

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA ALMACENADA EN CISTERNAS EN LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

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

**KATHERINE SOFIA IMBAQUINGO ULCUANGO**

kathe.i217@gmail.com

**ROMMY ANGELICA MENDOZA CHINACALLE**

angelica7101996@hotmail.com

**DIRECTOR: Ing. SANTIAGO GUERRA, MSc.**

santiago.guerra@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: Ing. MARÍA BELÉN ALDÁS, MSc.**

maria.aldas@epn.edu.ec

**Quito, septiembre de 2018**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el trabajo fue desarrollado por Katherine Sofía Imbaquingo Ulcuango y Rommy Angélica Mendoza Chinacalle, bajo nuestra certificación.

---

Ing. Santiago Guerra MSc.  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. María Belén Aldás, MSc.  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotras Katherine Sofía Imbaquingo Ulcuango y Rommy Angélica Mendoza Chinacalle, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Katherine Sofía Imbaquingo Ulcuango**

---

**Rommy Angélica Mendoza Chinacalle**

## AGRADECIMIENTO

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela Politécnica Nacional por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Ing. Santiago Guerra tutor de nuestro proyecto integrador quien nos ha guiado con su paciencia, rectitud como docente, y amistad.

De igual manera nuestros agradecimientos a las ingenieras María Belén Aldás, Lorena Gallardo, Melania Intriago por su colaboración con este proyecto. Al personal de Servicios Generales y Talleres de la Escuela Politécnica Nacional, al Ing. Walter Paredes quién nos permitió acceder a las cisternas y al Sr. Ítalo Rengel quién nos acompañó durante los muestreos.

A nuestros amigos Alvaro Calo y Francisco Guerrero, por habernos dado su amistad incondicional durante los años de desarrollo profesional y durante la elaboración de este proyecto.

***Sofía y Rommy.***

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a la Santísima Virgen del Quinche por brindarme fortaleza y permitirme culminar mi educación superior.

A mi madre, Margoth, por ser el pilar fundamental en mi vida y brindarme un amor verdadero, por sus sabios consejos que me brinda día a día. Gracias a ellos me he convertido en una profesional. Este logro ha sido en gran parte gracias a ti mamita querida, lo logramos juntas TE AMO.

A mi padre, Hugo, por su esfuerzo para que nunca nos falte nada a mí y mis hermanos y primordialmente por su confianza depositada durante esta etapa de mi vida que se culmina.

A mis hermanos, Dario y Marcelita, por ser mi inspiración para ser mejor persona cada día y confiar en mí plenamente, son los mejores hermanos del mundo.

A Paúl C., por tu amor incondicional, paciencia, apoyo y compañía durante mi formación profesional.

***Sofia I.***

Dedico este trabajo a mi Papá, Jorge a quién amo con todo mi corazón, por permitirme llegar a este momento de mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil, por haber velado por mí durante este arduo camino para convertirme en profesional, por ser quien ha estado apoyándome y guiándome en cada momento, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años.

A mi madre por apoyarme y formarme para afrontar y salir victoriosa de las adversidades, a mi hermano por los buenos momentos vividos que aunque no siempre estemos de acuerdo, siempre voy a querer y cuidar.

***Rommy M.***

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo evaluar física, química y microbiológicamente el agua almacenada en ocho cisternas dentro de la Escuela Politécnica Nacional, en base al cumplimiento de los LMP (límites máximos permisibles) de las normas INEN: 1108 y TULSMA Libro V Anexo I Tabla 1, donde se establecen los requisitos que se debe cumplir el agua potable para consumo humano.

La evaluación inició con una inspección de las instalaciones hidrosanitarias con la ayuda del personal de servicios generales y talleres. Se visitó todos los puntos que poseen una cisterna y se determinó cuales eran aptos para el análisis.

Posteriormente se procedió con el muestreo y caracterización del agua proveniente de la red de distribución del DMQ y de los tanques de almacenamiento. Una vez obtenidos los resultados de los análisis se procedió a evaluar el ICA (índice de calidad del agua) concluyendo que la misma se encuentra en un rango excelente y por lo tanto que es apta para consumo humano. De todos los análisis realizados, el cloro libre residual es el único parámetro que no cumple con la norma en algunas cisternas.

A pesar de que los resultados de la evaluación muestran que el agua abastecida en la EPN, cumple con las normas mencionadas anteriormente, se estableció un plan de mejoras que eviten la posible contaminación directa o indirecta. Éste contiene detalladamente los pasos a seguir para la realización del mantenimiento preventivo y correctivo para sistemas de bombeo, así como recomendaciones encontradas durante las evaluaciones visuales y el muestreo.

**Palabras clave:** LMP, hidrosanitarias, cisterna, ICA, cloro libre residual, plan de mejora, mantenimiento correctivo y preventivo, red de distribución, abastecimiento.

## ABSTRACT

The objective of this project was to evaluate the physical, chemical and microbiological quality of water stored in eight tanks inside the National Polytechnic School (Escuela Politécnica Nacional, EPN); based on compliance with the MPL (maximum permissible limits) of the standards INEN 1108 and TULSMA Libro VI Anexo I Tabla 1, where the requirements for drinking are established.

The evaluation began with an inspection of the plumbing facilities with the help of General Service staff and workshops. All points possessing a tank were visited and it was determined which ones were suitable for analysis.

The water from the distribution network of DMQ and storage tanks were sampled and characterized. After obtaining the results of the analysis the WQI (water quality index) was evaluated concluding that it is in an excellent range and therefore it is suitable for human consumption. Of all the analyzes that were carried out residual free chlorine is the only parameter that does not meet the standard in some tanks.

Although the results of the evaluation show that the water supplied in the EPN complies with the standards mentioned above, an improvement plan to avoid the possible direct or indirect contamination was formulated. It contains the steps to implement the preventive and corrective maintenance for pumping systems as well as recommendations found during the visual assessments and sampling.

**Keywords:** MPL, plumbing, water tank, WQI, residual free chlorine, improvement plan, corrective and preventive maintenance, distribution network supply.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Fundamento teórico .....	4
1.4.1. Agua potable.....	4
1.4.2. Muestreo.....	5
1.4.3. Plan de muestreo.....	7
1.4.4. Parámetros a analizar.....	8
1.4.4.1. Parámetros físicos .....	9
1.4.4.2. Parámetros químicos .....	10
1.4.4.3. Parámetros microbiológicos.....	15
1.4.5. Índice de calidad de agua.....	16
1.4.6. Plan de mejoras.....	17
2. Metodología experimental.....	19
2.1. Descripción del sitio de estudio.....	19
2.2. Muestreo .....	21
2.3. Equipos, materiales y reactivos.....	24
2.4. Análisis de parámetros.....	27
2.4.1. Parámetros físicos .....	27
2.4.2. Parámetros químicos.....	28
2.4.3. Parámetros microbiológicos.....	42
2.5. Índice de calidad del agua.....	46
3. Resultados y discusión .....	49
3.1. Resultados y discusión análisis físicos puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque).....	52



3.2. Resultados y discusión análisis químicos puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque). .....	56
3.3. Resultados y discusión análisis microbiológicos puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque). .....	73
3.4. Resultados y discusión del análisis del índice de calidad del agua puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque).....	75
3.5. Resultados y discusión del plan de mejoras. ....	78
4. Conclusiones y recomendaciones .....	80
4.1. Conclusiones.....	80
4.2. Recomendaciones.....	81
5. Referencias bibliográficas .....	83
ANEXO I. Muestreo .....	87
ANEXO II. Normativa ecuatoriana .....	90
ANEXO III. Ejemplos de cálculos .....	93
ANEXO IV. Fotografías .....	99
ANEXO V. Socialización plan de mejoras .....	101
ANEXO VI. Plan de Mejoras.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica EPN.....	19
<b>Figura 2.</b> Ubicación cisternas EPN .....	20
<b>Figura 3.</b> Determinación de Turbidez .....	28
<b>Figura 4.</b> Determinación de Cloro Libre Residual .....	29
<b>Figura 5.</b> Determinación de Cloruros.....	30
<b>Figura 6.</b> Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).....	33
<b>Figura 7.</b> Determinación de Dureza Total .....	34
<b>Figura 8.</b> Determinación de Hierro total.....	35
<b>Figura 9.</b> Muestra para análisis de Oxígeno Disuelto .....	37
<b>Figura 10.</b> Determinación de Oxígeno Disuelto .....	38
<b>Figura 11.</b> Determinación de Potencial de Hidrógeno (pH) .....	39
<b>Figura 12.</b> Determinación de Sólidos Disueltos Totales .....	40
<b>Figura 13.</b> Determinación de Sólidos Totales .....	42
<b>Figura 14.</b> Preparación de medio de cultivo .....	43
<b>Figura 15.</b> Medio de cultivo, agua de dilución y puntas plásticas listas para esterilización.....	44
<b>Figura 16.</b> Determinación de Coliformes Totales.....	45
<b>Figura 17.</b> Determinación de Coliformes Totales Prueba Presuntiva .....	46
<b>Figura 18.</b> Resultado análisis Color.....	53
<b>Figura 19.</b> Resultado de análisis Conductividad.....	54
<b>Figura 20.</b> Resultado de análisis Temperatura .....	55
<b>Figura 21.</b> Resultado de análisis Turbidez.....	56
<b>Figura 22.</b> Resultado de análisis Cobre.....	59
<b>Figura 23.</b> Resultado análisis Cloro libre residual.....	60
<b>Figura 24.</b> Resultado de análisis Cloruros .....	61
<b>Figura 25.</b> Resultado de análisis Cromo Hexavalente .....	62
<b>Figura 26.</b> Resultado de análisis Demanda Química de Oxígeno .....	63
<b>Figura 27.</b> Resultado de análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	64
<b>Figura 28.</b> Resultado análisis Dureza total .....	65
<b>Figura 29.</b> Resultado de análisis Hierro total .....	66

<b>Figura 30.</b> Resultado de análisis Níquel .....	67
<b>Figura 31.</b> Resultado de análisis Nitratos .....	68
<b>Figura 32.</b> Resultado de análisis Nitritos .....	69
<b>Figura 33.</b> Resultado de análisis Oxígeno Disuelto .....	70
<b>Figura 34.</b> Resultado de análisis Potencial de Hidrógeno .....	71
<b>Figura 35.</b> Resultado de análisis Sólidos disueltos totales .....	72
<b>Figura 36.</b> Resultado de análisis Sólidos totales .....	73
<b>Figura 37.</b> Valores de ICA puntos "AT" y "T" .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación del ICA propuesto por Brown .....	17
<b>Tabla 2.</b> Aspectos físicos EPN.....	19
<b>Tabla 3.</b> Ubicación cisternas EPN.....	20
<b>Tabla 4.</b> Codificación de cisternas .....	21
<b>Tabla 5.</b> Cronograma de muestreo y análisis.....	22
<b>Tabla 6.</b> Parámetros Físicos – Equipos, materiales y reactivos.....	24
<b>Tabla 7.</b> Parámetros Químicos – Equipos, materiales y reactivos .....	25
<b>Tabla 8.</b> Parámetros Microbiológicos – Equipos, materiales y reactivos .....	26
<b>Tabla 9.</b> Rango de DQO .....	31
<b>Tabla 10.</b> Volumen para DBO en base a DQO .....	33
<b>Tabla 11.</b> Clasificación de la dureza por concentración de $\text{CaCO}_3$ .....	34
<b>Tabla 12.</b> % de saturación de oxígeno en el agua en base a la temperatura .....	39
<b>Tabla 13.</b> Coeficientes de ponderación y Fórmulas para el cálculo del ICA .....	47
<b>Tabla 14.</b> Resultados de análisis parámetros físicos, químicos y microbiológicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque) INEN 1108.....	50
<b>Tabla 15.</b> Resultados de análisis parámetros físicos, químicos y microbiológicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque) TULSMA.....	51
<b>Tabla 16.</b> Resultados de análisis parámetros físicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque).....	52
<b>Tabla 17.</b> Resultados de análisis parámetros químicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque).....	57
<b>Tabla 18.</b> Resultados de análisis parámetros microbiológicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (En el Tanque).....	74
<b>Tabla 19.</b> Índice de Calidad del Agua Puntos “AT” (Antes del tanque) y “T” (Tanque).....	76

## **1. Introducción**

En la actualidad, los sistemas de distribución de agua potable en las ciudades garantizan la disponibilidad de agua potabilizada sin interrupciones, la mayor parte del tiempo; lo que deja el uso de cisternas para comunidades rurales, agrícolas o aquellas cuya ubicación geográfica presenta un limitante para su abastecimiento. Sin embargo, es posible constatar que en varios puntos del DMQ se mantiene un sistema de distribución de agua con cisternas domésticas. Factores como cortes de agua en las redes públicas, sistemas de emergencia para incendios, sectores donde las presiones y caudales son bajos, ubicación de las plantas potabilizadoras en los extremos de la ciudad y la modernización urbanística, han convertido a las cisternas domésticas en alternativas indispensables para el diario vivir (EPMAPS, 2018).

Diferentes localidades del DMQ han presentado problemas de abastecimiento debido a las características topográficas del lugar, mientras que otros factores como la presión o la pendiente natural del suelo permiten la distribución del agua sin necesidad de mecanismos de bombeo o succión (ARCA, 2018).

Debido a que el mayor impacto sobre la salud pública se da a través de los sistemas de abastecimiento de agua, se debe tener en cuenta el control de la calidad y procesos de potabilización, ya que si no podría convertirse en vehículo de transmisión de enfermedades por contaminación (SEMARNAT, 2014).

Con la finalidad de garantizar la calidad del agua suministrada a la comunidad politécnica, se realizó una evaluación físico-química y microbiológica de los puntos de abastecimiento a la red para de este modo, aportar con soluciones en el caso de presentarse fallas que intervengan en la eficiencia de las operaciones y calidad del recurso.

### **1.1. Antecedentes**

En la ciudad de Quito 90 % del agua potable es distribuida a través de plantas potabilizadoras, las mismas cuentan con certificaciones que garantizan su calidad, como son; ISO 9001:2000, ISO 14000, entre otras (ARCA, 2018).

De acuerdo a estudios realizados por universidades locales, el agua de la red de distribución del DMQ es apta para el consumo humano, sin embargo, sus propiedades se ven alteradas debido a los materiales, o falta de mantenimiento de las instalaciones hidrosanitarias, entre las cuales se puede encontrar a las cisternas domésticas o institucionales (EPMAPS, 2018).

Con referencia a la situación de la Escuela Politécnica Nacional, fue posible evidenciar que, durante el corte de agua ocurrido en el DMQ el 07/12/2017, varios edificios de la EPN hicieron uso del agua almacenada constantemente en cisternas.

De acuerdo a lo que se aprecia dentro de la EPN varias instalaciones cuentan con cisternas con uso continuo debido a la ubicación geográfica al igual que la arquitectura de sus edificios. En su mayoría las edificaciones cuentan con más de 3 pisos, lo que impide el aprovechamiento de la presión propia de la red de distribución para el abastecimiento de agua potable, derivando en la necesidad de tanques de almacenamiento y sistemas de bombeo (Carrera, 1977).

El mantenimiento de las instalaciones está bajo la supervisión del departamento de servicios generales, sin embargo de acuerdo con el Ing. Walter Paredes (Encargado del departamento de Servicios Generales y Talleres) se lo realiza de forma ocasional más, no bajo un plan pre-programado, lo que podría derivar en la aparición de contaminación indirecta para la red de abastecimiento. Dentro de este marco es necesario considerar que, en este tipo de sistemas, donde el agua se almacena por largos períodos de tiempo, su vida útil se reduce (Paredes, 2018).

Lo mencionado anteriormente muestra que el estado del agua de las cisternas utilizadas en la EPN podría estar afectada, por lo que una evaluación de parámetros físico-químicos y microbiológicos permitiría conocer e incluso llegar a garantizar la calidad del agua en su lugar de almacenamiento.

## 1.2. Justificación

El agua es el recurso natural más abundante dentro del planeta y el elemento principal para la vida, además de encontrarse estrechamente relacionado con el desarrollo de los distintos organismos (OMS, 2006).

La calidad del agua se determina según su uso, los parámetros que caracterizan al agua para consumo humano, también conocida como potabilizada o inocua, deben cumplir con límites máximos permisibles establecidos dentro de la norma INEN 1108. Además, debido a que ciertos parámetros como el hierro total han sido descartados de la norma INEN 1108, se usará el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente) 2015 Libro VI Anexo 1 Tabla 1 (Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional) debido a que sí el agua es consumida se espera la mejor calidad de la misma (INEN, 2014).

Como es de conocimiento público, el uso de una cisterna trae beneficios al momento de un corte de agua potable, ésta puede abastecer a toda la comunidad por un tiempo determinado. Sin embargo, al mantener el agua almacenada ésta puede perder sus propiedades que la vuelven óptima para el consumo humano, por lo expuesto se precisa obtener información sobre la calidad con ayuda del cálculo del Índice de Calidad del Agua. Con la ayuda de este método, se sintetiza la información obtenida de una gran cantidad de parámetros permitiendo una interpretación rápida y sencilla del estado del agua a analizar (García , 2012).

De esta manera, el proyecto es una alternativa a la problemática expuesta en los antecedentes, ya que mediante la evaluación de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua almacenada en cisternas dentro de la EPN se logró determinar la calidad ésta. Esto se realizó basándose en la normativa establecida por la legislación ecuatoriana INEN 1108. La principal herramienta que se utilizó fue la interpretación de análisis de agua dentro del laboratorio, con el objeto de prevenir enfermedades hídricas en personal docente, administrativo y estudiantes politécnicos que hagan uso del agua almacenada en caso de emergencia.

Adicionalmente, con el desarrollo de este proyecto se implementó un plan de mejora en donde se evidencian las acciones de mejora correspondientes para cada cisterna, en caso de que la calidad del agua de ésta no se encuentre dentro de la normativa vigente (SENAGUA, 2016). Las acciones de mejora correctiva que se propusieron dentro del plan servirán para que la calidad del agua se mantenga óptima para el consumo humano en caso de ser requerida.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar física, química y microbiológicamente el agua almacenada en las cisternas de la Escuela Politécnica Nacional.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Seleccionar las cisternas que serán evaluadas dentro de la Escuela Politécnica Nacional.
2. Realizar un plan de muestreo acorde a las condiciones de las cisternas seleccionadas.
3. Caracterizar parámetros físico-químicos y microbiológicos de las cisternas seleccionadas.
4. Determinar el estado del agua de acuerdo a la normativa establecida por la legislación ecuatoriana para consumo humano.
5. Calcular el índice de calidad de agua de las muestras de agua tomadas de las cisternas.
6. Realizar un plan de mejoras que indique las acciones correctivas que optimicen la calidad del agua.

### **1.4. Fundamento teórico**

#### **1.4.1. Agua potable**

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) se denomina agua potable a “aquella cuyo consumo es apto para el humano sin presentar ningún riesgo para la salud, ya que presenta tratamientos que garantizan la calidad de la misma”.



El agua es el componente más importante para los seres humanos y el mundo, al influenciar en los procesos que ocurren en la naturaleza no solo en sus propiedades físico-químicas, sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos dentro de ella (SEMARNAT, 2014).

En la actualidad, la calidad del agua potable genera preocupación en las autoridades de varios países desarrollados y en vías de desarrollo debido a la presencia de agentes infecciosos, uso de productos químicos y en algunos casos la exposición radiológica (CONAGUA MEXICO, 2014).

Se ha reconocido que sustancias químicas y agentes microbianos pueden producir grandes efectos sobre la salud, siendo expuestos por medio del agua potable. El agua de consumo humano no debería ocasionar ningún tipo de riesgo ni afectación significativa para la salud humana (OMS, 2018).

La normativa para el consumo de agua potable o inocua puede diferir de país a país e incluso de una localidad a otra. No existe una legislación única que permita regular el consumo de la misma al igual que la calidad que esta debe poseer; por lo cual la OMS ha desarrollado un marco reglamentario fundamental para que cada país pueda desarrollar y establecer su propio reglamento. En el Ecuador la normativa establecida para calidad del agua potable es la norma INEN 1108 (OMS, 2005).

#### **1.4.2. Muestreo**

Se denomina muestreo al conjunto de técnicas que permiten la extracción de una porción representativa de masa de un cuerpo de agua con el fin de analizar o examinar sus diferentes características físicas, químicas, microbiológicas o radiactivas, lo que significa que se deberán emplear diversas técnicas o criterios de toma (OMS, 2005).

Durante el muestreo se debe garantizar que las muestras siempre sean representativas, al igual que las precauciones para la conservación de las mismas, de forma que la muestra no experimente ningún tipo de alteración desde su toma hasta el análisis (ADECAGUA, 1992).

Al realizar un muestreo se toman en cuenta los parámetros a analizar, dividiéndolos en dos grupos: análisis físico-químicos y análisis microbiológicos. Por una parte para la toma de muestras para análisis físico-químicos es necesario tener en cuenta diversos aspectos de acuerdo a la norma INEN 1108:

- Rotulación del envase
- Enjuagar el envase tres veces con el agua de la muestra (desechando el agua que se usó para enjuagar).
- Llenar el frasco de la muestra sin dejar espacios de aire o no dejando un equivalente al 1% del envase.
- Cerrar el envase asegurando que no haya fugas. Mantener la muestra en un espacio fresco asegurándose que no sea expuesta al sol y de ser necesario usando una conservadora (cooler).

Por otra parte, la toma de muestras para análisis microbiológico debe presentar los siguientes aspectos (INEN, 1998):

- Calentar el grifo durante 1 o 2 minutos pudiendo utilizar mecheros.
- Si el agua a muestrear posee rastros de cloro es necesario agregar tiosulfato de sodio, anti cloro o utilizar envases que ya lo contengan para evitar que interfiera durante el análisis.
- Usar guantes y cubre bocas para evitar contaminar la muestra.
- Usar siempre frascos estériles sosteniéndolos de manera que siempre miren hacia abajo, evitar tocar con los dedos la boca del mismo.
- Para llenar el frasco se debe dejar un espacio de aire, inclinándolo a 45° para evitar partículas externas especialmente cuando se trabaja en el exterior y tapar inmediatamente asegurando un cierre perfecto.
- Guardar la muestra de manera indispensable en la conservadora o cooler con hielo para inhibir el crecimiento microbiano, trasladarla lo más pronto posible al laboratorio.

Una muestra no solo debe ser tomada siguiendo parámetros específicos para su análisis, sino que se puede clasificar: por el lugar de la muestra o por el tipo de muestra (CONAGUA, 2015).

#### Por el lugar de la muestra

Pozos someros o fuentes similares (cisterna, aljibe, etc.)

Para la realización de un muestreo en pozos someros o fuentes similares es necesario que la muestra sea tomada bajando el envase hasta una profundidad de aproximadamente 15 a 30 cm desde la superficie libre del líquido, evitando que se rocen las paredes del pozo o tanque. En casos en los que no es posible tomar la muestra solo con la mano, se deberá atar al frasco un sobre peso usando el extremo de un cordel limpio o equipo muestreador comercial (INTA, 2010).

#### Por el tipo de muestra

- Muestreo simple

Se toma en un sitio determinado una sola vez. Usado para determinar parámetros de calidad de agua como: potabilidad, etc (ANECA, 2017).

- Muestreo compuesto

Se toman varias muestras en distintos momentos, para colocarlos en el mismo recipiente o individuales (ANECA, 2017).

- Muestreo sistemático

Se selecciona aleatoriamente un elemento para la muestra y luego se seleccionan los demás elementos usando intervalos fijos o sistemáticos hasta alcanzar el tamaño de la muestra deseada (ANECA, 2017).

### **1.4.3. Plan de muestreo**

La realización de un plan de muestreo es el primer paso para la determinación de la calidad de una muestra de agua. La toma de la muestra debe realizarse de manera programada en base a un plan y teniendo mucho cuidado, con el fin de garantizar que el resultado analítico represente la composición real de la fuente de origen (ADECAGUA, 1992).

Un plan de muestreo debe contener como mínimo, la siguiente información que deberá ir detallada en una planilla (SEMARNAT, 2014):

- Identificación de los muestreadores
- Codificación única de la muestra
- Ubicación del sitio de muestreo (georreferenciación)
- Descripción de la fuente y características de la misma (la fuente es cercana a pozos negros o industrias, existencia de pozos abandonados o fosas sépticas, etc.)
- Uso final de la fuente (consumo humano, animal, riego, etc.)
- Información sobre el lugar de la fuente (ubicación, propietario, vías de contacto, etc.)
- Condiciones de muestreo (fecha y hora, nombre de quien realizó el muestreo)
- Tipo de análisis a efectuar
- Preservación de la muestra (reactivos de haberse usado)
- Observaciones a tomar en cuenta
- Parámetros in situ (temperatura, pH)
- Equipo y materiales de campo a utilizar como envases rotulados para el muestreo (o bien envases y elementos para rotular - cinta o etiqueta autoadhesiva y tinta indeleble)

#### **1.4.4. Parámetros a analizar**

Para determinar la calidad del agua se suelen caracterizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales ayudan a identificar el estado de un cuerpo hídrico, es por ello que los cuerpos legales a utilizar son: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI, Anexo I, Tabla 1 y la norma INEN 1108.

