 2015 y 2007 respectivamente, más de 20 años después; pero que las administraciones encargadas han venido realizando mejoras a las PTAP para que puedan funcionar de manera eficiente.
- La Administración de la EP EMAPAA durante la vida de funcionamiento de las PTAP Apatug, Tilulum y Casigana, ha comprobado que una dosificación variable de entre 35 % a 45% de ppm al 5% de coagulante de Policloruro de Aluminio en los procesos de coagulación y sedimentación controlar la turbidez, y con 45 a 50 libras de clorgas desinfectar y eliminar todos los coliformes fecales y totales, a más de los metales que se encuentran presentes en el agua cruda.

- Los parámetros de calidad de Apatug, Tilulum y Casigana del año 2020 y 2021 en la entrada y salida de las PTAP muestran una eficiencia de remoción de valores entre el 50% al 80%. Categorizándose en agua aceptable de acuerdo al ICA y cumpliendo los valores máximos y mínimos permisibles de acuerdo a la norma Tulsma y cumpliendo con la norma de calidad y certificado de calidad la INEN 1108. Sin embargo, los parámetros de calidad de Colonso del año 2020 en la entrada y salida de las PTAP muestran una eficiencia de remoción del 35%. Categorizándose en agua aceptable de acuerdo al ICA y cumpliendo los valores máximos y mínimos permisibles de acuerdo a la norma Tulsma, pero no con la norma de calidad y certificado de calidad la INEN 1108.
  
- El desempeño de las PTAP depende en un ciento por ciento de los recursos que cuenten para su manejo, control y operación, como es el caso de la EP EMAPAA, al ser una empresa pública es prácticamente autónoma, además cuenta con el personal administrativo, técnico con mano de obra calificado y no calificado, con un presupuesto que llega a los 45 millones de dólares para el 2022. En el caso de Tena al ser solo un departamento, depende el ciento por ciento de la administración central, por ende, tiene menos presupuesto, personal técnico y administrativo.
  
- Finalmente, se comprobó que el tratamiento convencional es eficiente en la potabilización de los sistemas de agua potable. Se debe tomar en cuenta que algunos parámetros como coliformes fecales, color y turbidez pueden variar de acuerdo a la estación del año.

## CAPITULO V

### 5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los entes administradores de las PTAP, que se debe mejorar y cuidar ambiental y socialmente las fuentes de agua cruda que ingresa en las captaciones, con el fin de cumplir con la norma Tulsma y la INEN 1108 aumentando la calidad de agua a fin de realizar procesos de desinfección como lo hacen en otros países de primer mundo. O como en el caso de Tilulum que proviene de vertiente. Y con respecto a la PTAP Colonso de la ciudad de Tena, realizar un mantenimiento preventivo y correctivo a fin de que el proceso de tratamiento sea más eficiente y eficaz en su desinfección y garantizar que el agua sea para consumo humano.
- Existen tratamientos convencionales en la desinfección como la luz solar para la potabilización de agua potable en las zonas rurales, donde disponen de menos recursos para su purificación, además estos sistemas facilitan la relación con el medio ambiente y la sociedad. (Castrillón Forero & Hincapié Zuluaga, 2012).
- Una alternativa de tecnología para la potabilización del agua se basa en la Biofiltración, como un proceso físico – químico cuyo objetivo es la separación de partículas y microorganismos en el agua, que no han sido retenidos mediante procesos convencionales. (Alvaro, 2004).

## CAPITULO VI

### 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, F., Castro, D., & Ramirez, L. (2005). Canales y desarenadores como tratamiento preliminar en el agua para consumo humano. *OPS*.
- Alvaro, A. R. (2004). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. *LASALLISTA*, 7. Anexo Libro VI, T. (2021). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. *MAE*.
- Arellano, A., & , Andrés Bayas , Antonio Meneses, T. C. (2018). Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 1(1). <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>
- ARRIETA LOZANO, J. J. (2019). Recomendaciones Para Diseño Y Optimización De Plantas De Tratamiento De Agua Potable, Considerando Aspectos De Funcionalidad Y Durabilidad. *Prospectiva*, 17(2). <https://doi.org/10.15665/rp.v17i2.1732>
- CARVALHO, F. M. G., ARAÚJO, M. H. D. N., FRANÇA, K. M. De, CARVALHO, M. L. De, LACERDA, C. A., SILVA, J. G. P. Da, MARQUES, A. A. D. J., DANTAS, A. R. A., NASCIMENTO, J. G. C. Do, ALENCAR, V. P. De, SANTOS, L. N. D. S., GONÇALVES, S. F., BRITO, A. C. M. De, FRANÇA, É. R. L. De, FREITAS, F. F. Q., SILVA, A. O. Da, BATISTA, J. L. F. P., SOARES, V. A. N., BARBOSA, A. D. F., ... ASSIS, L. M. De. (2020). Capítulo 1. *MSP*, 20–35. <https://doi.org/10.29327/523696.1-1>
- Castrillón Forero, J. E., & Hincapié Zuluaga, D. A. (2012). Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 4(6), 121. <https://doi.org/10.22430/21457778.76>
- Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 0(029), 153. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
- Emapa. (2022). [www.emapa.gob.ec](http://www.emapa.gob.ec). Page Web.
- Francisco, Y. M. T., & . (2010). *Análisis comparativo de proceso de floculación-coagulación en la potabilización de agua de río, usando como fuente de captación el Río Daule y el Río Babahoyo*. (p. 7). ESPOL.
- GAD TENA. (2022). [www.tena.gob.ec](http://www.tena.gob.ec). <https://tena.gob.ec/>
- IEOS. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. 6, 420.
- Karol Briñez, Juliana Guarnizo, S. A. (2012). Calidad del agua para el consumo humano en el departamento de Tolima. *Univerdidasd de Antioquia*, 8.
- Lopez Cualla, R. A. (2007). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- NORMA TÉCNICA ECUATORINA, A. P. R. (2014). Ecuatoriana Nte Inen 1108. *Quinta Revisión*, 2–4.
- Ortiz, J. M., Molina Castro, E. X., Quesada Molina, J. F., Calle Pesántez, A. E., & Orellana Valdéz, D. A. (2018). Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca. *Ingenius*, 20. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.03>
- Ortuste, F. R. (2014). Recursos naturales e infraestructura. *Cepal, Naciones Unidas*.
- Reyes Cristian, R. L. (2017). DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE CÁLCULO DE UN ICA Y MODELACIÓN DE UN TRAMO DEL RIO TUNJUELO EN EL SECTOR DE BOSA LIBERTADOR. In *Universidad Católica de Colombia* (Issue 8.5.2017).
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- SENAGUA. (2008a). NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL. *MIDUVI*, 1, 44.
- SENAGUA. (2008b). NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y

DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. *MIDUVI*, *1*, 420.

UNACH. (2018). Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes. *SINERGIA*, *1*, 10.

Vázquez, A. (2016). Cloración de agua potable. *Dosing Pumps*.

Velandia Medina, L., De Plaza, J. S., & Pulgarín, D. A. (2019). Análisis comparativo del componente administrativo y de los procesos de desinfección utilizados en dos plantas de tratamiento de agua potable. *1*, 14(27 SE-Artículos de Investigación Científica y Tecnológica), 78–88. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.14.27.2019.78-88>

## CAPITULO VII

### 7 ANEXOS

#### ANEXO 1:

En las imágenes 1, 2 y 3. Se observa las instalaciones de la planta de tratamiento de Apatug.



Imagen 1. PTAP Apatug



Imagen 2. PTAP Apatug – Sedimentadores



Imagen3. PTAP Apatug – Filtros



En las imágenes 4, 5 y 6. Se observa las instalaciones de la planta de tratamiento de Casigana.



Imagen 4 - 5. PTAP Casigana



Imagen 6. PTAP Casigana

En las imágenes 7, 8, 9 y 10. Se observa las instalaciones de la planta de tratamiento de Tilulum.



Imagen 7. PTAP Tilulum – Captación Imagen 8. PTAP Tilulum – Edificio



Imagen 9 - 10. PTAP Tilulum – Sedimentadores – Desinfección.

En las imágenes 11,12, 13, y 14. Se observa los procesos y operaciones de las PTAP.