#### 1.4.4.1. Parámetros físicos

- **Color y olor**

El color y olor no son parámetros precisos para determinar la contaminación del agua. El agua carece de color, debido a esto es importante saber diferenciar el color aparente del color real. Se conoce como color aparente al que es causado por la materia en suspensión, mientras que el color real se debe a extractos orgánicos. Si este parámetro llega a sobrepasar los límites máximos permisibles según la normativa vigente, se puede presumir que existe una ineficiencia dentro del sistema de distribución de agua potable (Aznar, 2000).

- **Conductividad**

La conductividad es la capacidad de transmitir una corriente eléctrica, esto es debido a la presencia de sales ionizadas en el agua. El agua potable podría presentar estos valores debido al sistema de distribución, posibilidad de disolución de rocas y materiales, presencia de sales, pH, temperatura, gases disueltos, etc. (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua, 2015).

- **Temperatura**

La temperatura es un parámetro físico de gran importancia, que puede ayudar a predecir y confirmar las condiciones en las que se encuentra el cuerpo de agua, además de tener gran influencia sobre otros parámetros de calidad como son el Oxígeno Disuelto (OD) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Su alteración se encuentra estrechamente relacionada con el desarrollo de vida acuática, reacciones químicas y velocidad de reacción. Elevadas temperaturas en el agua pueden ocasionar la proliferación hongos, por ende, si las personas consumen este tipo de agua podrían padecer enfermedades gastrointestinales (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua, 2015).

- **Turbidez**

La turbidez es un parámetro físico de gran importancia, indicador de calidad de agua, que se produce por la presencia de materia en suspensión que absorbe la luz. Elevados niveles de turbidez suelen relacionarse con la presencia de organismos patógenos que pueden afectar la salud humana debido a enfermedades hídricas (Reasco & Yar, 2010).

#### 1.4.4.2. Parámetros químicos

- **Cobre (Cu)**

El cobre es un metal que se puede encontrar en la naturaleza, conocido por su conductividad eléctrica. Por lo general, cuando se detectan altos contenidos de cobre en el agua de consumo humano es debido a las tuberías del sistema de distribución, ya que pueden presentar corrosión, el agua puede reaccionar con el cobre y disolver pequeñas cantidades de cobre dentro del suministro. La presencia de cobre en las muestras de agua se deriva de la corrosión en cañerías fabricadas con este material, debido a su potencial para minimizar microorganismos. Los individuos que ingieren esta agua pueden ser expuestos a niveles elevados de cobre (INEN, 1984).

- **Cloro libre residual**

El cloro es el agente desinfectante más usado, cuando se adiciona cloro al agua para su proceso de desinfección este reacciona con la materia orgánica y elementos químicos presentes. El cloro residual es el cloro libre que permanece en el agua después del proceso de cloración. El cloro libre residual en agua para consumo humano se encuentra presente como una combinación de hipoclorito de sodio y ácido hipocloroso, en una proporción que varía según el pH (AgbarAgua, 2016).

El cloro libre residual en muestras de agua es inestable, este tiende a decrecer inmediatamente. Hay factores que aceleran la reducción de contenido de cloro

como es la exposición a la luz de sol u otra luz fuerte y la agitación. Es por ello, que los análisis de cloro en muestras de agua deben realizarse inmediatamente después de ser recolectada (Organización Panamericana de la Salud , 1988).

No se han identificados casos en relación a la salud de los seres humanos que hayan estado expuestos a altas concentraciones de cloro libre residual en agua potable (OMS, 2018).

- **Cloruros**

El cloruro es un anión inorgánico cuya presencia se debe a la disolución de suelos y rocas que se encuentran en contacto con el cuerpo de agua. Elevados niveles de cloruros en el agua pueden afectar a las tuberías del sistema de distribución, ya que el incremento de éstos aumenta la corrosión en el agua (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua, 2015).

El ión cloruro  $\text{Cl}^-$  es esencial para la salud humana ya que contribuye a la producción de ácido clorhídrico (HCl) en el estómago y al balance de electrolitos en la sangre, el consumo de una dosis mayor a 2 mg/l podría causar toxicidad en los seres humanos (Aznar, 2000).

- **Cromo hexavalente**

El Cromo (VI) o cromo hexavalente se puede encontrar de forma natural en plantas, suelos y rocas. La presencia de este metal dentro del sistema de distribución de agua potable es debido a la contaminación por desechos industriales. El cromo hexavalente puede afectar a la salud humana ya que es cancerígeno y puede provocar ciertos problemas genéticos (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua, 2015).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO permite determinar la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra de agua por medio de reactivos químicos. Los resultados de DQO que se obtienen después del ensayo,

siempre, son mayores a los resultados de la  $DBO_5$ , debido a que el oxidante químico es capaz de reaccionar con sustancias de difícil biodegradación para los microorganismos (Aznar, 2000).

El ensayo de la DQO tiene la ventaja sobre el DBO ya que el tiempo de análisis es más corto (2 horas) y no se encuentra relacionado con tantas variables biológicas (Reasco & Yar, 2010).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La DBO es un parámetro importante de contaminación, permite determinar el consumo de oxígeno para la degradación de materia orgánica biodegradable por parte de los microorganismos presentes en el agua, bajo condiciones aerobias. Se entiende por materia biodegradable a la materia orgánica que sirve de alimento a los microorganismos y proporciona energía como resultado de su oxidación (Aznar, 2000).

El ensayo de DBO dura un periodo de 5 días, es por ello que se denomina  $DBO_5$ . En este lapso de tiempo se mide la cantidad de  $O_2$  que necesitan las bacterias aerobias al momento de consumir la materia orgánica biodegradable presente en el agua que se analiza (INEN, 2013).

- **Dureza Total**

La dureza total en el agua se da por presencia de sales principalmente de calcio y magnesio. El agua dura puede producir problemas de incrustaciones en tuberías afectando el sistema de distribución. El grado de dureza en el agua es directamente proporcional a la concentración de las sales de calcio y magnesio (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua, 2015).

- **Hierro total (Fe)**

El hierro es un metal que se encuentra en grandes cantidades dentro de la corteza terrestre. Se pueden encontrar trazas de hierro en el agua para consumo humano debido al uso de coagulantes de hierro para el proceso de potabilización,



o a la corrosión de tuberías que forman parte del sistema de distribución, alterando la calidad del agua y provocando que el agua tome un color rojizo (OMS, 2003).

- **Níquel (Ni)**

El níquel es un metal que se caracteriza por ser buen conductor eléctrico y térmico y sobre todo es resistente a la corrosión. La presencia de níquel en el agua se debe a las tuberías y accesorios que son elaborados de acero inoxidable. Altas cantidades de níquel en el agua para consumo humano pueden producir efectos dañinos sobre la salud (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua, 2015).

- **Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )**

Los nitratos  $\text{NO}_3^-$  son compuestos solubles que se encuentran formados por nitrógeno y oxígeno, forman parte del ciclo del nitrógeno. La presencia de nitratos en el agua se da principalmente por el uso de fertilizantes que no son correctamente absorbidos por las plantas y son arrastrados por la escorrentía hacia las fuentes de agua subterránea y superficial (OMS, 2003).

- **Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )**

Los nitritos  $\text{NO}_2^-$  son compuestos solubles que se encuentran formados por nitrógeno y oxígeno, forman parte del ciclo del nitrógeno. Naturalmente los nitritos se transforman en nitratos y viceversa, por medio de la reducción u oxidación microbiana. La cantidad de nitritos en el agua se utiliza generalmente como indicador de contaminación bacteriológica (Reasco & Yar, 2010).

- **Oxígeno disuelto (OD)**

El OD se expresa como la cantidad de oxígeno que se encuentra presente en una muestra de agua. Éste es un indicador de calidad, mientras más alto sea el valor mejor calidad tendrá el cuerpo de agua. El OD se encuentra relacionado con la temperatura, a menor temperatura mayor cantidad de oxígeno disuelto se encuentra dentro de un cuerpo de agua, mientras que en aguas con mayor temperatura los valores de OD serán bajos. Alto niveles de OD dentro del sistema de abastecimiento de agua potable eleva la velocidad de corrosión en las tuberías (Peña, 2007).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH permite determinar si un cuerpo de agua es ácido, básico o neutro, esto se logra con la ayuda de una escala que va de 0 a 14, en la escala un valor de pH menor a 7 indica que el agua es ácida, un valor mayor a 7 se considera que el agua es básica y cuando el pH es igual a 7 el agua es neutra.

El pH es un parámetro importante de calidad de agua debido a que su constante control garantiza la eficiencia en los procesos de clarificación y desinfección dentro de sistema de abastecimiento de agua. El agua para consumo humano debe presentar un pH dentro del rango de 6 a 9 (Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua, 2015).

- **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

Los sólidos totales disueltos muestran la cantidad de material disuelto presente en el agua, también los SDT son la concentración total de sales inorgánicas e indican la salinidad del medio. Elevados niveles de SDT pueden afectar la calidad del agua ya que provoca apariencia turbia y disminuir el sabor de la misma (Aznar, 2000).

- **Sólidos Totales (ST)**

Los sólidos totales son la suma de sólidos suspendidos y disueltos que puede presentar el agua, de igual manera los ST son el material que se queda después

de someter a una muestra de agua a evaporación. Los ST pueden afectar a la calidad del agua, ya que altas concentraciones de éste pueden provocar un sabor desagradable al paladar (Alberro, 2009).

#### 1.4.4.3. Parámetros microbiológicos

- **Coliformes totales y/o fecales**

Los análisis microbiológicos son de gran importancia en agua de consumo humano ya que la presencia microbiana puede aumentar o disminuir de un momento a otro. En sistemas de almacenamiento y abastecimiento de agua potable como las cisternas se pueden dar diferentes infiltraciones del medio externo como por ejemplo el agua lluvia, polvo, etc. (NCPH, 2009).

Las bacterias coliformes totales son usadas como indicadores de calidad del agua, ya sea esta una fuente natural o agua potabilizada. Su presencia señala organismos patógenos que pueden causar enfermedades, aunque la mayoría de coliformes totales no causarían una enfermedad, exceptuando a las coliformes fecales (*Escherichia coli*) (NCPH, 2009).

Las coliformes totales son encontradas comúnmente en el medio ambiente como el suelo y las plantas agrupan a todas las bacterias gram-negativas de forma bacilar, facultativa anaeróbicas y aeróbicas, se clasifican en *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*. Las coliformes fecales también conocidas como *Escherichia coli*, se encuentran en grandes cantidades en los intestinos de seres humanos y animales de sangre caliente. Su presencia indica que el agua está contaminada con excremento o desechos de alcantarillas y que tiene el potencial para causar enfermedades, si se encuentra presencia de coliformes fecales en muestras de agua potable significa que los procesos de desinfección han fracasado (OMS, 2005).

La realización de la prueba de coliformes totales no asegura la existencia de contaminación fecal, aunque advierte su presencia (Carrillo, 2008).

#### 1.4.5. Índice de calidad de agua

El índice de calidad de agua muestra el grado de contaminación de un cuerpo hídrico, con la ayuda de una escala de 0 a 100. Su cálculo consiste en la utilización de diversas expresiones matemáticas según los parámetros que caracterizan la calidad del agua (Villa, 2011).

Dentro de la determinación del Índice de Calidad de Agua, si el agua se encuentra altamente contaminada o en condiciones pésimas tendrá un ICA=0%, mientras el agua que se encuentra en excelentes condiciones presentará un ICA=100% (Alberro, 2009).

Existen tres etapas importantes que se deben tomar en cuenta al momento del desarrollo del ICA (SNET, 2018):

- Determinar los parámetros físico-químicos y microbiológicos de calidad de agua que serán utilizados como indicadores de calidad.
- Luego, asignar la ponderación a cada uno de los parámetros. Es importante asignar una ponderación racional y unificada a los parámetros según el uso del agua, caso contrario esto podría llegar a la subjetividad.
- Finalmente, se determina el índice con la agrupación de los subíndices, logrando obtener el ICA global, utilizando la siguiente fórmula:

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

**Ecuación 1.** Cálculo ICA

**Donde:**

ICA = Índice de Calidad de Agua global

$I_i$  = Índice de calidad para el parámetro  $i$

$W_i$  = Coeficiente de ponderación del parámetro  $i$

$n$  = número de parámetros

El valor obtenido con el cálculo del ICA, puede ser clasificado dentro de un rango según el uso del agua (Tabla 1), con ayuda de esto se llega a determinar la calidad de agua.

**Tabla 1.** Clasificación del ICA propuesto por Brown

<b>CRITERIO</b>	<b>RANGO PARA CONSUMO HUMANO</b>	
<b>Excelente</b>	91-100	No requiere purificación para consumo humano
<b>Aceptable</b>	81-90	Requiere purificación menor
<b>Buena</b>	71-80	Dudoso su consumo sin purificación
<b>Regular</b>	51-70	Tratamiento de potabilización considerable
<b>Mala</b>	26-50	Dudoso para consumo
<b>Pésima</b>	0-25	Inaceptable para consumo humano

#### **1.4.6. Plan de mejoras**

Un plan de mejoras es un conjunto de decisiones estratégicas que se aplica a los procesos para desempeñarse con mayor eficiencia. Este tipo de plan sirve para implementar una línea base para la detección de mejoras, siempre y cuando ésta permita un control y seguimiento de las acciones correctivas que se desarrollen, y en caso de emergencias incorporar acciones correctoras (ANECA, 2017).

Para la elaboración de un plan de mejoras es importante puntualizar los objetivos que se pueden alcanzar y, planificar las acciones a tomar para concretar el cumplimiento de los mismos. Las acciones no deben ser improvisadas ni aleatorias, deben ser planificadas cuidadosamente.

Un plan de mejoras permite (SENAGUA, 2016):

- Identificar las causas de los problemas detectados
- Identificar las acciones de mejora
- Examinar su viabilidad
- Determinar prioridades

- Realizar un seguimiento de control
- Establecer compromisos
- Motivar a que se mejore la calidad de vida

Según (SENAGUA, 2016) un plan de mejoras debe reunir las siguientes características:

- Integral: se debe considerar aspectos técnicos, financieros, comerciales, administrativos y operativos.
- Comprensible: su elaboración debe ser clara y concreta, para que se entienda el alcance y su seguimiento y evaluación sean más sencillos.
- Verificable: debe existir información para evaluar los indicadores y metas.
- Real: los objetivos y metas deben ser establecidas de acuerdo a las posibilidades de la institución, de tal manera que pueda ser cumplido el plan de mejora.

## 2. Metodología experimental

### 2.1. Descripción del sitio de estudio

El estudio será realizado en las instalaciones de la Escuela Politécnica Nacional, la misma que se encuentra localizada en la ciudad de Quito con los siguientes aspectos físicos que se describen en la Tabla 2 y Figura 1.

**Tabla 2.** Aspectos físicos EPN

ASPECTO FÍSICO	DESCRIPCIÓN
Ubicación Geográfica	Sector: centro-oriental de Quito
	Parroquia: Itchimbía
Área aproximada	152.000 m <sup>2</sup>
Superficie de Construcción	67489 m <sup>2</sup>



**Figura 1.** Ubicación geográfica EPN (EPN, 2018)

De acuerdo a su página oficial, la Escuela Politécnica Nacional cuenta con aproximadamente diez mil estudiantes distribuidos dentro del Campus Politécnico José Rubén Orellana R. (EPN, 2018).

Debido a la actividad económica de la EPN, basada en la educación académica a nivel superior, las instalaciones que cuentan con edificios de más de tres pisos





## 2.2. Muestreo

El presente trabajo tuvo como objetivo el análisis físico-químico y microbiológico de la calidad del agua potable en la EPN; los análisis se llevaron a cabo en la ciudad de Quito en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental durante los meses de junio a agosto de 2018. Se consideró como muestras para cada cisterna el agua proveniente de la red de distribución del DMQ y el agua almacenada en los tanques, se usó la siguiente codificación: “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque). Durante este período se tomaron 16 muestras con sus respectivos duplicados. Para la selección de los puntos a muestrear se consideraron los edificios que cuentan con cisternas, lo que permitió descartar la ESFOT que presentaba daños debido a inundaciones durante estaciones lluviosas y la Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos cuyo sistema de bombeo se encuentra fuera de funcionamiento debido a daños previos que no han sido reparados. En total se trabajó con 8 cisternas, las mismas a las que se les fue asignado un código (Tabla 4):

**Tabla 4.** Codificación de cisternas

CISTERNA	CÓDIGO	
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	1	FICA
Servicios Generales y Talleres	2	SEG
Departamento de Formación Básica (ICB)	3	ICB
Centro de Educación Continua (CEC)	4	CEC
Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM)	5	CICAM
Edificio de Administración Central	6	ADMIN
Edificios de Ingeniería Química y Eléctrica	7	EQE
Facultada de Ingeniería de Sistemas	8	SIS

En cada punto se tomaron 2 muestras, la primera correspondiente al agua que proviene de la red de distribución del DMQ, mientras que la segunda fue tomada directamente en las cisternas donde el agua se almacena.

La toma de las muestras se realizó de acuerdo a los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales de la APHA, AWWA, WPCF. (ADECAGUA, 1992), con envases de plástico para los análisis físico-químicos y

frascos esterilizados para análisis microbiológicos. El muestreo y análisis fue realizado de acuerdo al cronograma mostrado en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Cronograma de muestreo y análisis

PRIMERA SEMANA				
DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5
Toma de muestras para los puntos 1, 2, 3, y 4.	Análisis de Nitritos y Nitratos	Análisis de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales.	Análisis de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales (Pesaje de crisoles y platillos antes de colocar la muestra)	Análisis de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales (Pesaje de crisoles y platillos después de colocar la muestra).
Análisis de parámetros in situ puntos 1, 2, 3 y 4.				
Análisis de Oxígeno Disuelto, Cloruros, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Cloro Libre Residual en los puntos 1, 2 y 3.	Acidificación de muestras a un pH 2.		Análisis de metales pesados.	
Conservación de muestras a bajas temperaturas para próximos análisis.				
SEGUNDA SEMANA				
DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5
Toma de muestras para los puntos 5, 6, 7 y 8.	Análisis de Nitritos y Nitratos	Análisis de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales.	Análisis de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales (Pesaje de crisoles y platillos antes de colocar la muestra)	Análisis de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales (Pesaje de crisoles y platillos después de colocar la muestra).
Análisis de parámetros in situ puntos 5, 6, 7 y 8.				
Análisis de Oxígeno Disuelto, Cloruros, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Cloro Libre Residual en los puntos 5, 6 y 7.	Acidificación de muestras a un pH 2.		Análisis de metales pesados.	
Conservación de muestras a bajas temperaturas.				

...Continuación Tabla 5.

<b>TERCERA SEMANA</b>				
<b>DÍA 1</b>	<b>DÍA 2</b>	<b>DÍA 3</b>	<b>DÍA 4</b>	<b>DÍA 5</b>
Toma de muestra punto 4.	Análisis de datos.	Análisis de datos.	Análisis de datos.	Análisis de datos.
Análisis de DBO punto 4.				
<b>CUARTA SEMANA</b>				
<b>DÍA 1</b>	<b>DÍA 2</b>	<b>DÍA 3</b>	<b>DÍA 4</b>	<b>DÍA 5</b>
Toma de muestra punto 8.	Análisis de datos.	Análisis de datos.	Análisis de datos.	Análisis de datos.
Análisis de DBO punto 8.				
<b>QUINTA SEMANA</b>				
<b>DÍA 1</b>	<b>DÍA 2</b>	<b>DÍA 3</b>	<b>DÍA 4</b>	<b>DÍA 5</b>
Análisis de Método para determinación de Coliformes Totales y Fecales.	Análisis de Método para determinación de Coliformes Totales y Fecales.	Análisis de Método para determinación de Coliformes Totales y Fecales.	Análisis de Método para determinación de Coliformes Totales y Fecales.	Análisis de Método para determinación de Coliformes Totales y Fecales.
<b>SEXTA SEMANA</b>				
<b>DÍA 1</b>	<b>DÍA 2</b>	<b>DÍA 3</b>	<b>DÍA 4</b>	<b>DÍA 5</b>
Preparación de laboratorio para prueba presuntiva Coliformes Totales.	Toma de muestras en puntos 1, 2, 3 y 4.	Verificación de cambio de color en los tubos de ensayo.	Verificación de cambio de color en los tubos de ensayo.	Lavado y secado de tubos de ensayo para su posterior uso.
Esterilización de medio de cultivo, agua de dilución y tubos de ensayo.				
<b>SÉPTIMA SEMANA</b>				
<b>DÍA 1</b>	<b>DÍA 2</b>	<b>DÍA 3</b>	<b>DÍA 4</b>	<b>DÍA 5</b>
Preparación de laboratorio para prueba presuntiva Coliformes Totales.	Toma de muestras en puntos 5, 6, 7 y 8.	Verificación de cambio de color en los tubos de ensayo.	Verificación de cambio de color en los tubos de ensayo.	Lavado y secado de tubos de ensayo para su uso.
Esterilización de medio de cultivo, agua de dilución y tubos de ensayo.				

## ...Continuación Tabla 5.

OCTAVA SEMANA				
DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5
Entrega de equipos, materiales y reactivos al encargado del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental.	Entrega de equipos, materiales y reactivos al encargado del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental.	Entrega de equipos, materiales y reactivos al encargado del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental.	Entrega de equipos, materiales y reactivos al encargado del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental.	Entrega de equipos, materiales y reactivos al encargado del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental.

### 2.3. Equipos, materiales y reactivos

Tabla 6. Parámetros Físicos – Equipos, materiales y reactivos

PARÁMETROS FÍSICOS		
PARÁMETRO	EQUIPOS	MATERIALES
<b>Color</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celdas de 10 ml
		Pipeta de 10 ml
		Pera pipeteadora
<b>Conductividad</b>	Medidor de conductividad/STD, marca HACH, modelo 44600.	Vaso de precipitación 50 ml
		Piseta
<b>Temperatura</b>	Medidor de conductividad/STD, marca HACH, modelo 44600.	Vaso de precipitación 50 ml
		Piseta
<b>Turbidez</b>	Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100P	Celdas de 10 ml
		Pipeta de 10 ml

Tabla 7. Parámetros Químicos – Equipos, materiales y reactivos

PARÁMETROS QUÍMICOS			
PARÁMETRO	EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
<b>Cobre (Cu)</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celda 10 ml	CuVer1
		Pipeta 10 ml	
		Pera pipeteadora	
<b>Cloro libre residual</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celda 10 ml	Cloro libre DPD
		Pipeta 10 ml	
		Pera pipeteadora	
<b>Cloruros</b>	-----	Soporte universal	Nitrito de plata 0.014 N
		Bureta	
		Pipeta de 10 ml	
		Pera pipeteadora	Dicromato de Potasio al 1 %
		Matraz Erlenmeyer 250 ml	
<b>Cromo Hexavalente (Cr)</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celda 10 ml	ChromaVer3
		Pipeta 10 ml	
		Pera pipeteadora	
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Pipeta 1 ml	Viales estandarizados (rango bajo)
	Digestor para DQO	Pera pipeteadora	
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)</b>	Equipo manométrico de medición, frascos OxyTop	Probeta 1000 ml	Pellets de Hidróxido de Sodio
	Incubadora	Barras magnéticas de agitación	Inhibidor de nitrificación
<b>Dureza Total</b>	-----	Matraz Erlenmeyer 100 ml	Solución Buffer de dureza
		Bureta	
		Soporte universal	Negro de eriocromo EDTA 0.01M
		Gotero de plástico	
<b>Hierro (Fe)</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celda 10 ml	Ferrover1
		Pipeta 10 ml	
		Pera pipeteadora	
<b>Nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celda 10 ml	NitraVer3
		Pipeta 10 ml	
		Pera pipeteadora	
<b>Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celda 10 ml	NitraVer5
		Pipeta 10 ml	
		Pera pipeteadora	
<b>Níquel (Ni)</b>	Espectrofotómetro UV-Vis, marca HACH DR, modelo 2700	Celda 10 ml	Ftalato-Fosfato 1-(2-Piridilazo)-2-naftol (PAN)
		Pipeta 10 ml	
		Pera pipeteadora	

...Continuación Tabla 7.

<b>Oxígeno Disuelto (OD)</b>	-----	Frasco Winkler	Sulfato de Manganeseo II
		Gotero de plástico	
		Soporte universal	Alcali-yoduro-ácida
		Bureta	Ácido Sulfúrico
		Pipeta de 10 ml	Almidón
		Pera pipeteadora	Tiosulfato de Sodio (Titulación)
<b>Potencial de Hidrogeno (pH)</b>	Potenciómetro ACCUMENT AP 115	Vaso de precipitación 50 ml	-----
		Piseta	
<b>Sólidos Disueltos Totales (TDS)</b>	Balanza analítica	Crisoles de porcelana 90 mm	-----
	Desecador	Cápsulas de cerámica 90 mm	
	Estufa	Pinza metálica	
	Mufla	Filtros	
	Bomba al vacío	Probetas 50 ml	
<b>Sólidos totales (ST)</b>	Balanza analítica	Crisoles de porcelana 90mm	-----
	Desecador	Pinza metálica	
	Estufa	Filtros	
	Mufla	Probeta 50 ml.	

Tabla 8. Parámetros Microbiológicos – Equipos, materiales y reactivos

<b>PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>			
	<b>EQUIPOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>
<b>Coliformes totales y Fecales</b>	Balanza analítica	Balón aforado 1000 ml con tapa	Caldo lactosado
		Pipeta 2 ml	
	Dosificador manual	Pipeta 5 ml	Púrpura de bromocresol
		Pera pipeteadora	
	Incubadora	Piseta	Fosfato monopotásico
		Barra agitadora magnética	
	Potenciómetro ACCUMENT AP 115	Tubos de ensayo con tapa o utilizar tapones de gasa y algodón	Cloruro de magnesio hexahidratado
		Gradilla	
	Autoclave	Micropipeta 1000 µl	Tiosulfato de sodio 1% (Preservante)
		Puntas plásticas	
Agitador magnético	Recipiente para introducir al autoclave	Caldo EC	
	Papel aluminio		

## **2.4. Análisis de parámetros**

### **2.4.1. Parámetros físicos**

- **Color**

Para la determinación de éste parámetro se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis marca HACH, modelo 2700. Para proceder con la medición se escogió dentro del equipo la longitud de onda de 455 nm. Por otra parte, se prepararon dos celdas una con 10 ml de agua destilada, que este caso correspondía al blanco, para calibrar el equipo y otra se preparó con 10 ml de muestra para obtener las mediciones de color. Cuando las muestras se hallaban listas se prosiguió a medir y registrar los valores que mostraba el equipo.

- **Conductividad**

Este parámetro fue determinado in situ con la ayuda de un medidor de conductividad /STD, marca HACH, modelo 44600.

Se enjuagó el sensor con agua destilada, previa cada medición, para luego insertar éste en la muestra, fue necesario sumergirlo más allá de los orificios de ventilación y agitar verticalmente para asegurarse de que no haya burbujas de aire atrapadas. Se esperó hasta que la lectura muestre valores estables y se registró.

- **Temperatura**

La determinación de este parámetro se realizó in situ con la ayuda de un medidor de conductividad/STD, marca HACH, modelo 44600, el cual a la vez medía conductividad y temperatura. Para proceder con la medición de la temperatura dentro de la muestra de agua se procedió a lavar la sonda con agua destilada para evitar posibles errores de lectura, luego de eso se introdujo la sonda dentro de la muestra y se esperó a que el equipo se estabilizara y se tomó lectura del valor mostrado. Para cada medición es recomendable lavar la sonda con agua

destilada para evitar contaminación cruzada entre diferentes muestras. El duplicado de la medición de temperatura se realizó con un termómetro.

- **Turbidez**

La determinación de este parámetro se realizó in situ, mediante el método nefelométrico, utilizando un turbidímetro de marca HACH 2100P. Antes de iniciar con la medición se calibró el equipo y se verificó que las celdas que iban a ser usadas posteriormente para la medición se encuentren limpias. Luego de eso se colocó una pequeña alícuota, previamente homogeneizada, dentro de la celda de 10 ml. Antes de introducir la celda dentro del turbidímetro se verificó que ésta se encuentre libre de humedad (Figura 3) al final se tomó lectura y se registró los valores.



**Figura 3.** Determinación de Turbidez

#### **2.4.2. Parámetros químicos**

- **Cobre (Cu)**

Para el caso del Cobre se usó el mismo espectrofotómetro UV-Vis que para el análisis de color, teniendo como reactivo al CuVer 1 y con una longitud de onda 0,1 - 8,0 mg/l Cu.

Se usaron dos celdas de vidrio de 10 ml cada una; la primera para la preparación del blanco (muestra) mientras que la segunda para el análisis de la muestra



(agregando reactivos). Se procedió a agregar el reactivo en la segunda celda y agitarlo suavemente de forma circular para después dejar reposar por 2 min. Una vez que se dejó reposar se pudo realizar la medición. El cobre en la muestra reacciona con una sal del ácido de bicinconinato contenido en el CuVer 1 o el reactivo de cobre 2, para formar un complejo de color púrpura proporcional a la concentración de cobre.

- **Cloro Libre Residual**

La determinación de cloro libre residual se realizó mediante el método 8021 (Figura 4), utilizando un espectrofotómetro UV-Vis ya descrito.

Para comenzar se prepararon dos celdas de 10 ml, la primera se preparó con muestra, y en la segunda con muestra más el contenido de cloro libre DPD. Luego, se tapó inmediatamente la celda y se agitó de arriba hacia abajo por 20 segundos. Finalmente, se llevó el blanco y la muestra al espectrofotómetro y se procedió con la medición.



**Figura 4.** Determinación de Cloro Libre Residual

- **Cloruros**

La determinación de cloruros se realizó a través del método volumétrico argentométrico (Figura 5).

Fue necesario colocar 100 ml de muestra homogenizada en un matraz Erlenmeyer y agregar 10 gotas de  $K_2CrO_4$  (dicromato de potasio) al 1%, hasta que la muestra obtuvo un color amarillento, después se tituló con  $AgNO_3$  (nitrato de

plata) 0.01 N, hasta que tomó un color anaranjado fuerte. Se registraron los valores y se procedió a realizar un duplicado.

El cálculo de cloruros se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Cl}^- = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times 1000}{V_m}$$

### **Ecuación 2.** Determinación de cloruros

**Donde:**

$\text{Cl}^-$  = Concentración de cloruros en mg/l

$V_{\text{AgNO}_3}$  = Volumen utilizado en la titulación con Nitrato de Plata en ml

$N_{\text{AgNO}_3}$  = Normalidad del Nitrato de Plata

$V_m$  = Volumen de la muestra en ml



**Figura 5.** Determinación de Cloruros

- **Cromo Hexavalente**

Para la determinación de Cromo hexavalente se utilizó un espectrómetro descrito anteriormente con una longitud de onda de 0,03 - 1,0 mg/l Cr (VI).

Para empezar, fue necesario preparar dos celdas de 10 ml, una en la que se preparó el blanco (muestra) y otra en la se colocó 10 ml de la muestra y se adicionó el contenido de ChromaVer3. Luego se tapó la celda y se agito suavemente de manera circular hasta que el reactivo se haya mezclado por

completo. Se dejó que la muestra reaccione por 5 min. Para finalizar, se llevó la muestra al espectrofotómetro y se realizó la medición del parámetro.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Para la determinación de la DQO se aplicó la digestión en reactor con viales de rango bajo (Tabla 9) debido a que la muestra corresponde a agua potable.

Este procedimiento necesitó de un blanco, el mismo que utiliza agua destilada en lugar de muestra. Tanto para el análisis de DQO en el blanco como en la muestra se tuvo que precalentar el biodigestor a 150 °C durante un período de 45 min. Luego de transcurrido este tiempo con la ayuda de una pipeta se colocó 1 ml de muestra o agua destilada en los viales, se los cerró y agitó para posteriormente abrirlos y dejar salir los vapores producidos por el ácido. Finalmente, se colocó dentro del digestor y se dejó durante 2 horas, transcurrido este tiempo se realizó la medición con el equipo espectrómetro descrito anteriormente y se registraron los valores.

**Tabla 9.** Rango de DQO

Rango 100 -1500 mg/l	Rango 1,0 – 15,0	Agua Destilada
0	0	2,0
400	4	1,8
800	8	1,6
1200	12	1,4
1500	15	1,25

El cálculo de la DQO se realizó con la siguiente fórmula:

$$DQO_{TOTAL} = DQO_{BIODEGRADABLE} + DQO_{NO BIODEGRADABLE}$$

**Ecuación 3.** Determinación de DQO

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Para el análisis de la DBO se usó el método de la  $DBO_5$ , el mismo que como su nombre lo indica analiza durante 5 días el aumento en el consumo de  $O_2$  (Figura 6).

El procedimiento consistió en llenar una botella OxyTop con el volumen de muestra determinado en base a los valores obtenidos con la DQO. Luego de determinar el volumen necesario en base a los valores de DQO obtenidos (Tabla 10). Ya que los valores de DQO fueron negativos se usó un volumen de 432 ml; se dejó caer una barra de agitación dentro de la botella del OxyTop y se colocó el receptáculo de caucho en el cuello de la botella con dos pellets o pastillas de inhibidor hidróxido de sodio (NaOH). Una vez colocada la tapa se cerró cuidadosamente, se oprimió al mismo tiempo los botones S y M por dos segundos (necesario para encerrar o calibrar el equipo), y se dejó en la incubadora a una temperatura de 25 °C. Después de 5 días se registraron los valores oprimiendo el botón M.

El cálculo de la  $DBO_5$  se lo realizó con la siguiente fórmula:

$$DBO_5 = \frac{(V5-V1)}{PROM}$$

**Ecuación 4.** Determinación de  $DBO_5$

Donde:

V5 = Valores obtenidos en el día 5 en mg/l

V1 = Valores obtenidos en el día 1 en mg/l

PROM = Promedio de valores de 5 días en mg/l



**Figura 6.** Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

**Tabla 10.** Volumen para DBO en base a DQO

VOLUMEN DE LA MUESTRA (ML)	RANGO DE MEDIDA DQO (MG/L)	FACTOR
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43,5	0-2000	50

- **Dureza Total**

La determinación de este parámetro se realizó mediante titulación y se determinó el tipo de dureza del agua según la Tabla 11. Para ello se colocaron 50 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer y se ajustó a un pH de 10. Luego a esto se colocó un 1 ml de solución buffer de dureza y una pizca de negro de eriocromo, tornándose la muestra de un color violeta. Después de todo lo anterior se procedió a titular con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) de 0.01 M, aquí existió un viraje de color de violeta a azul, como lo muestra la Figura 7.

**Tabla 11.** Clasificación de la dureza por concentración de  $\text{CaCO}_3$ 

CONCENTRACIÓN DE $\text{CaCO}_3$ MG/L	TIPO
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
>180	Muy Dura

La siguiente fórmula se aplicó para la determinación del valor de dureza total:

$$C_{DT} \text{ CaCO}_3 = \frac{V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times 100091}{V_m}$$

**Ecuación 5.** Determinación de Dureza Total**Donde:**

$C_{DT}$  = Concentración de dureza total en mg/l de  $\text{CaCO}_3$

$V_{EDTA}$  = Volumen utilizado en la titulación de EDTA en ml

$M_{EDTA}$  = Molaridad del ácido utilizado EDTA

$V_m$  = Volumen de la muestra en ml

100091 = Peso atómico del  $\text{CaCO}_3$

**Figura 7.** Determinación de Dureza Total

- **Hierro Total (Fe)**

La determinación de este parámetro se realizó a través de un espectrofotómetro descrito anteriormente con una longitud de onda 0,2 - 6,0 mg/l Fe.

Para el caso del Hierro Total se usó el reactivo FerroVer. Se usaron dos celdas de vidrio de 10 ml cada una, la primera que se usó como blanco se colocó muestra, mientras que en la segunda se colocó muestra adicionada reactivo. Luego se procedió a agregar el reactivo y agitarlo suavemente de forma circular para después dejar reposar por 3 min. Una vez que se dejó reposar se realizó la medición. El reactivo de hierro FerroVer reacciona con todas las formas solubles del hierro y la mayoría de las formas no solubles del hierro en la muestra, para producir hierro ferroso soluble. Éste reacciona con el indicador de fenantrolina 1,10 en el reactivo para formar un color naranja (Figura 8) proporcional a la concentración de hierro.



**Figura 8.** Determinación de Hierro total

- **Níquel (Ni)**

La determinación de este parámetro se realizó a través del espectrofotómetro descrito con anterioridad con una longitud de onda 0,1 - 6,0 mg/l Ni.

Para la determinación del níquel fue necesario preparar un blanco en base a agua destilada. Se agregó una almohadilla de Ftalato-Fosfato en 10 ml de muestra y en el blanco, posteriormente se agregó 1 ml de indicador 1-(2-Piridilazo)-2-naftol (PAN) para que el níquel reaccione con el indicador por 15 min, finalmente se agregó el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), y se procedió a realizar la medición.

- **Nitratos ( $\text{NO}_3$ )**

Para la determinación de nitratos dentro de la muestra de agua, se empleó el método HACH 8039 con una longitud de onda de 500 nm.

Dentro de este análisis se utilizó el reactivo NitraVer<sub>5</sub>, para dar inicio al análisis se prepararon dos celdas de 10 ml. La primera celda fue utilizada como blanco en esta se colocó 10 ml de muestra, dentro de la segunda celda se colocó la muestra con el reactivo y se agitó vigorosamente por un minuto de forma invertida. Se esperó a que pasaran 5 minutos y se prosiguió con la medición. Se llevó las muestras al espectrofotómetro y se comenzó midiendo el blanco para ajustar a cero el quipo y se prosiguió con la muestra.

- **Nitritos ( $\text{NO}_2$ )**

La determinación de este parámetro se realizó a través de un espectrofotómetro descrito con anterioridad con una longitud de onda de 507 nm.

Para el caso del Nitrito se usó el reactivo NitriVer3. Se usaron dos celdas de vidrio de 10 ml cada una, en una se colocó agua destilada mientras que en la segunda se colocó la muestra, se procedió a agregar el reactivo y agitarlo suavemente de forma circular para después dejar reposar por 20 min. Una vez que se dejó reposar se realizó la medición. El nitrito en la muestra reacciona con el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia. Esta se acopla al ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente.

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

La determinación de oxígeno disuelto fue realizada de acuerdo con el método Winkler, siguiendo los siguientes pasos tanto en campo como en el laboratorio:

#### Toma de muestra en campo



Se curó el frasco Winkler con la muestra de agua; es decir se tomó la muestra completando el frasco y se agitó y arrojó lo tomado durante 3 veces. Posteriormente se tomó la muestra hasta que esta sobrepasó el límite de capacidad y se selló el frasco.

Con la ayuda del gotero de plástico se agregó 1 ml de sulfato de Manganeso II y se agitó delicadamente 3 veces para homogeneizar la muestra con el frasco cerrado.

Nuevamente se abrió el frasco Winkler y con la misma ayuda del gotero de plástico se agregó 1 ml de alcali-yoduro-azida a la muestra, la misma tomó un color amarillento y formó un precipitado.

Finalmente, se abrió el frasco con la muestra homogeneizada y con la ayuda de una pipeta se colocó ácido sulfúrico (1 ml), el cual provocó un cambio de color en la muestra a un mostaza oscuro.

La muestra (Figura 9) fue preservada a una temperatura de 4 °C en refrigeración y se transportó evitando cualquier movimiento brusco.



**Figura 9.** Muestra para análisis de Oxígeno Disuelto

#### Análisis en Laboratorio

La determinación de oxígeno disuelto se realizó siguiendo los siguientes pasos: dentro de una bureta se agregaron 50 ml de solución de tiosulfato de sodio

0.025N, con la ayuda de una varilla de vidrio se agregó 201 ml de blanco tomados del frasco Winkler y agregándolos a un matraz, evitando en lo posible la formación de burbujas.

Para empezar la titulación se agregaron únicamente 3 ml del reactivo, lo que provocó que la muestra adquiriera un color azul claro. Una vez agregados los 3 ml 25 gotas de almidón en la muestra. Finalmente se tituló de nuevo hasta que la muestra adquirió un color claro completo (Figura 10).

La siguiente fórmula se aplicó para la determinación del valor de Oxígeno Disuelto al igual que la Tabla 12 que permitió la determinación del % de saturación:

$$OD = \frac{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 800 \times V \text{ Botella}}{\text{ml de muestra valorada} \times (V \text{ Botella} - 2)}$$

#### **Ecuación 6.** Determinación de Oxígeno Disuelto

**Donde:**

$V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  = Volumen de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  en ml

$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  = Normalidad de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

$V \text{ Botella}$  = volumen de la botella Winkler en ml



**Figura 10.** Determinación de Oxígeno Disuelto

**Tabla 12.** % de saturación de oxígeno en el agua en base a la temperatura

DETERMINACIÓN DE % DE SATURACIÓN DE OXÍGENO EN EL AGUA EN BASE A LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE CLORUROS A 760 mm Hg	
Temperatura en la ciudad de Quito Mín. 9 °C Máx. 19 °C Presión Barométrica 540 mm Hg	
Temperatura ° C	0° Cloruros
5	12,77
9	11,6
10	11,3
11	11
12	10,8
13	10,5
14	10,3
15	10,1
16	9,9
17	9,7
18	9,6
19	9,3

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

La determinación de este parámetro se realizó in situ, con la ayuda de un Potenciómetro marca Accumet AP 115 portátil, que fue calibrado previamente. Al momento de tener la muestra de agua se introdujo lo más rápido posible la sonda (Figura 11) y se esperó a que se estabilizará y se registraron los valores. Luego de haber utilizado el quipo, la sonda fue lavada con abundante agua destilada para evitar que en próximas lecturas no existan errores.

**Figura 11.** Determinación de Potencial de Hidrógeno (pH)

- **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

La determinación de los sólidos disueltos se la realizó con cápsulas de cerámica y filtros. Estos fueron lavados y colocados en la mufla a 505 °C durante 20 min para retirar cualquier tipo de rastros, posteriormente fueron pesados en conjunto con los filtros y registrados correctamente para su colocación en la estufa por un tiempo de 24 h; luego fueron colocados en un desecador durante 30 min.

En la cápsula de porcelana pesada anteriormente, se colocó el filtro previamente usado para filtrar 50 ml de muestra. Se sometió la cápsula con la muestra a sequedad en la estufa eléctrica a 103°C - 115°C durante 24 h para su evaporación, como se puede observar en la Figura 12.

Con la ayuda de pinzas se retiró la cápsula con el filtro y se lo colocó en el desecador durante 30 min. Finalmente se pesó el plato y se registró su peso.

La siguiente fórmula permitió la determinación de sólidos disueltos.

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

**Ecuación 7.** Determinación de SDT

**Donde:**

$P_1$  = masa de la cápsula, en mg

$P_2$  = masa de la cápsula más el residuo de la muestra evaporada en mg.

$V_m$  = volumen de la muestra filtrada que se colocó en la cápsula en ml

SDT = sólidos disueltos totales en mg/dm<sup>3</sup> (mg/l)



**Figura 12.** Determinación de Sólidos Disueltos Totales

- **Sólidos totales (ST)**

Según (APHA, 2016) el análisis de sólidos totales se realizó según el método APHA 2540 B. Para llevar a cabo esta medición fue necesario contar con crisoles de porcelana de 90 mm limpios, para lo cual fue necesario que éstos sean lavados y que pasen por la mufla a 505 °C por 20 minutos para eliminar toda sustancia contaminante que en un futuro pudiese alterar los resultados de medición. Luego de esto, los crisoles fueron colocados dentro de la estufa a una temperatura entre 103 a 105 °C durante 24 horas (Figura 13), después de transcurrido este tiempo se procedió a colocar los crisoles en un desecador por 30 minutos, para que se enfriaran, y posterior a eso fueron pesados en una balanza analítica. La balanza analítica debió ser calibrada con anterioridad. Luego de haber obtenido los valores de los crisoles se dejó reposar dentro del desecador hasta que éstos fueron utilizados. A continuación, con la muestra homogeneizada se procedió a colocar 50 ml de alícuota dentro del crisol previamente tarado y se llevó a la estufa a una temperatura entre 103 a 105 °C durante 24 horas, luego de transcurrido ese tiempo se sacó los crisoles y se colocó dentro del desecador por 30 minutos. Cuando los crisoles se encontraban en temperatura ambiente se procedió a pesar y registrar los valores.

El cálculo de sólidos totales se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{mg de ST} = \frac{[(P_1 - P_2) * 1000]}{V_m} * 1000$$

**Ecuación 8.** Determinación de ST

**Donde:**

P1= Peso del crisol tarado en mg

P2= Peso del crisol tarado + residuo seco en mg

V<sub>m</sub>= volumen de la muestra en ml



**Figura 13.** Determinación de Sólidos Totales

### **2.4.3. Parámetros microbiológicos**

- **Coliformes totales**

Para determinar este parámetro, sumamente importante dentro de la calidad del agua para consumo humano, se procedió a utilizar el método del Número Más Probable (NMP) con el procedimiento establecido dentro APHA 9221 B. Se divide en prueba presuntiva para presencia de coliformes totales y confirmativa para presencia de coliformes fecales.

Debido a que se está analizando agua que ya ha sido potabilizada, se espera ausencia de coliformes totales y/o fecales.

Para realizar este tipo de análisis fue necesario utilizar frascos esterilizados y por tratarse de agua potabilizada, se añadieron 2 gotas de tiosulfato de sodio 1% inmediatamente después de la toma de la muestra, para que el cloro no influyera en el análisis.

#### Prueba presuntiva

Para empezar con la determinación de este parámetro se inició escogiendo el número de diluciones y repeticiones. De acuerdo con la norma INEN 1108, al tratarse de agua potable, se realizó las siguientes diluciones:  $10^0$  (10 ml de

muestra) , $10^1$ (1 ml muestra más 9 ml de agua de dilución) , $10^{-1}$  (1 ml de dilución  $10^1$  más 9ml de agua de dilución) cada una con 5 repeticiones respectivamente. A partir de esto se determinaron los materiales y las cantidades de reactivos que se utilizarían dentro del análisis.

Es importante mencionar que los materiales a utilizar debieron estar previamente lavados y secos para su uso ya que de no ser así podrían haberse dañado al ser sometidos a la esterilización en el autoclave.

Para la prueba presuntiva se preparó el medio de cultivo (Figura 14) con 13 g de caldo lactosado y 0.01 g de púrpura de bromocresol. Éstos fueron disueltos y aforados en un matraz de 1000 ml con agua destilada, tornándose de color púrpura. Adicional a esto se verificó que la solución se encuentre en un pH de  $6.9 \pm 0.2$  y se almacenó a temperatura ambiente sellándolas de manera hermética hasta su uso.



**Figura 14.** Preparación de medio de cultivo

Para la elaboración del agua de dilución se preparó la solución tampón A, en la cual se disolvieron 34 g de fosfato monopotásico y se aforó en un matraz de 1000 ml con agua destilada. Adicionalmente a esto, se verificó que la solución se encuentre en un pH de  $7.2 \pm 0.2$ . Para la preparación de la solución tampón B se disolvieron 8.1 g de cloruro de magnesio hexahidratado y se aforó en un matraz de 1000 ml con agua destilada.

Finalmente, para preparar el agua de dilución o solución tampón de fosfatos que requiere solución tampón A + solución tampón B, se procedió a colocar 1.25 ml de solución madre de tampón A y 5 ml de solución madre de tampón B dentro de un matraz de 1000 ml se aforó con agua destilada y se almaceno hasta su uso.

Luego de tener las soluciones preparadas y listas para su uso se colocaron los tubos de ensayo rotulados en las gradillas para una mejor manipulación. Con la ayuda del dosificador se agregaron 10 ml de medio de cultivo dentro de cada tubo de ensayo y se selló con tapones hechos de algodón y gasa. De la misma forma se realizó con el agua de dilución donde se colocaron 9 ml de solución dentro de los tubos de ensayo previamente rotulados.

Los tubos con medio de cultivo y agua de dilución (Figura 15) se colocaron en recipientes al igual que a las puntas plásticas y se los llevó al autoclave para ser esterilizados a 121 °C por aproximadamente 2 horas.



**Figura 15.** Medio de cultivo, agua de dilución y puntas plásticas listas para esterilización

Luego de transcurrido el tiempo, se esterilizó la zona de trabajo con alcohol y un mechero encendido creando así un medio aséptico. Los materiales fueron extraídos del autoclave y colocados en gradillas de manera ordenada según su rotulación. La siembra se realizó con micropipetas de 1000  $\mu$ l y puntas plásticas cambiadas en cada repetición.