Imagen 11. Prueba de cono



Imagen 12. Sedimentadores



Imagen 13. Filtros



Imagen 14. Desinfección a clorogás

**ANEXO 2:**

**Tabla 1. Parámetros de calidad en la fuente de ingreso. APATUG**

Parametros	Unidades	Metodo	TUSLA Libro VI. Anexo 1	SISTEMA APATUG											
				ene	feb	mar	abr	mayo	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
BARIO	mg/l	APHA3111D	1	0.147							0.071				
CIANURO	mg/l	HACH 8027	0.1		0.002						0.001				
COBRE	mg/l	HACH 8506	2		0.02					0.03			0.04		
Coliformes Fecales	ufc/100ml	APHA-9221-C	1000	8	43	5.2	4.1	43	1	4	4	3.7	1.8	11	
Color Real	UPt-Co	HACH 8025	75	44	46	61	64	63	55	51	40	52	57	55	
Conductividad	us/cm	APHA-2510-B	-	124	0	116.9	169	107.3	620	106.4	116.3	661	386	151	
Dureza Total	mg/l	APHA2340c	-							7.28					
Fluoruro	mg/l	HACH 8029	1.5	0.13				0.07				0.09			
Nitratos	mg/l	HACH 8039	50	1.6			1.5			3.8					
PH	UpH	APHA-4500 H+B	6-9	7.78	7.58	6.9	7.87	7.75	7.36	7.98	7.18	7.12	8.04	7.05	
Turbidez	NTU	APHA-2130-B	100	3.09	7.84	6.61	5.27	6.22	4.12	4.54	3.35	0.14	3.74	3.48	
Humedad	%			43	43	36	38	36	36	41	41	38	38	32	
Temperatura	°C			23.5	23.5	25.5	24.1	24.1	24.1	19.7	19.7	18	20.4	23.1	

**Tabla 2. Parámetros de calidad en la fuente de ingreso. CASIGANA**

Parametros	Unidades	Metodo	TUSLA Libro VI. Anexo 1	SISTEMA CASIGANA											
				ene	feb	mar	abr	mayo	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
BARIO	mg/l	APHA3111D	1	0.153							0.126				
CIANURO	mg/l	HACH 8027	0.1		0.001						0.001				0.001
COBRE	mg/l	HACH 8506	2		0.02					0.01			0.09		
Coliformes Fecales	ufc/100ml	APHA-9221-C	1000	53.6	7	593.8	113	150	93	428	154.3	170	170	280	21
Color Real	UPt-Co	HACH 8025	75	44	31	41	49	78	38	154	41	32	60	31	60
Conductividad	us/cm	APHA-2510-B	-	227	0	225.4	219.3	164.4	338	156	234.4	588	403	288.2	260.9
Dureza Total	mg/l	APHA2340c	-							44.3					
Fluoruro	mg/l	HACH 8029	1.5	0.29				0.24				0.32			
Nitratos	mg/l	HACH 8039	50	3.8			1.4			8.2					
PH	UpH	APHA-4500 H+B	6-9	7.55	9.41	7.24	8.12	8.17	6.97	8.18	7.86	7.22	8.44	7.35	8.31
Turbidez	NTU	APHA-2130-B	100	8.95	2.31	9.09	4.81	18.8	5.94	4.31	7.06	2.97	8.26	4.17	7.78
Humedad	%			43	43	36	38	36	36	41	41	38	38	32	36
Temperatura	°C			23.5	23.5	25.5	24.1	24.1	24.1	19.7	19.7	18	20.4	23.1	23.4

**Tabla 3. Parámetros de calidad en la fuente de ingreso. TILULUM**

Parametros	Unidades	Metodo	TUSLA Libro VI. Anexo 1	SISTEMA TILULUM											
				ene	feb	mar	abr	mayo	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
BARIO	mg/l	APHA3111D	1	0.193							0.056				
CIANURO	mg/l	HACH 8027	0.1		0.003						0.001				
COBRE	mg/l	HACH 8506	2		0.01					0.03			0.05		
Coliformes Fecales	ufc/100ml	APHA-9221-C	1000	113.7	4	290.9	325.5	460	150	816	38.3	63	84	210	3.6
Color Real	Upt-Co	HACH 8025	75	48	34	49	73	103	44	116	44	30	21	20	116
Conductividad	us/cm	APHA-2510-B	-	264	0.016	331	171	123.4	255.4	145.6	247.4	750	2857	360	281.2
Dureza Total	mg/l	APHA2340c	-							24.55					
Fluoruro	mg/l	HACH 8029	1.5	0.2				0.04				0.21			
Nitratos	mg/l	HACH 8039	50	2			2.1			10.4					
PH	UpH	APHA-4500 H+B	6-9	7.63	8.23	7.66	7.52	8	6.99	8.02	8.02	7.04	8.17	7.62	8.14
Turbidez	NTU	APHA-2130-B	100	5.61	2.76	5.64	12.4	19	5.25	2.2	4.77	2.82	1.66	0.69	18.5
Humedad	%			43	43	36	38	36	36	41	41	38	38	32	
Temperatura	°C			23.5	23.5	25.5	24.1	24.1	24.1	19.7	19.7	18	20.4	23.1	23.4