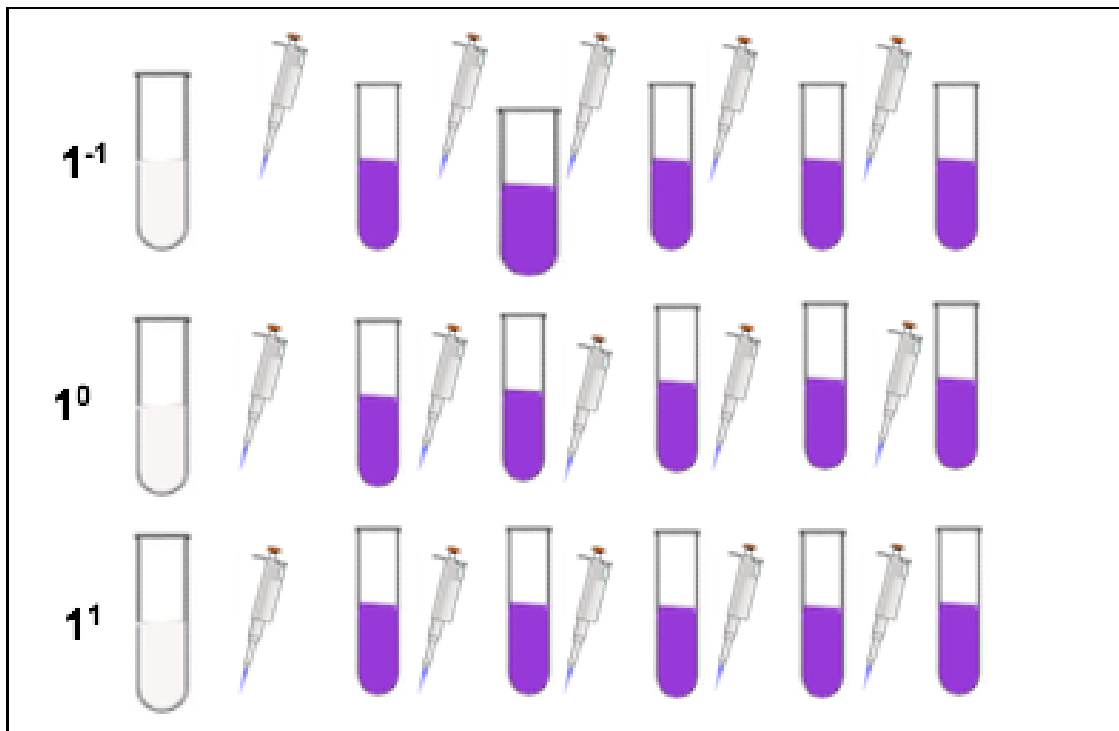


Con la ayuda de la micropipeta y una punta plástica se tomó 1 ml de la dilución  $10^1$  y se pasó a la dilución  $10^0$  agitando para que esta se homogeneice. Después, cambiando la punta plástica se tomó 1 ml de la dilución  $10^0$  y se pasó a la dilución  $10^{-1}$  de igual manera se agitó para que se homogeneice. Luego, inoculó hacia atrás tomando 1 ml del tubo anterior para cada dilución (Figura 16 y Figura 17) cambiando la punta plástica en cada repetición. Este procedimiento se realizó con todas las muestras.



**Figura 16.** Determinación de Coliformes Totales

Después del procedimiento se llevaron las gradillas con los tubos de ensayo a la incubadora a  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 48 horas. Luego de transcurrido este lapso de tiempo se extrajeron las gradillas de la incubadora y se verificó que no existía un cambio de color de púrpura a amarillo que mostraría la presencia de coliformes totales ni fecales.



**Figura 17.** Determinación de Coliformes Totales Prueba Presuntiva

- **Coliformes fecales**

La determinación de coliformes fecales fue descartada del análisis debido a la ausencia de coloración en los tubos después de 48 h de inoculación en la prueba presuntiva por ende no se realizó la prueba confirmativa.

## 2.5. Índice de calidad del agua

La determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA), se realizó a través del método de Brown o Water Quality Index (WQI) desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF). (DMRWQN, 2013).

En este método intervinieron los siguientes parámetros seleccionados debido a su importancia para la calidad del agua potable (Gallardo , 2016): coliformes fecales, DBO, nitratos, OD, pH, sólidos disueltos, turbiedad cada una con un subíndice de importancia previamente establecido.

El cálculo del ICA, consistió en desarrollar las diversas fórmulas estandarizadas propuestas por Brown para cada parámetro obteniendo un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del agua en estudio. Una vez obtenidos estos valores se aplicó la fórmula de Índice de Calidad de Agua global y se obtuvo el ICA de cada punto (Tabla 13) (SNET, 2018).

**Tabla 13.** Coeficientes de ponderación y Fórmulas para el cálculo del ICA (Gallardo , 2016)

COEFICIENTES DE PONDERACIÓN Y FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL ICA		
PARÁMETRO	IMPORTANCIA	FÓRMULA
Coliformes Totales y Fecales	0.16	Sí el EC es < 1.1 el $I_{EC} = 100$ $I_{EC} = 97.5 (5(CF))^{-0.27}$
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	0.11	$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	0.10	$I_{NO3} = 162.2 (NO_3)^{-0.3434}$
Oxígeno Disuelto (OD)	0.17	$I_{OD} = OD / OD_{SAT} * 100$
Potencial de Hidrógeno (pH)	0.11	Sí el pH está entre 6.7 y 7.3 $I_{pH} = 100$
Sólidos Disueltos	0.07	$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD)$
Turbidez	0.08	$I_T = 108 (T)^{-0.178}$
$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$		%ICA

## 2.6. Plan de mejoras

El plan de mejoras fue desarrollado en base a los planes de mejoras del Ministerio de Educación Ecuador, aplicables a instalaciones hidrosanitarias en instituciones educativas (ANECA, 2017). De acuerdo a los planes mencionados anteriormente se siguió los siguientes pasos:

- Identificación y selección el área de mejoras

Durante los muestreos se identificó las áreas que necesitaban implementar mejoras y se las jerarquizó acorde a sus necesidades.

- Detección de las causas del problema

Las fallencias en los puntos fueron analizadas por las tesisistas en colaboración con el Ing. Walter Paredes y el Sr. Ítalo Rengel durante los muestreos. Una vez identificado el problema o área de mejora, se usó el método lluvia de ideas para determinar las posibles causas que lo originan y se seleccionó las alternativas más apropiadas para su solución.

- **Formulación del objetivo**

Se formularon objetivos en base a la viabilidad, flexibilidad y obligatoriedad de las necesidades de cada punto.

- **Desarrollo del plan de mejoras**

Se recolectó y analizó la información buscando las mejores soluciones a largo, mediano y corto plazo.

- **Elaboración del Informe**

Se realizó un informe de las mejoras aplicables a la situación de la EPN, dirigido al personal de Servicios Generales y Talleres encargados del mantenimiento de las instalaciones hidrosanitarias y que a su vez participaron durante el muestreo y la identificación de los problemas.

- **Socialización**

Una vez listo el informe final se entregó al personal encargado a través de un taller, en el cual se dieron a conocer los principales puntos y aplicaciones.

### 3. Resultados y discusión

Los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados en el punto AT (punto que proviene de la red de distribución del DMQ) y los puntos T que pertenecen al agua de cisternas de la EPN, fueron comparados con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente TULSMA Libro VI, Anexo I y la norma INEN 1108, Agua Potable.

Los valores cumplen en su mayoría con la normativa mostrando números bajos en relación a los límites máximos permisibles con excepción del cloro libre residual (Tabla 14).

Los valores obtenidos durante los análisis físicos permitieron conocer el estado del agua potable en la cisterna en tiempo real. Factores como estos no influyen significativamente en la calidad del agua potable, aunque podrían derivar en afectaciones relacionadas con la calidad química de la misma. Los análisis químicos en ambos puntos mostraron valores relacionados entre sí y a su vez coherentes con los análisis físicos con los que se relacionan como es el caso de la conductividad y los SDT, entre otros. Con relación al análisis microbiológico se esperaba la ausencia total de microorganismos EC, debido a las características de las muestras; ningún punto presentó valores de EC.

La precisión entre los valores al hablar entre los puntos “AT” y “T” indican que el uso de las cisternas no está afectando la calidad del agua potable y a su vez indica que la misma posee inicialmente una buena calidad en la red de distribución (DMRWQN, 2013).

A continuación, en la Tablas 14 y Tabla 15 se muestran los valores generalizados obtenidos en el análisis físico, químico y microbiológico en las cisternas de la EPN.

**Tabla 14.** Resultados de análisis parámetros físicos, químicos y microbiológicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque) INEN 1108

RESULTADO DE ANÁLISIS PARÁMETROS QUÍMICOS PUNTO “AT” (ANTES DEL TANQUE) Y “T” (TANQUE)																		
Parámetro	Unidades	LMP INEN 1108	Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental		Servicios Generales y Talleres		Departamento de Formación Básica (ICB)		Centro de Educación Continua (CEC)		Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM)		Edificio de Administración Central		Facultad de Ingeniería Química y Eléctrica		Facultad de Ingeniería de Sistemas	
			AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T
Cobre	mg/l	2	0,01	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0	< 0
Coliformes Totales y Fecales	NMP	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1
Cloro libre residual	mg/l	0.3 a 1.5	0,14	0,35	0,82	0,52	0,52	0	0,52	0,14	0,52	0,04	0,82	0,8	0,59	0,77	0,85	0,56
Cloruros	mg/l	2	0,32	0,46	0,41	0,51	0,4	0,37	0,61	0,46	0,45	0,43	0,43	0,44	0,5	0,47	0,43	0,4
Color	Pt/Cob	15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Conductividad	µS/cm	1500	54	61	53	109	50	110	104	109	100,1	140	126,5	134,9	129,4	133,6	131,1	132
Cromo Hexavalente	mg/l	0.05	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,01	0	0,02
Níquel (Ni)	mg/l	0.007	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	0	0,02	0,02	0,006	0,002	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	0,004
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	50	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	1	0,8	0,7	0,8	0,8	1,1	0,8	1	1,5	1,5	1,2
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	3	0,005	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,008	0,004	0,003	0,003	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003
Turbidez	NTU	5	0,97	0,64	0,74	0,69	0,97	0,52	1,08	0,53	0,87	0,87	0,96	0,68	0,84	0,85	1,2	0,62

**Tabla 15.** Resultados de análisis parámetros físicos, químicos y microbiológicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque)  
TULSMA

RESULTADO DE ANÁLISIS PARÁMETROS QUÍMICOS PUNTOS “AT” (ANTES DEL TANQUE) Y “T” (TANQUE)																		
Parámetros	Unidades	LMP TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental		Servicios Generales y Talleres		Departamento de Formación Básica (ICB)		Centro de Educación Continua (CEC)		Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM)		Edificio de Administración Central		Facultad de Ingeniería Química y Eléctrica		Facultad de Ingeniería de Sistemas	
			AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T	AT	T
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	400	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	2	0	0	0,1	0	0,12	0,1	0,1	0,12	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0
Dureza total	mg/l	500	30	36	44	36	36	30	38	32	34	34	32	36	28	26	30	36
Hierro Total (Fe)	mg/l	1	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,2	0,02	0,03	0,04	0,07	0,05	0,04	0,02	0,03	0,17	0,03
Oxígeno Disuelto	mg/l	> 6. No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l	6,8	6,3	7,65	5,8	6,04	6,54	6,2	6,17	6,99	6,7	7,2	6,7	6,14	6,74	6,5	6,3
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	6,68	6,59	6,78	6,73	6,49	6,7	6,54	6,75	6,61	6,61	6,88	6,72	6,83	6,82	6,78	6,81
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	1000	0,016	0,006	0,006	0,014	19,98	0,02	0,002	0,026	0,014	0,034	0,034	0,026	0,042	0,044	0,022	0,026
Temperatura	°C	Condición Natural + o - 3 grados	16,85	15,8	11,95	14,4	13,2	13,9	12,45	13,05	16,5	16,6	14,6	13,9	12,75	13,6	14	14,2

### 3.1. Resultados y discusión análisis físicos puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque).

A continuación, en la Tabla 17 se muestran los valores generalizados y detallados obtenidos en el análisis físico en las cisternas de la EP

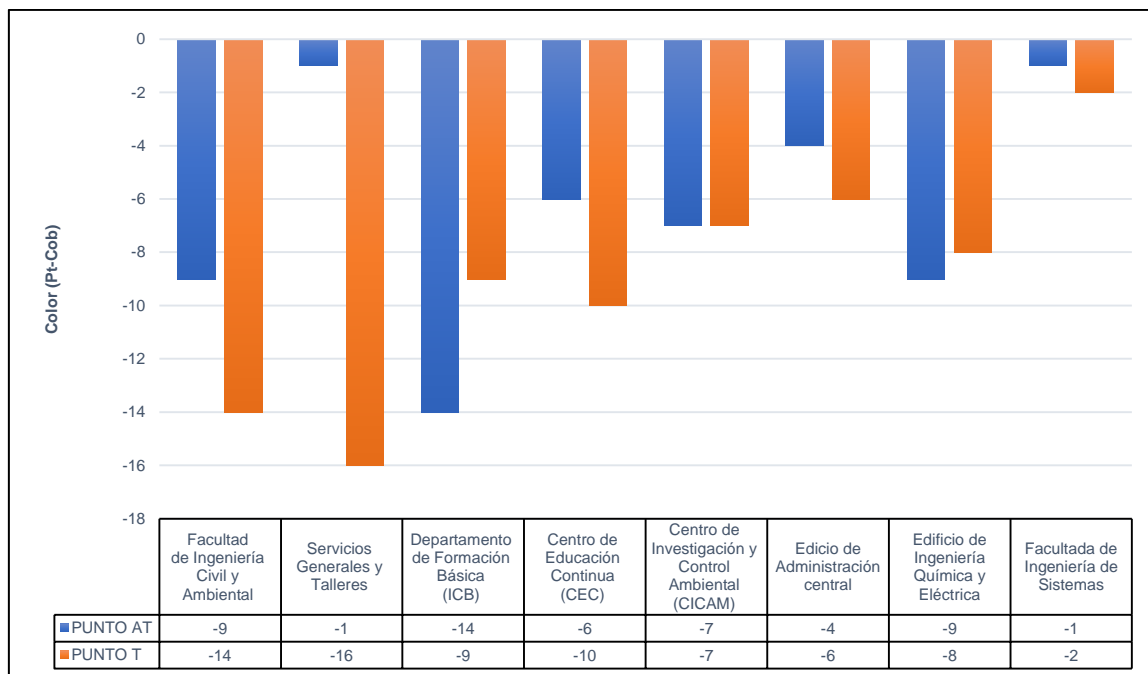
**Tabla 16.** Resultados de análisis parámetros físicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque)

PARÁMETROS FÍSICOS										
PUNTOS “AT”										
Parámetros	Unidades	Normativa Aplicada	Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	Servicios Generales y Talleres	Departamento de Formación Básica (ICB)	Centro de Educación Continua (CEC)	Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM)	Edificio de Administración Central	Edificio de Ingeniería Química y Eléctrica	Facultad de Ingeniería de Sistemas
Color	Pt/Cob	INEN 1108	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Conductividad	μS/cm	INEN 1108	54	53	50	104	100,1	126,5	129,4	131,1
Temperatura	°C	TULSMA LIBRO VI ANEXO1 TABLA 1	16,85	11,95	13,2	12,45	16,5	14,6	12,75	14
Turbidez	NTU	INEN 1108	0,97	0,74	0,97	1,08	0,87	0,96	0,84	1,2
PUNTOS “T”										
Color	Pt/Cob	INEN 1108	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Conductividad	μS/cm	INEN 1108	61	109	110	109	140	134,9	133,6	132
Temperatura	°C	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	15,8	14,4	13,9	13,05	16,6	13,9	13,6	14,2
Turbidez	NTU	INEN 1108	0,64	0,69	0,52	0,53	0,87	0,68	0,85	0,62



- **Color**

Se observa en la Figura 18 los resultados del parámetro color para los puntos “AT” y “T”.



**Figura 18.** Resultado análisis Color

Los datos de los análisis son negativos, en los dos puntos, debido a que los valores registrados durante el análisis de color no se encuentran dentro del límite de detección del equipo.

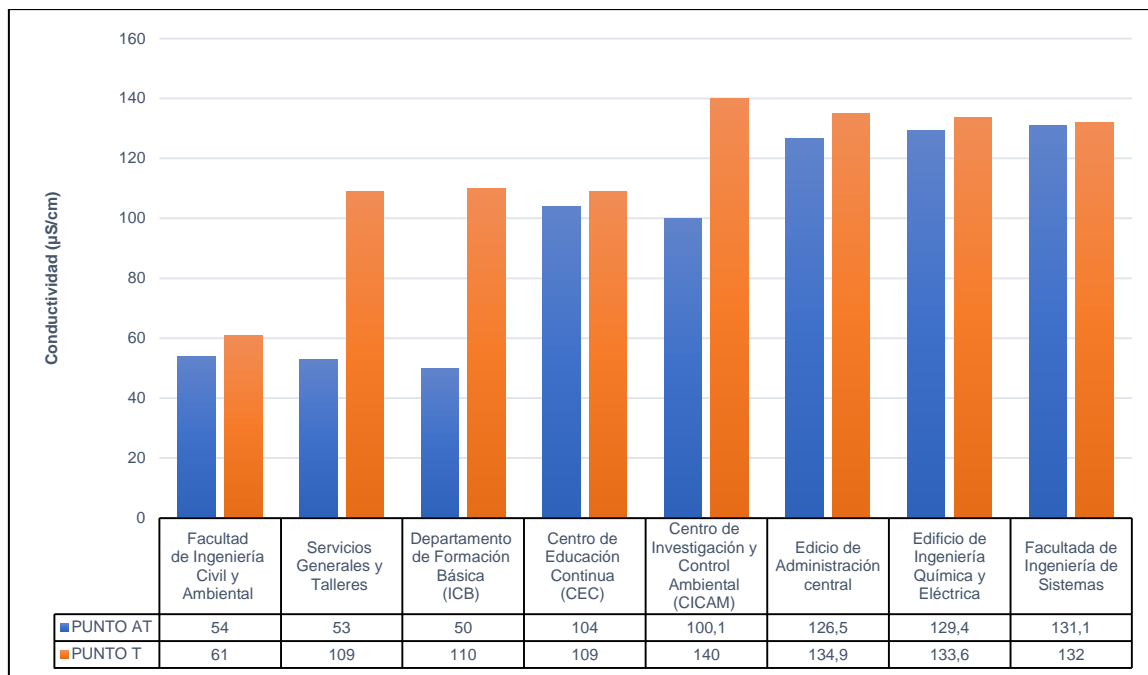
El límite de detección del equipo es de 15-500 unidades de Pt/Cob.

En el punto “T” y “AT” es posible apreciar que los valores registrados de color cumplen con el LMP establecido en la norma INEN 1108.

Con estos datos se puede decir que hay ausencia de sustancias en suspensión o en solución, al igual que presencia de algas u otros elementos orgánicos que podrían alterar la calidad de la misma; al igual que dichos factores la ausencia de color en el agua indican que la misma posee bajas cantidades de cloro ya que en la mayoría de los casos, tiende a adquirir ligeros colores blanquecinos.

- **Conductividad**

Se observa en la Figura 19 los resultados del parámetro conductividad para los puntos “AT” y “T”.



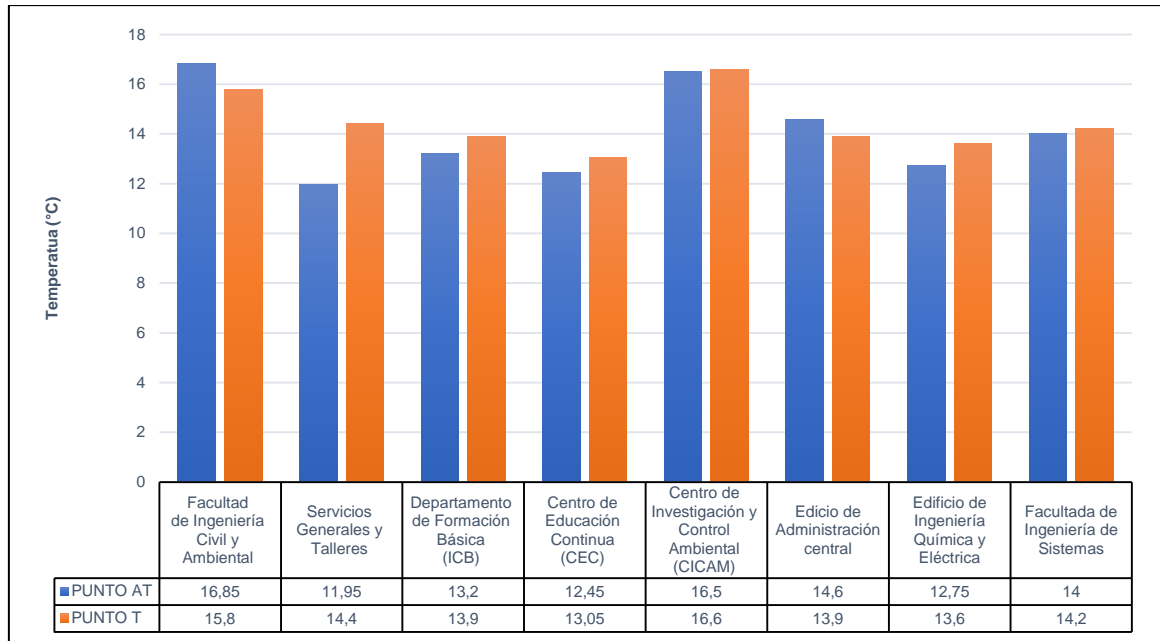
**Figura 19.** Resultado de análisis Conductividad

Los datos registrados indican que la conductividad de los puntos es considerablemente baja y que cumplen con el límite máximo permisible de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  establecido por la norma INEN 1108; sin embargo, muestran un patrón en el cual los valores de los puntos “AT” son menores a los obtenidos en los puntos “T”. Durante el muestreo se aprecia que la mayoría de las cisternas están fabricadas de concreto, exceptuando la cisterna del Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), que se encontraba recubierta de baldosa; lo que nos indica que el agua de la red de distribución del DMQ gana iones debido al entrar a las cisternas.

Ya que los valores obtenidos son bajos, se determinó que los iones corresponden a sodio y cloruro, que si bien no tienen un alto valor nutricional tampoco afecta en la salud del cuerpo humano. (SL, 2018)

- **Temperatura**

Se observa en la Figura 20 los resultados del parámetro temperatura para los puntos “AT” y “T”.

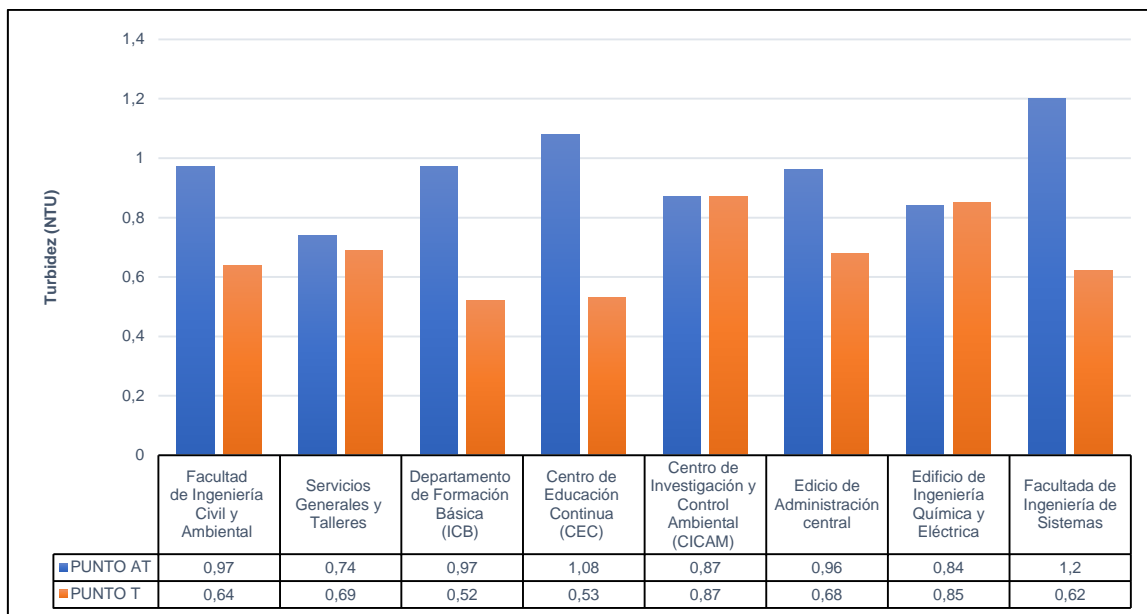


**Figura 20.** Resultado de análisis Temperatura

En los datos registrados se observa que la temperatura se encuentra en un rango de 12,5 a 16,85 °C, mostrando valores considerablemente bajos a la temperatura promedio de la zona. Sin embargo, es adecuada para el consumo, cumpliendo con el LMP establecido en la norma INEN 1108.

- **Turbidez**

Se observa en la Figura 21 los resultados del parámetro turbidez para los puntos “AT” y “T”.



**Figura 21.** Resultado de análisis Turbidez

Los datos registrados indican que la turbidez en los dos puntos cumple con la norma INEN 1108, sin embargo, hay valores que sobrepasan 1 NTU, dentro del punto “AT”, las cisternas correspondientes al Centro de Educación Continua (CEC) y la Facultad de Ingeniería de Sistemas, lo cual podría deberse a partículas en suspensión desprendidas de las cisternas ya que se encuentra construidas con concreto y las tapas son de acero que se encontraban en mal estado. A pesar de ello, los valores de turbidez son óptimos para el consumo.

### **3.2. Resultados y discusión análisis químicos puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque).**

A continuación, en la Tabla 18 se muestran los valores generalizados y detallados obtenidos en el análisis químico en las cisternas de la EPN.

**Tabla 17.** Resultados de análisis parámetros químicos puntos “AT” (Antes del Tanque) y “T” (Tanque)

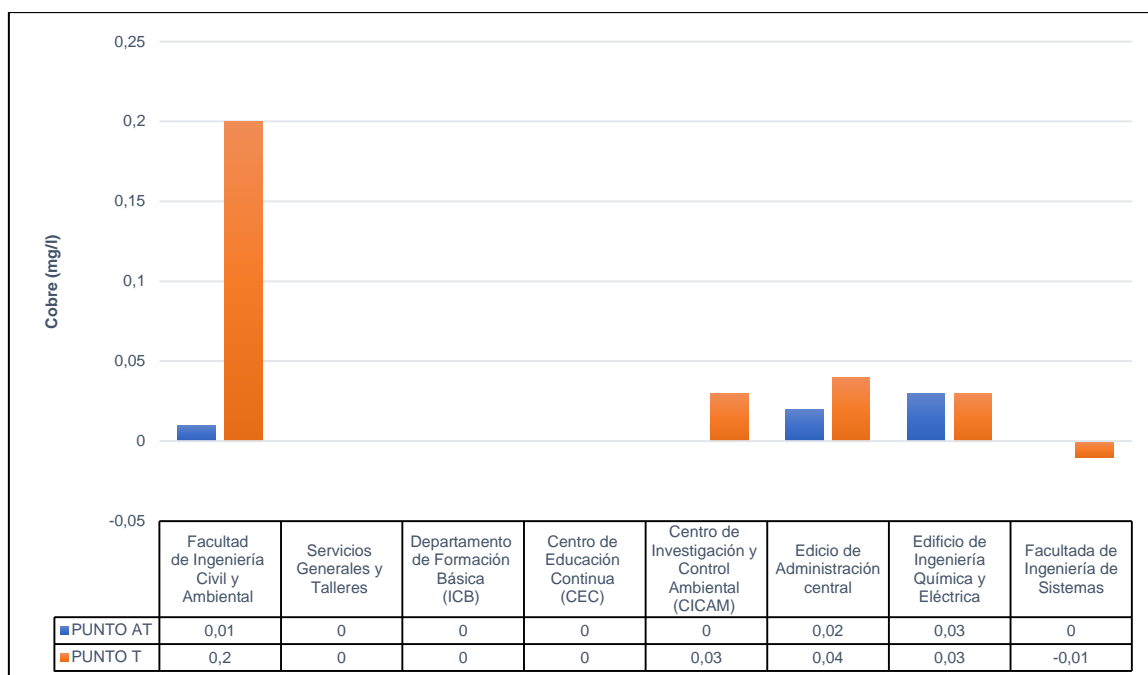
PARÁMETROS QUÍMICOS										
PUNTOS “AT”										
Parámetros	Unidades	Normativa Aplicada	Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	Servicios Generales y Talleres	Departamento de Formación Básica (ICB)	Centro de Educación Continua (CEC)	Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM)	Edificio de Administración Central	Edificio de Ingeniería Química y Eléctrica	Facultad de Ingeniería de Sistemas
<b>Cobre (Cu)</b>	mg/l	INEN 1108	0,01	0	0	0	0	0,02	0,03	0
<b>Cloro libre residual</b>	mg/l	INEN 1108	0,14	0,82	0,52	0,52	0,52	0,82	0,59	0,85
<b>Cloruros</b>	mg/l	INEN 1108	0,32	0,41	0,4	0,61	0,45	0,43	0,5	0,43
<b>Cromo Hexavalente (Cr)</b>	mg/l	INEN 1108	0,01	0,01	0	0	0,01	0,01	0	0
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	0	0,1	0,12	0,1	0,3	0	0	0
<b>Dureza total</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	30,0273	44,04004	36,03276	38,03458	34,03094	32,02912	28,02548	30,0273
<b>Hierro Total (Fe)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,02	0,17
<b>Níquel (Ni)</b>	mg/l	INEN 1108	< 0	< 0	< 0	0,02	0,006	< 0	< 0	< 0
<b>Nitratos (NO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	INEN 1108	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	1,1	1	1,5
<b>Nitritos (NO<sub>2</sub>)</b>	mg/l	INEN 1108	0,005	0,005	0,006	0,008	0,003	0,006	0,004	0,004
<b>Oxígeno Disuelto (OD)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	6,8	7,65	6,04	6,2	6,99	7,2	6,14	6,5
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>		TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	6,68	6,78	6,49	6,54	6,61	6,88	6,83	6,78
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	0,016	0,006	19,986	0,002	0,014	0,034	0,042	0,022
<b>Sólidos Totales (ST)</b>	mg/l	NA	0,16	0,088	0,1	0,086	0,2	0,196	0,168	0,152

## ...Continuación Tabla 17.

PUNTOS "T"										
<b>Cobre (Cu)</b>	mg/l	INEN 1108	0,02	0	0	0	0,03	0,04	0,03	< 0
<b>Cloro libre residual</b>	mg/l	INEN 1108	0,35	0,52	0,31	0,14	0,04	0,8	0,77	0,56
<b>Cloruros</b>	mg/l	INEN 1108	0,46	0,51	0,37	0,46	0,43	0,44	0,47	0,4
<b>Cromo Hexavalente (Cr)</b>	mg/l	INEN 1108	0,01	0	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	-4	-86	-65	-51	-6	-265	-5	-4
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	0	0	0,1	0,12	0,3	0	0	0
<b>Dureza Total</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	36,03276	36,03276	30,0273	32,02912	34,03094	36,03276	26,02366	36,03276
<b>Hierro Total (Fe)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	0,02	0,04	0,2	0,03	0,07	0,04	0,03	0,03
<b>Níquel (Ni)</b>	mg/l	INEN 1108	< 0	< 0	0	0,02	0,002	< 0	< 0	0,004
<b>Nitratos (NO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	INEN 1108	0,7	0,7	1	0,7	0,8	0,8	1,5	1,2
<b>Nitritos (NO<sub>2</sub>)</b>	mg/l	INEN 1108	0,004	0,005	0,006	0,004	0,003	0,004	0,004	0,003
<b>Oxígeno Disuelto (OD)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	6,3	7,2	6,54	6,17	6,7	6,7	6,74	6,3
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>		TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	6,59	6,73	6,7	6,75	6,61	6,72	6,82	6,81
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	mg/l	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 1	0,006	0,014	0,02	0,026	0,034	0,026	0,044	0,026
<b>Sólidos Totales (ST)</b>	mg/l	NA	-0,032	0,054	0,108	0,106	0,2	0,214	0,158	0,156

- **Cobre (Cu)**

Se observa en la Figura 22 los resultados del parámetro cobre para los puntos “AT” y “T”.



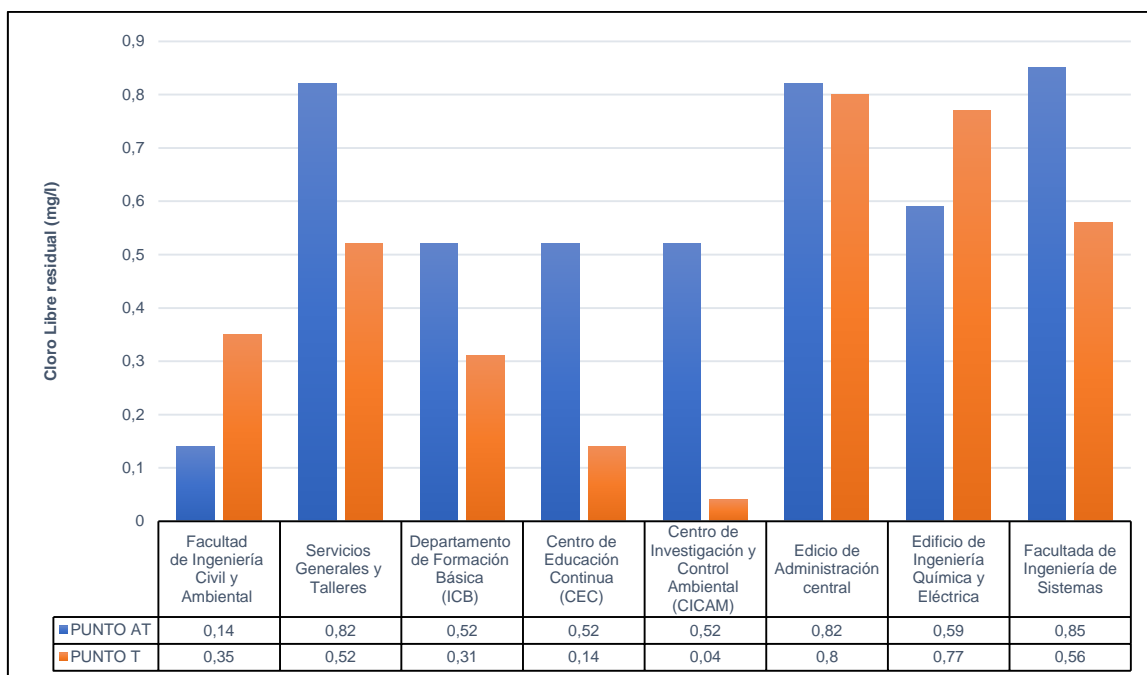
**Figura 22.** Resultado de análisis Cobre

Los valores obtenidos durante el análisis de cobre cumplen con el límite máximo permisible de 2 mg/l establecido por la normativa INEN 1108.

Si bien la mayoría de tuberías han sido reemplazadas por PVC, todavía existen edificaciones que usan tuberías de cobre como es el caso de las cisternas Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), Edificio de Administración Central y Edificio de Ingeniería Química y Eléctrica; aunque los valores obtenidos son muy bajos el consumo continuo del agua contaminada con cobre podría conllevar a trastornos digestivos y daños en riñones e hígado.

- **Cloro Libre Residual**

Se observa en la Figura 23 los resultados del parámetro cloro libre residual para los puntos “AT” y “T”.



**Figura 23.** Resultado análisis Cloro libre residual

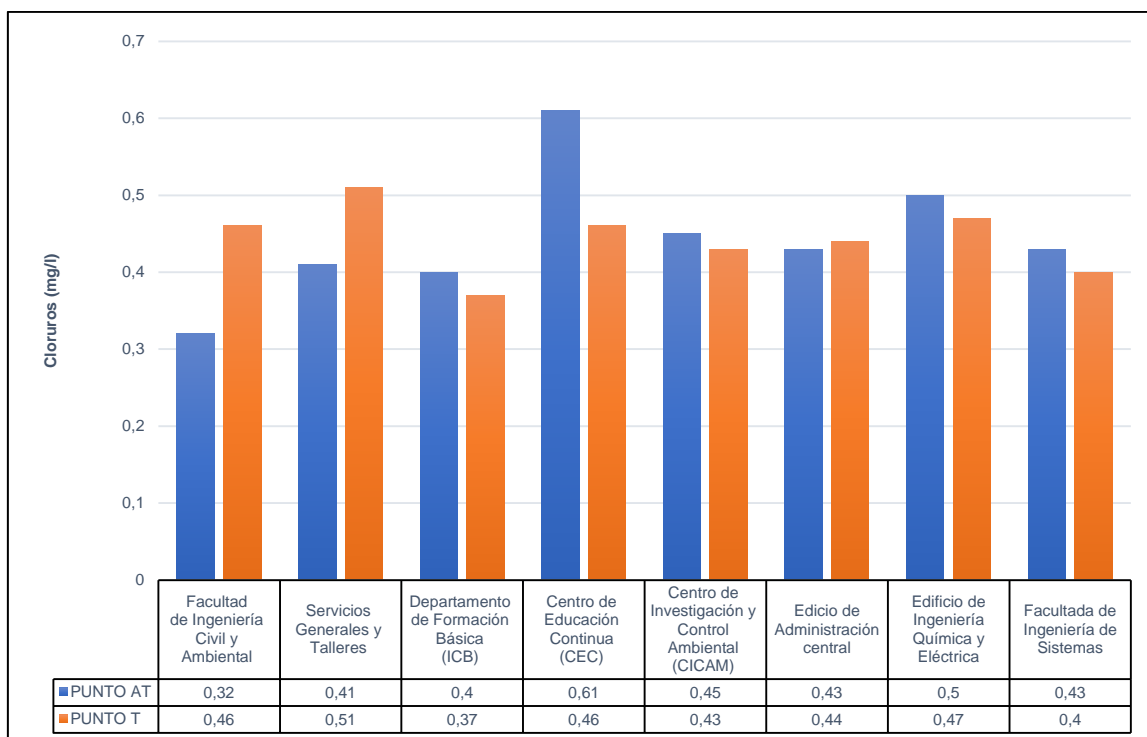
Los valores registrados de cloro libre residual en el punto “AT” Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental no cumple con LMP establecido en la norma INEN 1108. De igual manera, en el punto “T” Centro de Educación Continua (CEC) y Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) tampoco cumplen con LMP establecido en la normativa.

El registro de estos valores que sobrepasan el LMP puede ser debido a que la medición no se realizó in situ, inmediatamente después de recolectada la muestra, caso contrario este análisis fue realizado en el laboratorio. Como se mencionó anteriormente en el marco teórico, las muestras de agua para análisis de cloro libre residual deben ser analizadas in situ lo más rápido posible después de su captación.

- **Cloruros**

Se observa en la Figura 24 los resultados del parámetro cloruros para los puntos “AT” y “T”.





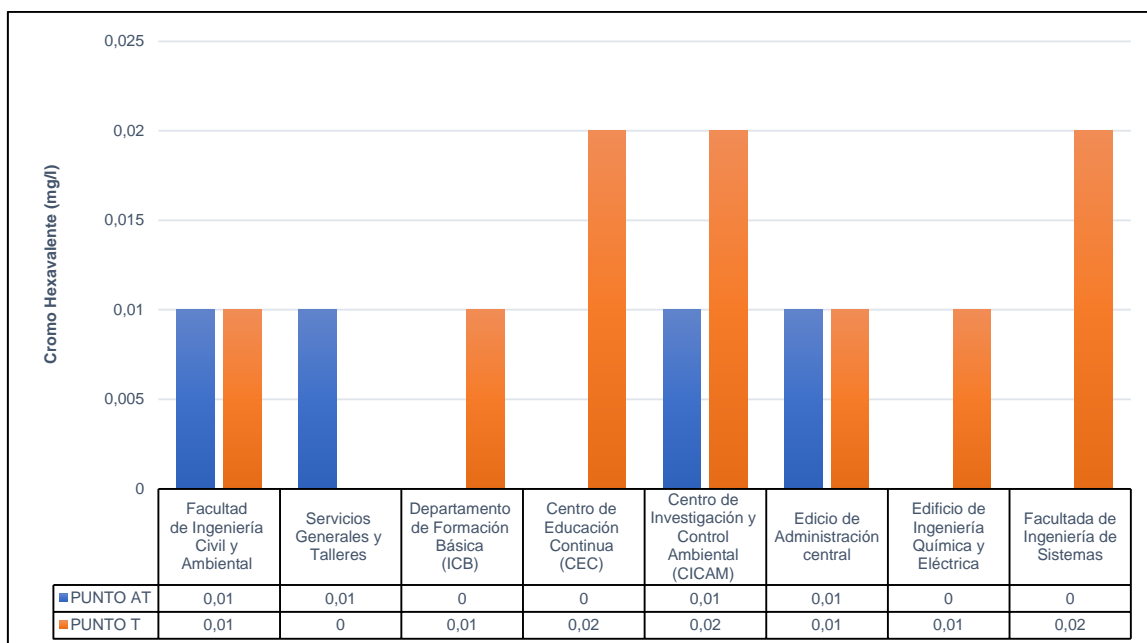
**Figura 24.** Resultado de análisis Cloruros

Los datos registrados cumplen con el límite máximo permisible establecido por la norma INEN 1108. La presencia de cloruros en el agua potable, tienden a ser atribuidos a contaminación por acciones del hombre, sin embargo, en este caso se le es atribuida al medio de almacenamiento del agua potable previo su consumo; es decir las cisternas.

Los valores obtenidos durante el análisis químico de cloruros se encuentran en un rango medio; valores en un rango medio indican que el agua no ha sido expuesta por largos períodos al aire libre, ni altas temperaturas, factores indispensables para la pérdida de cloruros. (WATERLOGIC, 2018)

- **Cromo Hexavalente (Cr)**

Se observa en la Figura 25 los resultados del parámetro cromo hexavalente para los puntos “AT” y “T”.

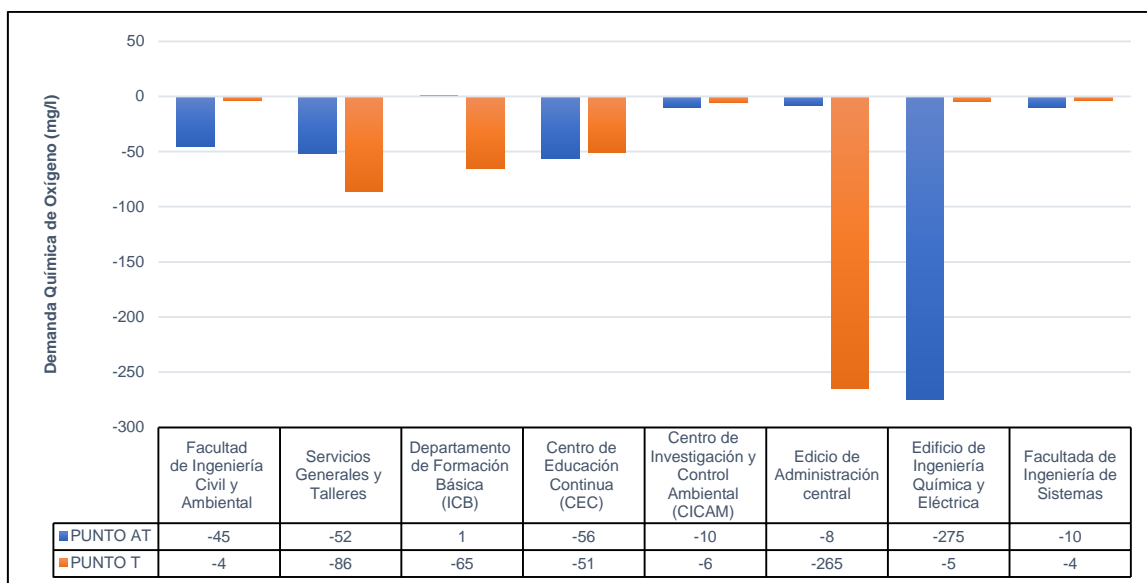


**Figura 25.** Resultado de análisis Cromo Hexavalente

Los valores registrados cumplen con el límite máximo permisible de 0.05 mg/l establecido por la norma INEN 1108. La presencia de cromo hexavalente en agua potable es poco común, atribuyéndole su presencia en este caso a procesos de erosión del suelo debido al uso de cisternas, mala construcción de las mismas o infiltraciones en estaciones lluviosas.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se observa en la Figura 26 los resultados del parámetro DQO para los puntos "AT" y "T".

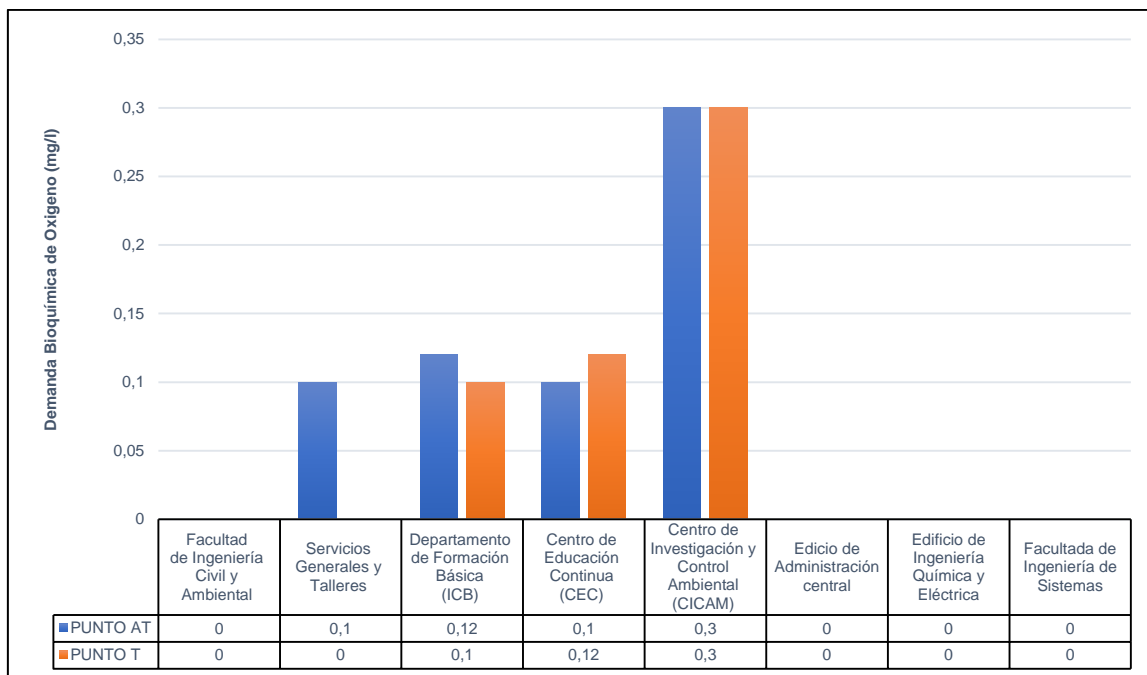


**Figura 26.** Resultado de análisis Demanda Química de Oxígeno

Los valores obtenidos de DQO cumplen con el límite máximo permisible de 400 mg/l establecido por la norma TULSMA Libro VI Anexo I tabla 1. Durante el análisis de DQO en los puntos se usaron viales de rango bajo debido a que la muestra provenía de agua potable. Como se ve los datos registrados son negativos, lo que indica que existe baja carga de materia orgánica no biodegradable en el agua y consecuentemente se descarta la contaminación de la misma.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Se observa en la Figura 27 los resultados del parámetro DBO para los puntos "AT" y "T".



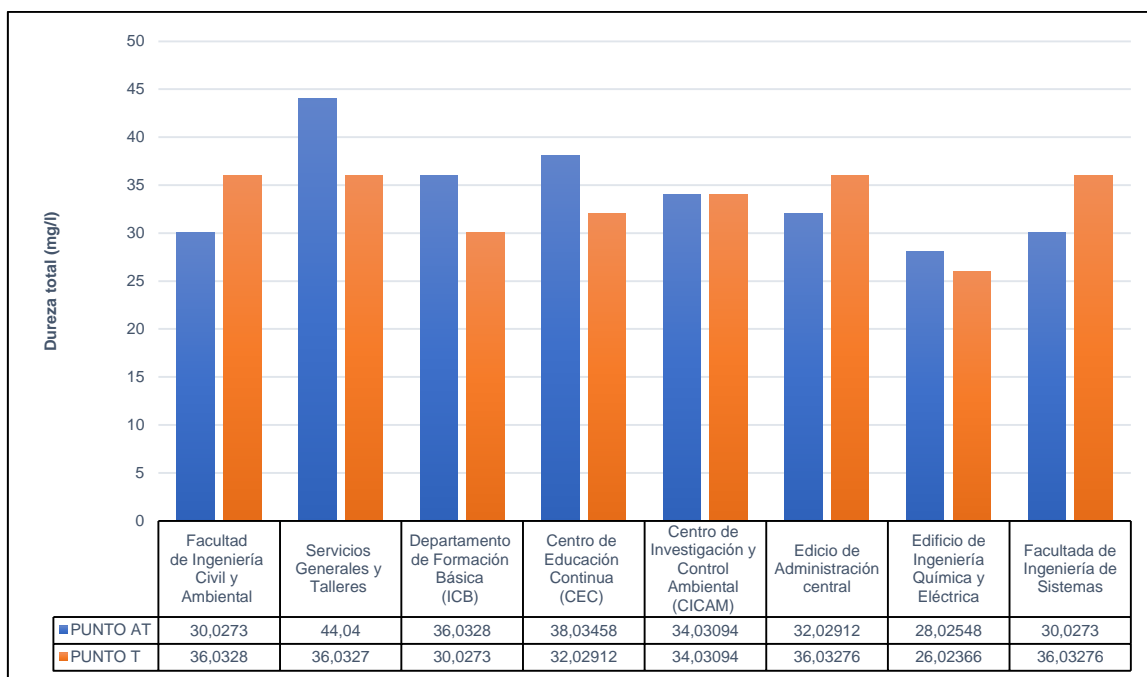
**Figura 27.** Resultado de análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los valores de DBO cumplen con el límite máximo permisible de 2 mg/l establecido por la norma TULSMA Libro VI Anexo I tabla 1. El análisis de  $DBO_5$  se realizó en base a los valores obtenidos durante la DQO usando 432 ml (volumen mayor usado en determinación de  $DBO_5$ ), debido a que esta arrojó valores negativos la prueba debió haberse descartado ya que los valores esperados serían cero. Sin embargo, se realizó la prueba a modo de comprobación.

Los valores obtenidos durante la comprobación son bajos, en su mayoría cercanos o iguales a cero. Valores bajos indican que la cantidad de materia orgánica biodegradable es baja.

- **Dureza Total**

Se observa en la Figura 28 los resultados del parámetro dureza total para los puntos "AT" y "T".



**Figura 28.** Resultado análisis Dureza total

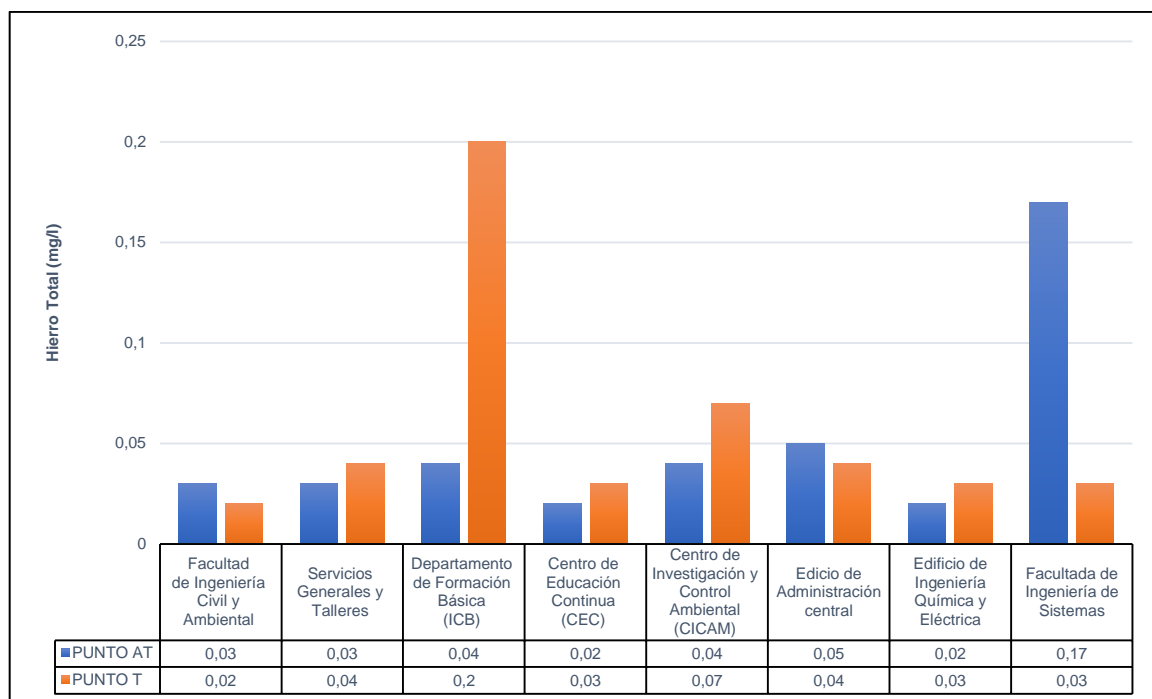
Lo valores registrados de dureza total cumplen con el LMP establecido en la norma INEN 1108. Como se puede visualizar los valores se encuentran en un rango de 26 a 44 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , lo que indica que el agua es blanda según la Tabla 11.

El agua blanda muestra que existe una mínima cantidad de sales disueltas, sin embargo, se la considera óptima para el consumo humano.

Uno de los principales problemas de alto contenido de dureza en el agua es la formación de incrustaciones en las tuberías, con bajos niveles de dureza se puede asumir que el estado de las tuberías se bueno.

- **Hierro Total (Fe)**

Se observa en la Figura 29 los resultados del parámetro hierro total para los puntos "AT" y "T".



**Figura 29.** Resultado de análisis Hierro total

Los valores obtenidos cumplen con el límite máximo permisible de 1 mg/l establecido TULSMA Libro VI Anexo I tabla 1. Los datos registrados durante el análisis son bajos; durante el muestreo se descartó la presencia de color rojizo o café principal indicador de presencia de hierro en el agua.

La presencia de este parámetro se debe a la filtración de tierra o piedras comunes a las cisternas o durante la distribución, a su vez si es que existen cañerías de hierro estas se pueden corroer y lixiviar hierro dentro del tanque. La presencia de hierro en niveles insignificantes no representa un riesgo para la salud humana.

- **Níquel (Ni)**

Se observa en la Figura 30 los resultados del parámetro níquel para los puntos "AT" y "T".

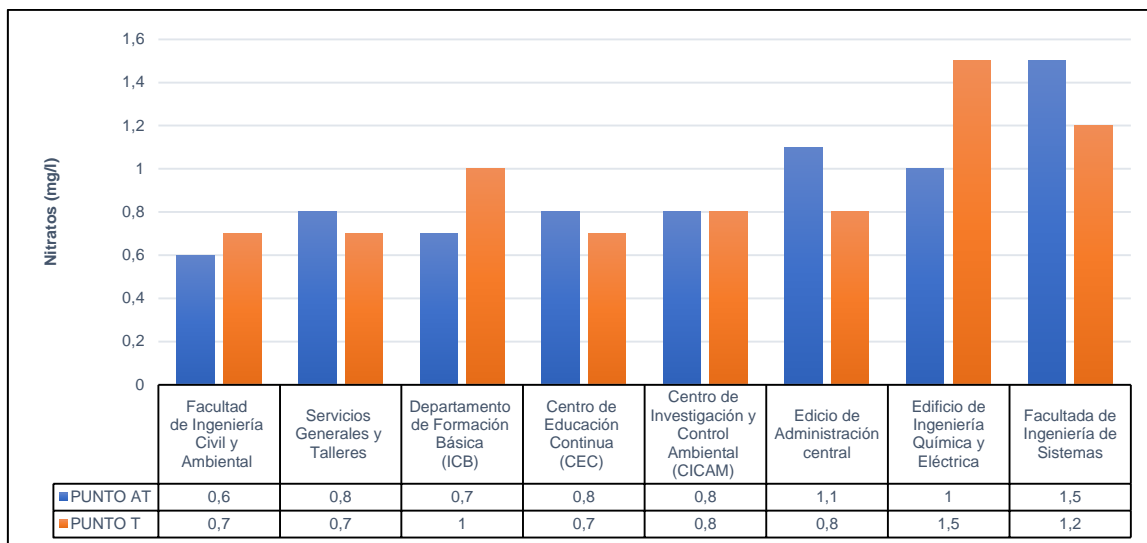


**Figura 30. Resultado de análisis Níquel**

Los valores obtenidos cumplen con el límite máximo permisible de 0.007 mg/l establecido en la norma INEN 1108. Los datos registrados durante el análisis muestran valores bajos en relación con la normativa, la presencia de níquel en el agua potable para estos casos se debe al uso de cañerías o accesorios fabricados de acero. Los niveles bajos de níquel no intervienen en la salud humana.

- **Nitratos (NO<sub>3</sub>)**

Se observa en la Figura 31 los resultados del parámetro nitratos para los puntos "AT" y "T".



**Figura 31. Resultado de análisis Nitratos**

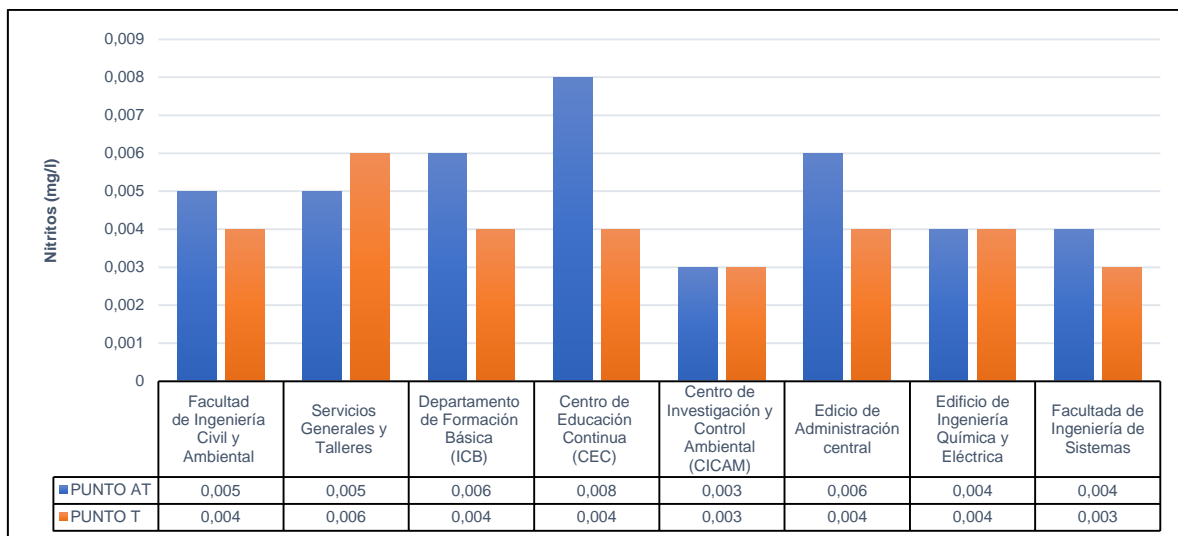
Los valores registrados durante el análisis cumplen con el LMP establecido en la norma INEN 1108, indicando que el agua se encuentra en condiciones óptimas para el consumo.

Se puede observar, en los dos puntos, que los valores registrados son bajo por ende no afectan la salud humana. Altas concentraciones de nitratos en el agua potable pueden provocar graves enfermedades principalmente en niños.

- **Nitritos ( $\text{NO}_2$ )**

Se observa en la Figura 32 los resultados del parámetro nitritos para los puntos "AT" y "T".



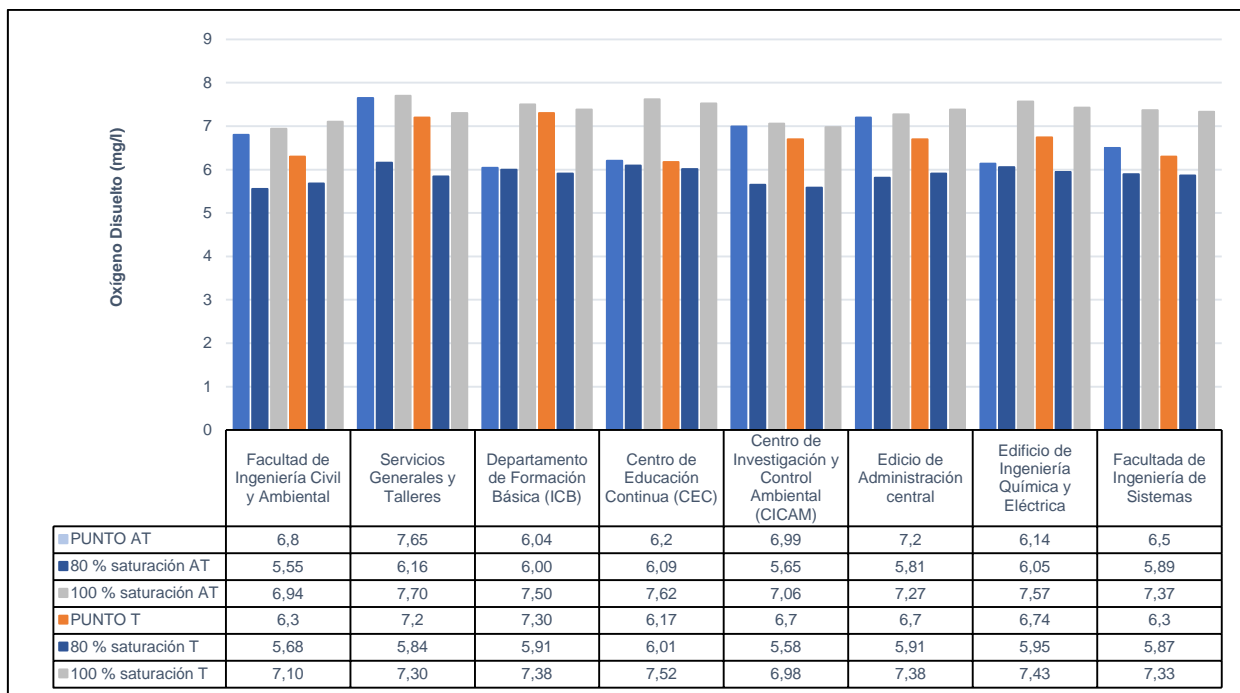


**Figura 32.** Resultado de análisis Nitritos

Los datos registrados durante el cumplen con el límite máximo permisible de 3 mg/l establecido por la norma INEN 108. Niveles tan bajos de nitratos no intervienen en la salud humana y su presencia en el agua potable se podría derivar por infiltraciones pluviales durante estaciones lluviosas. En su mayoría las cisternas se encuentran expuestas al aire libre siendo cubiertas únicamente por tapas, con excepción de los puntos 6,7,8 que se encuentran en cuartos cubiertos y en los cuales es posible apreciar valores más bajos.

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

Se observa en la Figura 33 los resultados del parámetro oxígeno disuelto para los puntos "AT" y "T".



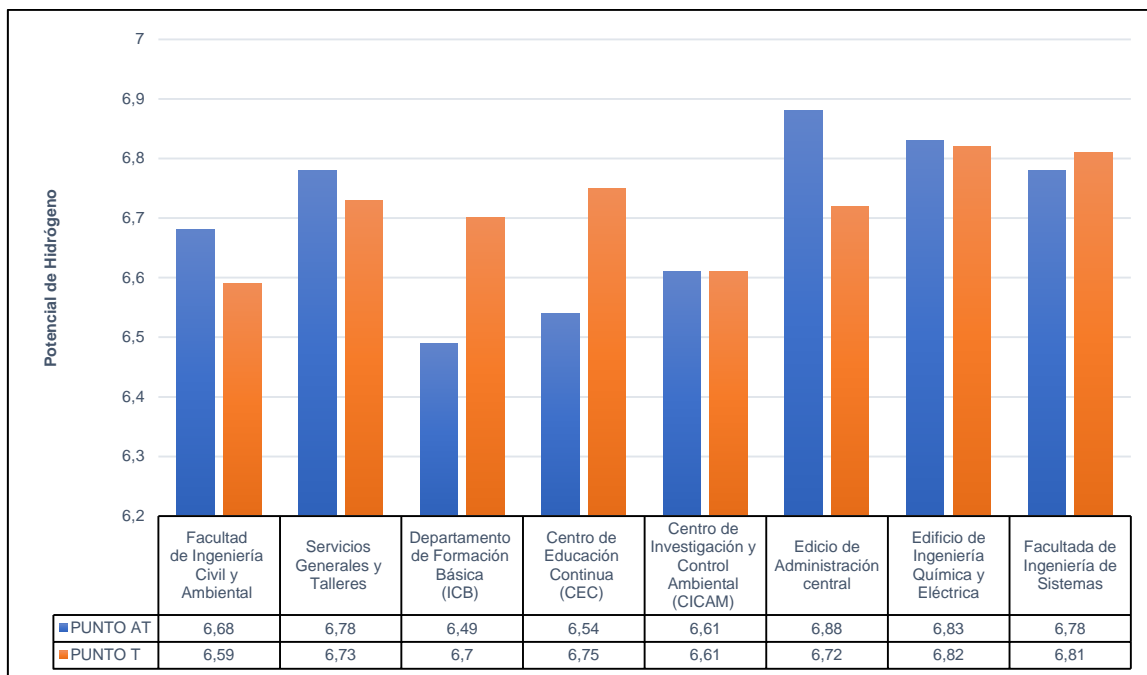
**Figura 33.** Resultado de análisis Oxígeno Disuelto

Los datos registrados durante el análisis cumplen con la normativa del TULSMA que establece como valor mínimo 6 mg/l y un límite máximo permisible mayor al 80% del oxígeno saturado en la muestra en base a la temperatura.

La presencia de oxígeno disuelto hace que el gusto por el agua en las personas sea mayor, sin embargo, aumenta la velocidad de corrosión en las tuberías de agua. Su presencia en agua potable proviene de la absorción del mismo en la atmósfera, y del movimiento que produce el agua al entrar desde la red de distribución al tanque. (LENNTECH, 2018)

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Se observa en la Figura 34 los resultados del parámetro pH para los puntos “AT” y “T”.

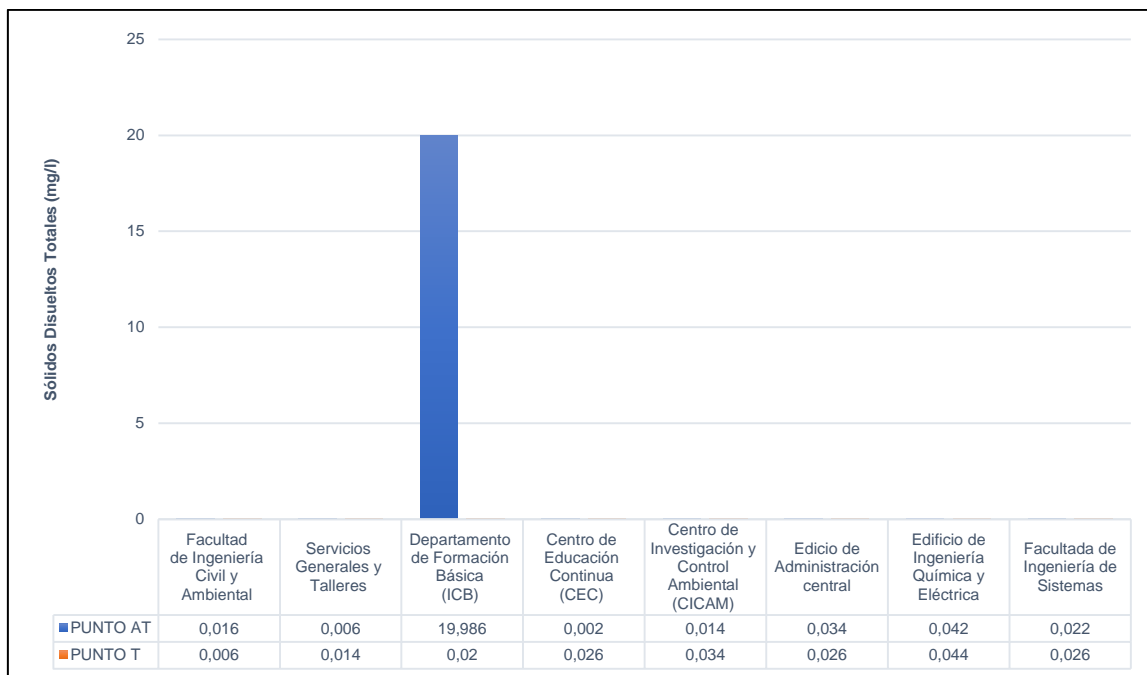


**Figura 34.** Resultado de análisis Potencial de Hidrógeno

Los datos registrados indican que el pH, en los dos puntos, cumple con el LMP establecido en la norma INEN 1108. Se observa que los valores se encuentran en un rango de 6,49 a 6,88 aproximándose a un valor neutral. Los valores de pH son óptimos para el consumo.

- **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

Se observa en la Figura 35 los resultados del parámetro SDT para los puntos “AT” y “T”.

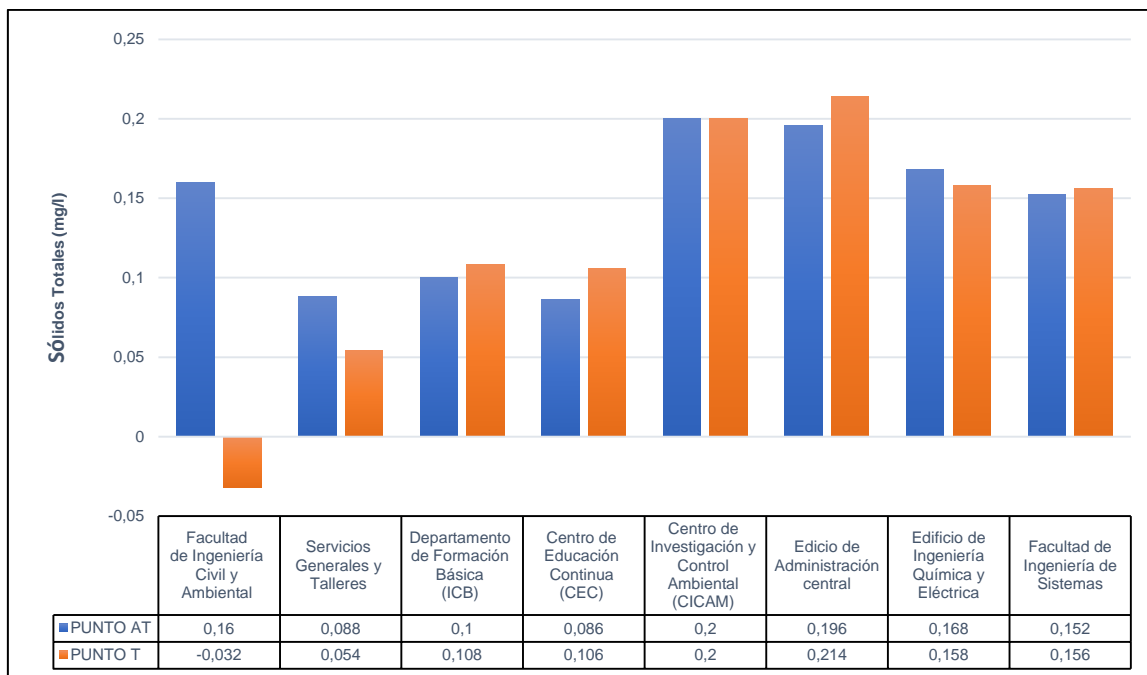


**Figura 35.** Resultado de análisis Sólidos disueltos totales

Los valores obtenidos cumplen con el límite máximo permisible de 1000 mg/l establecido por la norma TULSMA Libro VI Anexo I tabla 1. Como se aprecia los datos registrados son extremadamente bajos, con excepción del punto “AT” en la cisterna perteneciente al Departamento de Formación Básica (ICB), cuya tapa se encontraba altamente corroída y desde la cual se desprendían una gran cantidad de sólidos. La presencia de estos valores se debe a la exposición del tanque al libre o al arrastre de tierra en las cañerías y no producen alteraciones en la salud humana.

- **Sólidos Totales (ST)**

Se observa en la Figura 36 los resultados del parámetro ST para los puntos “AT” y “T”.



**Figura 36.** Resultado de análisis Sólidos totales

Los valores de ST registrados durante el análisis son bajos al igual que los SDT que cumplen con la normativa, por ende se puede decir que a pesar de que los ST no se encuentran normados estos no afectan la calidad del agua.

Por lo general, valores altos de ST en el agua potable pueden ser ocasionados por escorrentías pluviales que infiltran dentro del sistema, dando un sabor desagradable al paladar.

### 3.3. Resultados y discusión análisis microbiológicos puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque).

A continuación, en la Tabla 19 se muestran los valores generalizados y detallados obtenidos en el análisis microbiológico en las cisternas de la EPN.



- **Coliformes totales y/o fecales**

La presencia de coliformes totales es un indicador de contaminación microbiana reciente. La ausencia de un viraje de color durante la prueba presuntiva indica ausencia de coliformes totales en las muestras de agua y acorde a la normativa INEN 1108 valores menores a 1.1 cumpliendo al 100% el LMP.

Al no tener tubos positivos durante la realización de la prueba presuntiva se descartó la presencia de coliformes fecales. La OMS indica que el agua inocua no debería presentar coliformes ni totales ni fecales ya que éstas representan un riesgo para la salud pública. Por lo que el agua abastecida en la EPN, se considera segura, hecho que se corrobora a continuación en el cálculo del ICA.

### **3.4. Resultados y discusión del análisis del índice de calidad del agua puntos “AT” (antes del tanque) y “T” (tanque)**

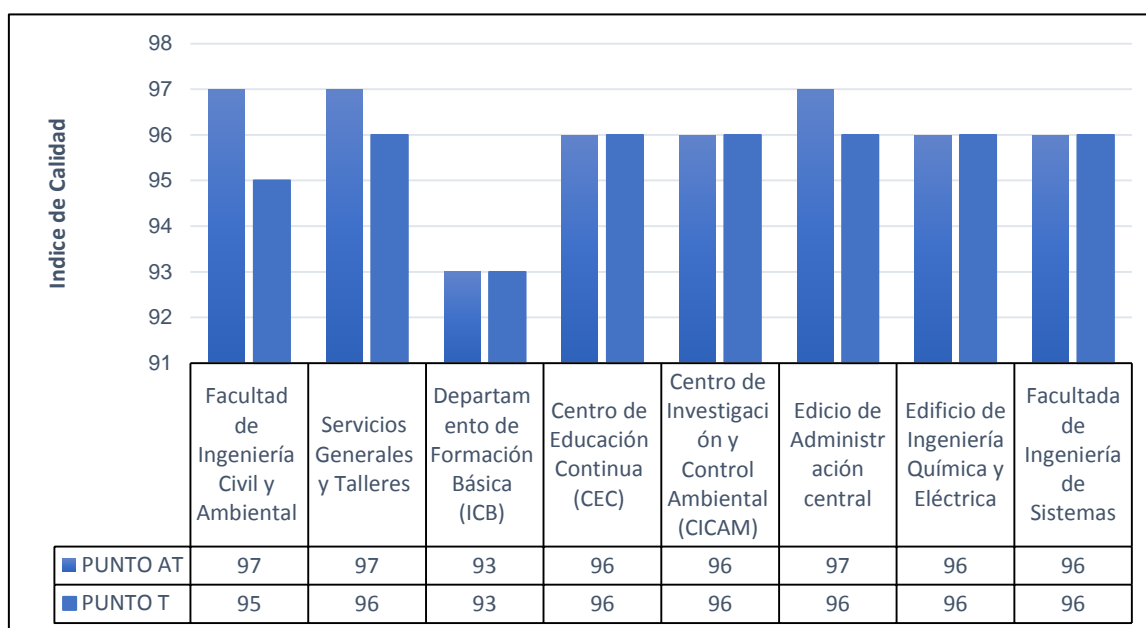
A continuación, en la Tabla 20 se muestran los valores generalizados y detallados obtenidos en el cálculo del ICA en las cisternas de la EPN.

**Tabla 19.** Índice de Calidad del Agua Puntos “AT” (Antes del tanque) y “T” (Tanque)

CALCULO DEL ICA PUNTOS “AT” Y “T”									
DETERMINACION ICA INDIVIDUAL									
PUNTOS “AT”									
Parámetro	Importancia	Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	Servicios Generales y Talleres	Departamento de Formación Básica (ICB)	Centro de Educación Continua (CEC)	Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM)	Edificio de Administración Central	Edificio de Ingeniería Química y Eléctrica	Facultad de Ingeniería de Sistemas
Coliformes Fecales	0.16	100	100	100	100	100	100	100	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.11	100	100	100	100	100	100	100	100
Nitratos	0.10	97	97	97	97	97	97	97	97
Oxígeno Disuelto	0.17	95	95	93	92	93	95	92	93
Potencial de Hidrógeno	0.11	100	100	100	100	100	100	100	100
Sólidos Totales	0.07	79	79	79	79	79	79	79	79
Turbidez	0.08	99	99	99	96	99	99	99	96
DETERMINACIÓN ICA GLOBAL									
<b>Σ</b>		<b>97</b>	<b>97</b>	<b>93</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>97</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
DETERMINACION ICA INDIVIDUAL									
PUNTOS “T”									
Coliformes Fecales	0.16	100	100	100	100	100	100	100	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.11	100	100	100	100	100	100	100	100
Nitratos	0.10	97	97	97	97	97	97	97	97
Oxígeno Disuelto	0.17	95	93	95	92	93	94	92	95
Potencial de Hidrógeno	0.11	100	100	100	100	100	100	100	100
Sólidos Totales	0.07	79	79	79	79	79	79	79	79
Turbidez	0.08	99	99	99	96	99	99	99	96
DETERMINACIÓN ICA GLOBAL									
<b>Σ</b>		<b>95</b>	<b>96</b>	<b>93</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>96</b>



En la Figura 37 se observa los valores del ICA global obtenidos en cada punto:



**Figura 37.** Valores de ICA puntos "AT" y "T"

Los resultados de los análisis físicos realizados en el punto AT que proviene de la red de distribución del DMQ y los puntos T que pertenecen al agua de cisternas de la EPN, fueron comparados según la clasificación del ICA propuesta por Brown (WATERLOGIC, 2018)

El análisis del ICA realizado en la EPN muestra que la calidad del agua es **EXCELENTE** en todos los puntos analizados (DMRWQN, 2013).

El cálculo del ICA, indica que el agua es apta para consumo humano. La calidad del agua presenta estas características debido a la infraestructura moderna y accesible para mantenimientos, aunque no se descarta mejoras que ayuden a mantener la calidad de la mismas, las estructuras hidrosanitarias deben someterse a controles de mantenimiento más rigurosos, como por ejemplo cloración programada, lavado con mangueras presión, etc. (SNET, 2018).

Cabe recalcar que la calidad del agua de la red de distribución tiende a mantenerse una vez que ésta entra al tanque de almacenamiento, los valores obtenidos individualmente por cada cisterna no varían en comparación al análisis de la red de distribución del DMQ. (SNET, 2018)

En cuanto al cálculo global del ICA y al cálculo unitario, se puede ver que los valores son constantes, los valores registrados en cada parámetro son precisos (SNET, 2018).

A pesar de que los valores de ICA global en las cisternas se encuentran en rangos aceptables acorde a su uso final, es necesario seguir realizando análisis continuos para mantener la calidad de las mismas (SNET, 2018).

### **3.5. Resultados y discusión del plan de mejoras.**

Los resultados del análisis físico-químico y microbiológico muestran una calidad excelente del agua abastecida en la EPN, sin embargo, durante los muestreos y en conjunto con el personal de Servicios Generales y Talleres se encontraron falencias que podrían derivar en la contaminación directa o indirecta del agua consumida por la comunidad politécnica.

El plan de mejoras fue realizado en base a la situación actual de las cisternas de la EPN, y está dirigido al personal de Servicios Generales y Talleres, encargados del mantenimiento general de las instalaciones. El plan de mejoras fue entregado al Ing. Paredes encargado de esta área mediante la socialización de su contenido con el personal.

Para realizar la socialización del plan de mejoras se realizó una solicitud al Ing., Walter Paredes encargado del departamento de Servicios Generales y talleres, el mismo que autorizó que la reunión tuviera lugar en su oficina al igual que la presencia del personal de mantenimiento. La socialización tuvo lugar el día 11 de septiembre de 2018 a las 7:30 de la mañana hora de ingreso del personal y contó con la presencia de 8 personas. Antes de dar inicio a la socialización se

compartió un refrigerio en base a café y galletas de sal y dulce acorde con la hora de inicio de la reunión. Se preparó una presentación con diapositivas de power point en donde se resumieron los principales puntos del plan de mejoras como por ejemplo: los tipos de mantenimientos, hojas de registro, etc.

Durante la revisión del plan de mejoras se contó con la participación del personal especialmente con la del Ing. Paredes, dentro de sus comentarios supo señalar que las actividades propuestas serán aceptadas y aplicadas de acuerdo a la disponibilidad de recursos y necesidades de la EPN (Ver Anexo 6).

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1. Conclusiones

- A través del análisis se comprueba que las cisternas de agua potable de la EPN, cumplen con los parámetros establecidos por la normativa INEN 1108 y por el TULSMA Libro VI Anexo I Tabla 1, lo que la vuelve apta para consumo humano y procesos sanitarios.
- Se determinó la calidad del agua en ocho de las diez cisternas que se encuentran dentro de la EPN, en cada una se verificó su funcionamiento y último mantenimiento. Dos cisternas fueron descartadas ya que se encontraban fuera de servicio debido a fallas en el sistema de bombeo.
- En referencia a los análisis físicos se puede decir que los cuatro parámetros analizados: color, conductividad, temperatura y turbidez, cumplen con la normativa ya que los valores registrados se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible, según la norma INEN 1108 y el TULSMA, Libro VI Anexo I Tabla 1.
- Dentro de los análisis químicos se concluye que todos los parámetros a excepción de uno, cloro libre residual, cumplen con el Límite Máximo Permisible perteneciente a cada parámetro, según la norma INEN 1108 y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Libro VI Anexo I Tabla 1.
- En referencia al análisis microbiológico, donde se analizó coliformes totales mediante la prueba presuntiva, se descartó la presencia de coliformes fecales cumpliendo con la norma INEN 1108.
- El cálculo del ICA permitió determinar que el agua de la EPN, es apta para consumo humano, el almacenamiento del agua en las cisternas no influye en su calidad ni altera sus propiedades físicas, químicas o microbiológicas.
- A pesar de que el ICA muestra que el agua de la EPN, es en su mayoría excelente, esta podría verse afectada por factores externos, por lo que

es necesario implementar mejoras que permitan controlar estos aspectos.

## 4.2. Recomendaciones

- Debido a que el fin que se le da al agua de la Escuela Politécnica Nacional no es únicamente la sanidad, sino que el consumo humano es necesario realizar análisis periódicos (se recomienda de manera semestral) en todos los puntos de manera que se evite cualquier tipo de daño en la red o en la calidad del agua.
- Realizar mantenimientos preventivos en base al registro de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas de la EPN permitirán mantener la calidad del agua.
- Mejorar las estructuras de las cisternas, los puntos: CICAM, Química Eléctrica y Sistemas se encuentran con tapas deterioradas que podrían estar afectando a la dureza y la presencia de sólidos disueltos totales
- Durante la selección de cisternas para el desarrollo del proyecto, se constató que dos cisternas pertenecientes a las facultades: Escuela de Formación de Tecnólogos y Facultad de Ingeniería Geológica y Petróleos no estaban funcionando. Se recomienda realizar los trabajos correctivos para mejorar el abastecimiento de agua en ambos puntos.
- Durante el análisis químico, el parámetro cloro libre residual no cumplió con el Límite Máximo Permisible de la norma INEN 1108 debido al método de análisis, por lo que se recomienda al laboratorio LDIA (Laboratorio de Ingeniería Ambiental) que en futuros análisis este parámetro sea analizado in situ con equipos, materiales y reactivos correspondientes.
- Dentro del análisis químico se obtuvieron valores variados de punto a punto de parámetros como: sólidos totales, sólidos disueltos totales, nitritos y nitratos que se vieron relacionados con el estado actual de las cisternas, un cambio de todas las tapas, disminuiría la presencia de estos valores que si bien no afectan la salud humana provocan averías en los sistemas de abastecimiento.

- Todas las cisternas deberían contar con un sistema de seguridad unificado administrado por el personal de mantenimiento, para evitar posibles alteraciones a la calidad del agua por agentes externos.

## 5. Referencias bibliográficas

- ADECAGUA. (1992). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. MADRID: DIAS DE SANTOS.
- AgbarAgua. (2016). Fichas sobre la calidad del agua. Obtenido de <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>
- Alberro, N. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Obtenido de <http://ama.redciencia.cu/articulos/16.01.pdf>
- ANECA. (2017). Plan de Mejoras. Obtenido de [http://www.uantof.cl/public/docs/universidad/direccion\\_docente/15\\_elaboracion\\_plan\\_de\\_mejoras.pdf](http://www.uantof.cl/public/docs/universidad/direccion_docente/15_elaboracion_plan_de_mejoras.pdf)
- ARCA. (2018). Agencia de Regulación y Control del agua. Obtenido de <http://www.regulacionagua.gob.ec/>
- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas. Obtenido de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Bernal, A. Y. (2009). Elementos para la formulación de planes de mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano. Obtenido de <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/1102/52259663-2009-1.pdf;jsessionid=AD014CF39FE6BF9C2A73D31EE1728FA5?sequence=1>
- Carrera, O. (1977). Selección y Operación de Bombas de Agua y Sistemas de Bombeo. Guayaquil: UNAM.
- Carrillo, E. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. Obtenido de <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf>
- Chamba Moreno, K. L., & Guallasamin Calispa, S. V. (2015). Estudio de la disponibilidad y calidad de agua de consumo humano a través del monitoreo de caudales y análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en las zona de Pesillo-Imbabura. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/EPN-SOFII/TESIS-EPN/UPS%20-%20ST001591.pdf>
- CONAGUA. (2015). Manual de muestreo, técnicas de medición de parámetros in situ y estrategias de monitoreo para la vigilancia del agua. MEXICO: TEL AVIV UNIVERSITY.
- CONAGUA MEXICO. (2014). El medio ambiente en México. Obtenido de [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/06\\_agua/6\\_2\\_1.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html)
- Departamento de Física y Química. (2017). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales por la Técnica de dilución de tubo multiple NMP. Obtenido de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Analisis\\_Agua\\_NMP\\_22309.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Analisis_Agua_NMP_22309.pdf)
- DMRWQN. (2013). Calculating NSF Water Quality Index. Obtenido de [http://home.eng.iastate.edu/~dslutz/dmrwqn/water\\_quality\\_index\\_calc.htm](http://home.eng.iastate.edu/~dslutz/dmrwqn/water_quality_index_calc.htm)

- Dozier, M. C. (2018). Problemas del agua potable: El cobre. TEXAS: TEXASWATER.
- EPMAPS. (2018). Obtenido de <https://www.aguaquito.gob.ec/>
- EPN . (2018). ESCUELA POLITECNICA NACIONAL. Obtenido de <http://www.epn.edu.ec/bienvenido-al-ecuador/>
- EPN. (2018). Escuela Politécnica Naciona. Obtenido de <http://www.epn.edu.ec/institucion/ubicacion-geografica/>
- Gallardo , L. (2016). Caracterización de aguas crudas. (S. Imbaquingo , & R. Mendoza, Entrevistadores)
- García , T. V. (2012). Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia\\_tq.pdf;sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia_tq.pdf;sequence=1)
- Giraldo Gómez, G. I. (1995). Manual de análisis de agua. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf>
- Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua. (2015). Gesta Agua. Obtenido de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf)
- HACH COMPANY. (2000). Manual de análisis de agua. Obtenido de Procedimientos fotométricos Procedimientos de titulación Procedimientos microbiológicos: [file:///Users/macbookpro/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish-Manual%20de%20Analisis%20de%20Agua%20\(4\).pdf](file:///Users/macbookpro/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish-Manual%20de%20Analisis%20de%20Agua%20(4).pdf)
- INEN. (1984). NTE INEN 0983: Agua potable, determinación de cromo hexavalente. Obtenido de <https://archive.org/stream/ec.nte.0983.1984#page/n1/mode/2up>
- INEN. (1984). NTE INEN 0984: Agua potable, determinación de cobre. Obtenido de <https://archive.org/stream/ec.nte.0984.1984#page/n1/mode/2up>
- INEN. (1998). NTE INEN 2176: Agua, Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.2176.1998>
- INEN. (2013). NTE INEN 1202: Agua, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.1202.1985>
- INEN. (2013). NTE INEN 2169: Agua, calidad de agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. Obtenido de <http://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INEN/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACI%C3%93N%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- INEN. (2014). NTE INEN 1108: Agua potable, requisitos. Obtenido de <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>
- INEN. (2016). NTE INEN 974: Agua potable, determinación de la dureza total por titulación con EDTA. Obtenido de <http://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INEN/NTE%20INEN%20974%20-%20AGUA%20POTABLE.%20DETERMINACI%C3%93N%20DE%20LA%20DUREZA%20TOTAL%20POR%20TITULACI%C3%93N%20CON%20EDTA.pdf>



- INTA. (2010). MUESTREO, TRANSPORTE Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA. Obtenido de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-muestreo\\_agua.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-muestreo_agua.pdf).
- LENNTECH. (2018). LENNTECH. Obtenido de <https://www.lenntech.es/porque-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>
- McFarland, M. L. (2018). Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. TEXAS: Texas A&M.
- Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales por la Técnica de dilución de tubo multiple NMP. (2017).
- Metrólogos Asociados . (2010). Medición de Turbidez en la Calidad del Agua. Obtenido de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-10-01-Turbidez.pdf>
- NCPH. (2009). DIVISIÓN DE SALUD PÚBLICA DE CAROLINA DEL NORTE. Obtenido de HOJA INFORMATIVA SOBRE BACTERIAS COLIFORMES EN LOS POZOS DE AGUA PRIVADA.
- OMS. (2003). Guías para la calidad de agua potable. Obtenido de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf)
- OMS. (2005). Guías para la calidad del agua potable. Obtenido de Volumen 1 Recomendaciones: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf)
- OMS. (2006). Guia para la calidad de agua potable. Genova.
- OMS. (2018). Agua, saneamiento e higiene. Obtenido de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/)
- Organización Panamericana de la Salud . (1988). Guías para la calidad de agua potable. Washington DC.
- Paredes, E. (2018). Calidad agua potable EPN. (S. Imbaquingo , & R. Mendoza, Entrevistadores)
- Peña, E. (2007). Calidad de Agua. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Plan de Mejoras. (2016). Obtenido de [http://www.uantof.cl/public/docs/universidad/direccion\\_docente/15\\_elaboracion\\_plan\\_de\\_mejoras.pdf](http://www.uantof.cl/public/docs/universidad/direccion_docente/15_elaboracion_plan_de_mejoras.pdf)
- QuestionPro. (2018). Muestreo. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-aleatorio-simple/>
- Reasco , B., & Yar, B. (2010). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano de las comunidades del cantón Cotacachi y propuesta de medida correctiva. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Desktop/EPN-SOFII/TESIS-EPN/03%20REC%20123%20CONTENIDO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Desktop/EPN-SOFII/TESIS-EPN/03%20REC%20123%20CONTENIDO%20(1).pdf)
- SEMARNAT. (2014). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. MEXICO.
- SENAGUA. (2016). Guía metodológica para la elaboración del plan de mejora de los servicio de agua potable y saneamiento. Obtenido de <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/Anexo-6-Gu%C3%ADa-Metodol%C3%B3gica-para-la-elaboraci%C3%B3n-del-Plan-de-Mejora.pdf>

- Servicios Internacionales EPN. (2018). Obtenido de <http://www.epn.edu.ec/bienvenido-al-ecuador/>
- SL, C. E. (2018). CANNA. Obtenido de La importancia de la conductividad eléctrica: [www.canna.es](http://www.canna.es)
- SNET. (2018). Índice de calidad del agua general ICA.
- UNINET. (2018). NORMA MEXICANA NMX-AA-20-1980. Obtenido de Agua. Determinación de sólidos disueltos totales: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa020.pdf>
- UNINET. (2018). SERNAT. Obtenido de AGUAS.- DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa020.pdf>
- Villa, M. (2011). Evaluación de la calidad del agua. Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/322/1/T-SENESCYT-0092.pdf>
- WATERLOGIC. (2018). El estado del cloro del agua en nuestros grifos. Obtenido de <https://www.waterlogic.es/centro-de-recursos/que-contiene-el-agua-del-grifo/como-eliminar-el-cloro-del-agua-del-grifo/>

## **ANEXO I. Muestreo**

**Tabla I.** Técnicas generales para la conservación de muestras

Parámetros	Tipo de recipiente (v, vidrio; p, plástico; vb, vidrio borosilicatado)	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios
<b>Aniones (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>)</b>	P o V	500	Se enfría entre 1 °C y 5°C.	24 h	Filtrar en el lugar antes de conservación.
<b>Cloro libre residual</b>	P o V	500		5 min	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad. El análisis debe llevarse a cabo en el campo, dentro de 5 min de recogida de muestras.
<b>Cobre (Cu)</b>	P lavado con ácido o V lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	
<b>Color</b>	P o V	500	Se enfría hasta 1 °C y 5°C	5 días	Mantener muestras almacenadas en la oscuridad.
<b>Cromo (Cr)</b>	P lavado con ácido o V lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	
<b>Hierro total (Fe)</b>	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes	
<b>Níquel (Ni)</b>	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**PROYECTO DE TITULACION**  
**PLAN DE MUESTREO**

Fecha: Quito 2018/06/04  
 Lugar: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

**1. Datos de los muestreadores**

Nombres	Especialidad	Cedula de Identidad
Imbaquingo Sofia	Estudiantes ASA	
Mendoza Rommy	Estudiantes ASA	1723252456

**2. Datos de la muestra**

2.1. Referencia Geografica: AV. TOLEDO - CEC EPN  
 2.2. Factores Climaticos: DIA SOLEADO AUSENCIA DE LLUVIA  
 2.3. Denominacion a la mue: PUNTO CEC 1 - Muestra entrada cisterna.

**3. Analisis Insitu**

Parametros	Unidades	Valor Obtenido	Fecha y Hora
pH	_____	6,54	18/06/04 - 10:13
Conductividad	ms	109	18/06/04 - 10:13
Temperatura	° C	12,4	18/06/04 - 10:13

**4. Equipos usados para análisis in situ**

- Sonda medidora de pH.
- Conductímetro
- Termómetro
- Agua destilada

**Figura I.** Ejemplo plan de muestreo

## **ANEXO II. Normativa ecuatoriana**

**Tabla II.** Especificaciones del agua potable norma INEN 1108

<b>ESPECIFICACIONES DEL AGUA POTABLE</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
<b>Cobre</b>	mg/l	2
<b>Coliformes totales</b>	NMP	Ausencia - < 1.1
<b>Cloro libre residual</b>	mg/l	0.3 – 1.5
<b>Cloruros</b>	mg/l	2
<b>Color</b>	Unidad Escala Pt-Co	15
<b>Conductividad</b>	µS/cm	1500
<b>Cromo Hexavalente</b>	mg/l	0.05
<b>Níquel</b>	mg/l	0,07
<b>Nitratos</b>	mg/l	50
<b>Nitritos</b>	mg/l	3
<b>Olor</b>	-----	Ausencia
<b>Turbidez</b>	NTU	5

**Tabla III.** Texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente  
TULSMA LIBRO VI, Anexo I

<b>ESPECIFICACIONES DEL AGUA POTABLE</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)</b>	mg/l	2
<b>Demanda Química de Oxígeno DQO</b>	mg/l	400
<b>Dureza</b>	mg/l	500
<b>Hierro (total)</b>	mg/l	1
<b>Olor</b>		<b>Ausencia</b>
<b>Oxígeno disuelto</b>	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
<b>pH</b>	-----	6.5 - 9
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	mg/l	1500
<b>Temperatura</b>	°C	Condición Natural +/- 3 grados

**Tabla IV.** Determinación de NMP coliformes Totales y Fecales

Nº DE TUBOS QUE PRESENTAN REACCIÓN POSITIVA, A PARTIR DE 10 TUBOS DE 10 ML	ÍNDICE NMP/100 ML	LÍMITES DE CONFIANZA EN EL 95 %	
		Inferior	Superior
<b>0</b>	<1,1	0	3,0
<b>1</b>	1,1	0,03	5,9
<b>2</b>	2,2	0,26	8,1
<b>3</b>	3,6	0,69	10,6
<b>4</b>	5,1	1,3	13,4
<b>5</b>	6,9	2,1	16,8
<b>6</b>	9,2	3,1	21,1
<b>7</b>	12,0	4,3	27,1
<b>8</b>	16,1	5,9	36,8



## **ANEXO III. Ejemplos de cálculos**

### 1. Cálculo de Cloruros para el punto “AT” (Antes del Tanque) de la cisterna de Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Cl}^- \text{ mg/l} = \frac{V \text{ AgNO}_3 \times N \text{ AgNO}_3 \times \text{Peso molecular del cloro}}{V_m}$$

**Donde:**

$\text{Cl}^-$  = Concentración de cloruros en mg/l

$V \text{ AgNO}_3$  = Volumen utilizado en la titulación con Nitrato de Plata en ml

$N \text{ AgNO}_3$  = Normalidad del Nitrato de Plata

$V_m$  = Volumen de la muestra ml

**Datos:**

$V \text{ AgNO}_3 = 6,1$

$N \text{ AgNO}_3 = 0,01 \text{ N}$

Peso molecular del cloro = 1000

$V_m = 100 \text{ ml}$

**Solución:**

$$\text{Cl}^- \text{ mg/l} = \frac{6,1 \times 0,01 \times 1000}{100} = 0,61 \text{ mg/l Cl}^-$$

**Respuesta:**

La concentración de cloruros para el punto “AT” es de 0,61 mg/l  $\text{Cl}^-$ .

### 2. Cálculo de Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) para el punto “AT” (Antes del Tanque) de la cisterna de Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{DBO}_5 = \frac{V_5 - V_1}{\text{PROM}}$$

**Donde:**

V5 = Valores obtenidos en el día 5

V1 = Valores obtenidos en el día 1

PROM = Promedio de valores de 5 días

**Datos:**

V5 = 0,1

V1 = 0,1

PROM = 0,01

**Solución:**

$$DBO_5 = \frac{(0,1-0,1)}{0,1} = 0 \text{ mg/l O}_2$$

**Respuesta:**

La concentración de DBO<sub>5</sub> para el punto "AT" es de 0 mg/l O<sub>2</sub>.

**3. Cálculo de Dureza Total para el punto "AT" (Antes del Tanque) de la cisterna de Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.**

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$C_{DT} \text{ CaCO}_3 = \frac{V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times 100091}{V_m}$$

**Donde:**

C<sub>DT</sub> = Concentración de dureza total en mg/l de CaCO<sub>3</sub>

V<sub>EDTA</sub> = Volumen utilizado en la titulación de EDTA en ml

M<sub>EDTA</sub> = Molaridad del ácido utilizado EDTA

V<sub>m</sub> = Volumen de la muestra en ml

100091 = Peso atómico del CaCO<sub>3</sub>

**Datos:**

V<sub>EDTA</sub> = 1.5 ml

M<sub>EDTA</sub> = 0.01 M

V<sub>m</sub> = 50 ml

**Solución:**

$$C_{DT} \text{ CaCO}_3 = \frac{1.5 \times 0.01 \times 100091}{50} = 30,0273 \text{ mg/l CaCO}_3$$

**Respuesta:**

La concentración de dureza total para el punto "AT" es de 30,0273 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

#### 4. Cálculo de Oxígeno Disuelto (OD) para el punto "AT" (Antes del Tanque) de la cisterna de Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

Para la determinación del cumplimiento de los LMP en % de saturación se usó la tabla 12 y la siguiente ecuación:

$$C_{OD} = \frac{OD_x PL}{P}$$

**Donde:**

OD = Valor de la tabla 12 a 760 mm/Hg

PL = Presión Barométrica del lugar de análisis (Quito 540 mm/Hg)

P = 760 mm/Hg

**Datos:**

T ° C = 16, 85 °C

OD = 9,77

**Solución:**

$$OD = \frac{9,77 \times 540}{760} = 6,94 \text{ mg/l}$$

**Respuesta:**

La concentración de % de OD para el punto "AT" es de 6,94 mg/l y el 80% es de 5,55 mg/l.

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$OD = \frac{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 800 \times V \text{ Botella}}{\text{ml de muestra valorada} \times (V \text{ Botella} - 2)}$$

**Donde:**

V Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = Volumen utilizado en la titulación.

N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = Normalidad del reactivo utilizado

V Botella = Volumen del Frasco Winkler

**Datos:**

V Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3,41 ml

N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,025 N

V Botella = 300 ml

ml de muestra valorada = 101 ml

**Solución:**

$$OD = \frac{3,41 \times 0,025 \times 800 \times 300}{101 \times (300 - 2)} = 6,8 \text{ mg/l}$$

**Respuesta:**

La concentración de OD para el punto "AT" es de 6,8 mg/l

### 5. Cálculo de Sólidos Disueltos Totales para el punto "AT" (Antes del Tanque) de la cisterna de Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

Para el cálculo se aplicó la siguiente formula:

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

**Donde:**

P<sub>1</sub> = Peso del crisol tarado (mg)

P<sub>2</sub> = Peso del crisol tarado + residuo seco (mg)

V<sub>m</sub> = volumen de la muestra (ml)

**Datos:**

P<sub>2</sub> = 35,8963 g

P<sub>1</sub> = 35,8962 g

V<sub>m</sub> = 50 ml

**Solución:**

$$\text{SDT} = \frac{((35,8963 - 35,8962) \times 1000)}{50} = 0.02 \text{ mg/l}$$

**Respuesta:**

La concentración de sólidos disueltos totales para el punto "AT" es de 0.02 mg/l SDT.

**6. Cálculo de Sólidos Totales para el punto "AT" (Antes del Tanque) de la cisterna de Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.**

Para el cálculo se aplicó la siguiente formula:

$$\text{mg de ST} = \frac{[(P_1 - P_2) * 1000]}{V_m} * 1000$$

**Donde:**

$P_1$  = Peso del crisol tarado (mg)

$P_2$  = Peso del crisol tarado + residuo seco (mg)

$V_m$  = volumen de la muestra (ml)

**Datos:**

$P_1$  = 28,1735 mg

$P_2$  = 28,1743 mg

$V_m$  = 50 ml

**Solución:**

$$\text{mg de ST} = \frac{(28.1743 - 28,1734)}{50} * 1000 = 0.016 \text{ mg/l ST}$$

**Respuesta:**

La concentración de sólidos totales para el punto "AT" es de 0.016 mg/l ST.

## **ANEXO IV. Fotografías**



**Figura I.** Cisterna ICB  
SIS



**Figura II.** Cisterna QE



**Figura III.** Cisterna



**Figura IV.** Toma OD  
situ



**Figura V.** Titulación



**Figura VI.** Muestreo in



## **ANEXO V. Socialización plan de mejoras**

Quito, 10 de septiembre de 2018

Ing. Walter Paredes

Administrador Departamento de Servicios Generales Escuela Politécnica Nacional  
Presente.

De mis consideraciones

Nosotros, IMBAQUINGO SOFIA y MENDOZA ROMMY, con cédula de identidad No. 1004032494 y 1723252456 respectivamente, estudiantes de la carrera de Tecnología en Agua y Saneamiento Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional, solicitamos muy comedidamente la autorización del taller de "SOCIALIZACIÓN PLAN DE MEJORAS" de nuestro proyecto integrador "EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA ALMACENADA EN CISTERNAS EN LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL".

Correspondiente al 11 de septiembre del 2018 a las 7: 30 am en las instalaciones de Servicios Generales y Talleres con una duración de una hora.

Por la atención prestada y favorable respuesta anticipamos nuestro agradecimiento.

Atentamente,

Atentamente,

\_\_\_\_\_  
IMBAQUINGO SOFIA

**CI:** 1004032494

**e- mail:** katherine.imbaquingo@epn.edu.ec

**Teléfono:** 0968840459

0000570017

\_\_\_\_\_  
MENDOZA ROMMY

**CI:** 1723252456

**e- mail:** rommy.mendoza@epn.edu.ec

**Teléfono:**

**Figura I.** Solicitud Socialización Plan de mejoras

Quito, 11 de septiembre de 2018

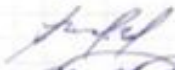







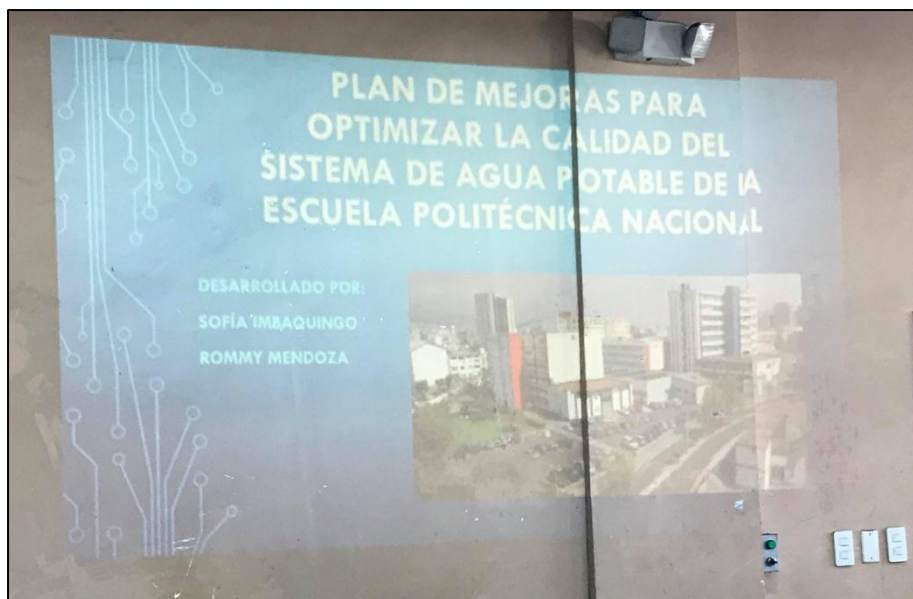
NOMBRE	ACTIVIDAD	FIRMA
Fredy Toscano	SERVICIOS GENERALES	
Aurelio Carballo	SERVICIOS GENERALES	
Luis Aguayo	SERVICIOS GENERALES	
Spain Chicaza	SERVICIOS GENERALES	
Luis Frang	SERVICIOS GENERALES	
Luis Chiriboga	Mecánico	
Conar Fernández	Mecánico	
Walter Paredes M.	ADMINISTRADOR	

Figura II. Lista de Asistencia al Taller



**Figura III.** Inicio Taller



**Figura IV.** Lunch para el personal



**Figura V. Explicación Ubicación Cisternas**



**Figura VI. Explicación Válvulas**





**Figura VII.** Entrega Plan de Mejoras



**Figura VIII.** Personal receptor del plan de mejoras

## **ANEXO VI. Plan de Mejoras**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**TECNOLOGÍA EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**



**PLAN DE MEJORA PARA OPTIMIZAR LA  
CALIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE  
DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



**Desarrollado por:**

- **Sofia Imbaquingo**
- **Rommy Mendoza**

**Quito, septiembre de 2018**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción .....	1
2. Objetivos.....	1
2.1. Objetivo general .....	1
2.2. Objetivos específicos .....	1
3. Alcance .....	2
4. Conceptos fundamentales .....	2
4.1. Operación.....	2
4.2. Mantenimiento.....	3
4.2.1. Mantenimiento correctivo.....	3
4.2.2. Mantenimiento preventivo.....	3
4.2.3. Personal .....	4
4.2.4. Herramientas e Instrumentos .....	4
5. Operación y mantenimiento de la red de distribución .....	5
5.1. Colocación en operación.....	5
5.2. Desinfección de redes.....	6
5.3. Frecuencia de mantenimiento .....	6
5.4. Válvulas y purgas .....	9
6. Mejoras a establecerse en la red.....	11
7. Metas .....	13
8. Presupuesto.....	13
9. Conclusiones y Recomendaciones.....	15
10. Referencias Bibliográficas .....	15

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Frecuencia de Mantenimiento.....	7
<b>Tabla 2.</b> Registro de Mantenimiento .....	8
<b>Tabla 3.</b> Hoja de Control de Válvulas Cisternas.....	10
<b>Tabla 4.</b> Plan de Mejoras .....	11
<b>Tabla 5.</b> Metas de las actividades del PM.....	13
<b>Tabla 6.</b> Financiamiento por actividad .....	14

## **1. Introducción**

Los edificios de la Escuela Politécnica Nacional, poseen cisternas debido al propósito al que están destinados así como la intensidad de su uso; a diferencia de construcciones habitacionales estos son usados durante todo el día en diferentes horarios y por un gran número de personas. (MinEduc, 2018)

El presente plan muestra el funcionamiento básico, así como los procedimientos y recomendaciones para que la EPN, organice y planifique actividades de operación y mantenimiento para redes de distribución y abastecimiento de agua potable. (Bolívar, 2014)

Un plan de mejoras es un conjunto de decisiones estratégicas que se aplica a los procesos para desempeñarse con mayor eficiencia. Con la ayuda de un PM se puede implementar una línea base para la detección de mejoras, de igual manera se puede establecer programas de seguimiento y control de las acciones correctivas y preventivas seleccionadas para cada actividad. (SENAGUA, 2016)

Las actividades de mejora deberán ser realizadas por el personal de mantenimiento asignado dentro de la institución, permitiéndoles sugerir en cualquier momento modificaciones o actualizaciones técnicas para optimizar su contenido. (Bolívar, 2014)

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Establecer criterios básicos de la operación y mantenimiento en redes de distribución y abastecimiento de agua potable dentro de la EPN.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Identificar la relación del sistema de agua potable con el entorno social, sus componentes y los requerimientos de operación y mantenimiento.
2. Reconocer las principales actividades de mejora del sistema de abastecimiento de la EPN.
3. Proponer mejoras que contribuyan a la calidad y distribución del agua potable.

### **3. Alcance**

El plan de mejoras está orientado a la operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la EPN, en los siguientes puntos: Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Servicios Generales y Talleres, Departamento de Formación Básica, Centro de Educación Continua, Centro de Investigación y Control Ambiental, Edificio de Administración Central, Edificio de Ingeniería Química y Eléctrica y Facultad de Ingeniería en Sistemas.

### **4. Conceptos fundamentales**

#### **4.1. Operación**

Según (ISO 9001, 2015), define a la operación como el conjunto de actividades que se desarrollan con el fin de que estructuras y equipos se desempeñen eficientemente según la función para la que fueron diseñadas.

La operación de un equipo o sistema se clasifica en simple y compuesta, dependiendo de la complejidad de las actividades que estén involucradas. Para ambos casos, si se espera obtener resultados satisfactorios los responsables deben recibir herramientas e instrumentos adecuados, al igual que la debida capacitación. En caso de no cumplir existirán muchas fallas de operación que llevaran a daños en el sistema de abastecimiento, pérdidas económicas y riesgo de deterioro de la calidad del agua potable. (Montero, 2009)

## **4.2. Mantenimiento**

El mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua potable consiste en programar actividades con el fin de corregir a tiempo las fallas que pudieran presentarse en las estructuras, logrando que éstas se encuentren en condiciones continuas de operación.

Los tipos de mantenimiento pueden ser (ESPOCH, 2016): correctivos y preventivos.

### **4.2.1. Mantenimiento correctivo**

Este tipo de mantenimiento cuenta con actividades destinadas a identificar y corregir los daños dentro de un sistema oportunamente. (ESPOCH, 2016)

Para implementar un mantenimiento correctivo se requiere:

- Reportar la falla
- Diagnosticar la falla
- Elaborar un plan de reparación
- Realizar un reporte final

Se debe priorizar las fallas según los siguientes aspectos:

- El tipo de estructura o equipo
- La magnitud de la falla
- Costo de la estructura o equipo
- Costo que produce la para del equipo/s.

### **4.2.2. Mantenimiento preventivo**

A diferencia del mantenimiento correctivo, el preventivo cuenta con un plan programado, que inicia con una revisión del estado del equipo y termina con un informe detallado en donde se muestran las actividades de reparación. (Bolívar, 2014)

Para llevar a cabo un mantenimiento preventivo es indispensable:

- Establecer procedimientos
- Organizar y llevar un registro de datos
- Contar con una lista de quipos codificados
- Llevar un registro de los mantenimientos realizados

#### **4.2.3. Personal**

Es recomendable contar como mínimo con dos operadores capacitados que se encarguen del seguimiento y control de estructuras y equipos del sistema de abastecimiento de agua potable.

El personal debe contar con las siguientes características (ISO 9001, 2015):

- Conocimientos técnicos sobre estructuras y equipos a operar
- Criterio profesional al momento de corregir fallas y averías
- Capacidad de instalar nuevos elementos dentro del sistema

El personal de operación y mantenimiento debe ser capacitado continuamente según el tipo de estructura o equipo que se le asigne.

#### **4.2.4. Herramientas e Instrumentos**

Las herramientas e instrumentos esenciales para la operación y mantenimiento de un sistema de abastecimiento de agua potable son (Bolívar, 2014):

- Rasquetas de fierro, escobillas y espátulas
- Pintura anticorrosiva, brochas
- Alicates y juego de desarmadores
- Iluminación (linternas)
- Voltímetros, amperímetros

## **5. Operación y mantenimiento de la red de distribución**

Debido a que la operación y mantenimiento de las líneas y redes de distribución de agua potable en la EPN son realizadas de manera aleatoria, se ha preparado un plan de operación y mantenimiento acorde a las necesidades y características del lugar. El mismo permitirá mejorar la calidad del agua y mejorar el abastecimiento de agua potable. (Montero, 2009)

### **5.1. Colocación en operación**

Para poner en operación una red de distribución de agua potable es necesario abrir la válvula de salida del tanque de almacenamiento a la red conjuntamente con las válvulas de purga. Una vez que toda el agua haya salido por las válvulas de purga, se deberá cerrarlas. Es importante comunicar a la población que mientras se realice esta operación el servicio de agua potable será cortado.

El procedimiento para poder en operación la red se encuentra detallado a continuación (Bolívar, 2014):

1. Cerrar la llave de paso de la red de distribución de agua potable y vaciar el tanque de almacenamiento.
2. Ejecutar el lavado del tanque con inyección de agua (manguera a presión).
3. Aplicar una solución de compuesto clorado que contenga 50 ppm de cloro libre a través de una válvula instalada en la red.
4. Luego de aplicar la solución clorada, el agua fluirá llenando toda la tubería, la cual tendrá las válvulas cerradas y los tapones colocados.
5. Cerrar la válvula que llenó la red.
6. Con el cloro inyectado es recomendable dejar cerrada la red por 24 horas.

7. Abrir las válvulas de purga y retirar los tapones colocados con anterioridad.
8. Abrir la válvula para eliminar toda el agua con contenido elevado de cloro.
9. Determinar el estado de calidad del agua con la ayuda de un técnico.

## **5.2. Desinfección de redes**

Para una correcta desinfección de las redes de abastecimiento de agua potable será necesario seguir los siguientes pasos (ESPOCH, 2016):

1. Cerrar la válvula de by pass y abrir la válvula de salida del tanque de almacenamiento.
2. Abrir las válvulas de purga de la red.
3. En cuanto salga el agua por la válvula de purga se deberá cerrarla, con el objeto de que las tuberías y las cámaras rompe presión se llenen de agua clorada.
4. Es recomendable dejar el agua clorada retenida durante 4 horas.
5. Luego de este lapso de tiempo, vaciar totalmente la red abriendo las válvulas de purga.
6. Abrir la válvula de ingreso al tanque de almacenamiento y llenar de agua a la red de distribución.
7. La red será puesta en servicio cuando no se perciba olor a cloro o la concentración de cloro libre residual sea de 0,8 mg/lit.

## **5.3. Frecuencia de mantenimiento**

A continuación se detalla la frecuencia del mantenimiento a realizar en tanques y sistemas de bombeo al igual que las guías base para su registro (Tablas 1 y 2) (Bolívar, 2014):



**Tabla 20.** Frecuencia de Mantenimiento

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO				
SEMANTAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
Girar las válvulas de aire y purga en la red.	Abrir y cerrar las válvulas, verificando el funcionamiento	Limpiar la zona aledaña de piedras y malezas de las cámaras rompe-presión y de la caja de válvulas de purga.	Limpeza y desinfección.	Pintar los elementos metálicos (tapas, válvulas de control, etc.).
Observar y examinar que no existen fugas en las tuberías de la red. En caso de detectarlas, repararlas inmediatamente.		Limpiar el canal de escurrimiento de las cámaras rompe-presión.	Lubricar las válvulas de control	Pintar las paredes exteriores y techo de las cajas de válvulas de aire, de purga y de las cámaras rompe-presión.
			Verificar las cámaras rompe-presión, las cajas de las válvulas de purga de aire y de control	
			Pintar con anticorrosivo las válvulas de control, de aire y de purga.	



#### **5.4. Válvulas y purgas**

Para un correcto funcionamiento de las válvulas, es necesario llevar una hoja de control como se puede ver en la Tabla 3, al igual que tomar en cuenta las siguientes consideraciones (MinEduc, 2018):

- Para revisar las válvulas se debe tener en cuenta el catastro de redes perteneciente a la red de distribución de agua potable.
- Es recomendable que cada válvula tenga su hoja de registro de mantenimiento.
- Revisar el funcionamiento de las válvulas haciendo girar lentamente; para evitar el golpe de ariete; las válvulas deben abrir o cerrar fácilmente.
- Abrir y cerrar totalmente cada válvula para poder eliminar los depósitos acumulados en el asiento de la compuerta.
- Si hay dificultad en el manejo de la válvula o si hay fugas se recomienda revisar los empaques.
- Verificar que los pernos y tuercas se encuentren correctamente colocados.
- Colocar aceite de baja viscosidad entre el vástago y la contratuerca superior, para facilitar su manejo.
- Pintar o retocar con pintura anticorrosiva, las válvulas y accesorios que estén a la vista en la red de distribución.
- Es necesario inspeccionar las cajas de las válvulas observando y observar si existe filtraciones o destrucciones externas. De ser necesario reemplazar lo más rápido posible.
- Es recomendable limpiar y revisar las cajas de válvulas una vez al mes.



## 6. Mejoras a establecerse en la red

El sistema de instalaciones hidráulicas y sanitarias contiene todos los recursos usados para abastecer de agua potable a la institución como son: tuberías, válvulas, bombas, cisternas y dispositivos electrónicos.

La falta de mantenimiento en las instalaciones hidráulicas y sanitarias ocasionan graves daños a la infraestructura institucional, lo que se puede observar principalmente son daños exteriores como: daños en las tapas y deterioro de la pintura. (MinEduc, 2018)

En la Tabla 4 se detallan las mejoras propuestas en base a las falencias encontradas durante la inspección preliminar al igual que durante los muestreos.

**Tabla 23.** Plan de Mejoras

PLAN DE MEJORAS ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL						
MEJORAS A SER IMPLEMENTADAS	ACTIVIDADES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS	RESPONSABLES	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	INVERSIÓN PREVISTA
<b>Cambio de Tapas</b>	Cambiar las tapas actuales de las cisternas por tapas de acero inoxidable.	Informe de haber realizado la mejora.	6 meses	Personal de Talleres	EPN	A considerar por parte de Servicios Generales y Talleres
<b>Cambio de Tuberías</b>	Cambiar las tuberías que se encuentren en mal estado o sean de un material corrosivo por tuberías PVC.	Informe de haber realizado la mejora.	12 meses	Personal de Talleres	EPN	

## ...Continuación Tabla 4

<b>Sistema de Seguridad</b>	Colocar un sistema de seguridad a todas las cisternas dentro del a EPN. Varios puntos de abastecimiento de agua son susceptibles a la manipulación por personal externo por lo que se recomienda implementar candados a los cuales solo el personal encargado tenga acceso.	Informe de haber realizado la mejora.	6 meses	Personal de Talleres	EPN	
<b>Funcionamiento óptimo</b>	Poner en funcionamiento todas las cisternas dentro de la EPN. Eso implica realizar los trabajos necesarios para que los puntos Facultad de Ingeniería en Petróleos y ESFOT funcionen óptimamente.	Informe de haber realizado la mejora.	12 meses	Personal de Talleres y Conserjes de las facultades en donde se realizará la mejora.	EPN	
<b>Capacitaciones</b>	Capacitar a los conserjes sobre la operación y mantenimiento de las cisternas dentro de la EPN.	Informes de asistencia	6 meses	Persona encargada de la capacitación, Personal de Talleres y Conserjes de las facultades en donde se realizará la capacitación.	EPN	
<b>Base de Datos</b>	Crear una base de datos de las cisternas de la EPN en donde se pueda apreciar: ubicación geográfica, fecha de cada mantenimiento, tipo de mantenimiento y observaciones.	Bases de datos creada	12 meses	Personal de Talleres y Personal de Servicios Generales	EPN	

## 7. Metas

El personal encargado del mantenimiento de la red de distribución y abastecimiento se debe comprometer en corto, mediano y largo plazo a cumplir con las actividades de mejora expuestas con anterioridad. Para cumplir las metas se guiarán de la Tabla 5, que les servirá de ayuda para determinar si cumplen en el tiempo establecido la meta propuesta. (SENAGUA, 2016)

**Tabla 24.** Metas de las actividades del PM

MEJORAS A SER IMPLEMENTADAS	ACTIVIDADES	METAS			OBSERVACIONES
		6 MESES	12 MESES	18 MESES	
<b>Cambio de Tapas</b>	Cambiar las tapas actuales de las cisternas por tapas de acero inoxidable.	<b>X</b>			Se cumple con éxito la actividad.

## 8. Presupuesto

La institución prestadora del servicio de agua potable a la comunidad será la encargada de definir el costo estimado de los recursos necesarios para cumplir con las actividades de mejora dentro del PM. (SENAGUA, 2016) El registro del presupuesto se hará por actividad como lo muestra la Tabla 6.





## 9. Conclusiones y Recomendaciones

### 9.1. Conclusiones

- Debido a que el fin que se le da al agua de la Escuela Politécnica Nacional no es únicamente la sanidad, sino que el consumo humano es necesario realizar análisis periódicos en todos los puntos de manera que se pueda evitar cualquier tipo de daño en la red o en la calidad del agua.
- Llevar un registro del mantenimiento permitirá mantener al día las instalaciones y conocer si es que han existido fallos anteriores y así poder solucionarlos en un futuro.
- Un mantenimiento preventivo permite evitar fallas críticas en los equipos y sistemas así como pérdidas económicas y molestias a los usuarios.
- Señalar y codificar las válvulas permite un uso correcto de las mismas así como evitar posibles daños por fallas humanas.

### 9.2. Recomendaciones

- Se recomienda seguir el plan de mantenimientos y de mejoras preparado específicamente para el sistema de abastecimiento de agua de la Escuela Politécnica Nacional, considerando que este podrá variar acorde a las necesidades o consideraciones del personal de Servicios Generales y Talleres.

## 10. Referencias Bibliográficas

Bolívar, T. e. (2014). Mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura portuaria. Puerto Bolívar .

Montero, G. (2009). Manual de pruebas a instalaciones sanitarias. Obtenido de [http://www.agua.unam.mx/assets/pumagua/manuales/manual\\_sanitarios.pdf](http://www.agua.unam.mx/assets/pumagua/manuales/manual_sanitarios.pdf)

ISO 9001. (2015). Mantenimiento Industrial . Obtenido de <http://iso9001calidad.com/mantenimiento-de-equipos-y-maquinas-201.html>

- ATE. (2018). Información de utilidad para el personal de mantenimiento y producción. Obtenido de <http://www.upcnsfe.com.ar/agregados/docs/19611725527d0f1ec10bd.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). Evaluación para sistemas de bombeo de agua. Washington, D.C.
- ESPOCH. (2016). Manual de mantenimiento recurrente y preventivo. SAN PEDRO.
- MinEduc. (2018). Plan de Mejora. QUITO: VVOB.
- SENAGUA. (2016). Guía metodológica para la elaboración del plan de mejoras de los servicios de agua potable y saneamiento. Obtenido de <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/Anexo-6-Gu%C3%ADa-Metodol%C3%B3gica-para-la-elaboraci%C3%B3n-del-Plan-de-Mejora.pdf>