

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA  
EN LA PTAP “CHINCHINLOMA”, PARROQUIA DE CUSUBAMBA**

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN Y DE  
DESINFECCIÓN**

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

**JENNIFER ESTEFANIA TITUAÑA CHECA**

**[jennifer.tituana@epn.edu.ec](mailto:jennifer.tituana@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: ING. SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO**

**[santiago.guerra@epn.edu.ec](mailto:santiago.guerra@epn.edu.ec)**

**DMQ, febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

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

---

**JENNIFER TITUAÑA**

**jennifer.tituana@epn.edu.ec**

**jenifer12estefania@gmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jennifer Estefania Tituaña Checa, bajo mi supervisión.

---

**SANTIAGO GUERRA**

**DIRECTOR**

**santiago.guerra@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

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

Jennifer Estefania Tituaña Checa

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de titulación a mis padres y mi hermano quienes estuvieron siempre conmigo dándome fuerzas durante toda la carrera y no decaer con los problemas presentados. Especialmente el cariño y la unión familiar.

A mis abuelitos, Roberto, Germania, mis tíos Rocio y Ramiro, quienes me apoyaron y ayudaron junto con mis padres. Que siempre estuvieron a mi lado con su cariño incondicional, ayudando a levantarme en los malos momentos con palabras de aliento.

Dedico a toda mi familia paterna por el apoyo brindado en las buenas y en las malas con cariño.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por todo el apoyo brindado durante la carrera, el cariño incondicional de mis padres, la comprensión y las fuerzas de seguir adelante sin rendirse ante mis objetivos planteados.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por formar parte de la institución en la carrera de Agua y Saneamiento ambiental en la facultad de la Escuela de Formación de Tecnólogos y en especial a el cuerpo docente de la carrera por brindar con sus conocimientos, experiencias y enseñanzas durante la carrera y formar grandes profesionales.

Agradezco especialmente a mi tutor de tesis Ingeniero Santiago Guerra, quien me supo guiar, enseñar, tener paciencia, estar en el acompañamiento incondicional durante el camino del desarrollo del trabajo.

Agradezco al Ingeniero Jairo Jimpikit, profesor del laboratorio docente de ingeniería ambiental por las enseñanzas y el apoyo brindado.

Agradezco a la Junta administradora de Chinchinloma y a su presidenta por permitirme formar parte del trabajo de mejoramiento en la planta de tratamiento de Chinchinloma y cumplir sus objetivos con su comunidad.

Finalmente, agradezco a mis amigos Edhison y Kerly, quienes me apoyaron en todas las situaciones presentadas a lo largo de la carrera sin dudarle y brindarme su amistad incondicional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 Ubicación geográfica.....	2
1.1.2 Descripción del sitio de estudio .....	3
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.3 Objetivo general .....	4
1.4 Objetivos específicos .....	4
1.5 Alcance .....	4
1.6 Marco teórico.....	5
1.6.1 Agua para consumo humano.....	5
1.6.2 Calidad del Agua .....	5
1.6.3 Enfermedades relacionadas al uso del agua .....	7
1.7 Filtración .....	8
1.7.1 Material filtrante .....	8
1.7.2 Filtros rápidos a gravedad.....	8
1.8 Desinfección .....	8
1.8.1 Cloración.....	9
1.8.2 Importancia de remover materia orgánica .....	10
1.8.3 Interferencias en la cloración .....	11
1.8.4 Demanda de cloro .....	11
1.9 Sistemas de cloración .....	13
1.10 Normativa ambiental empleada .....	13
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 Planta de agua potable “Chinchinloma” .....	14
2.1.1 Funcionamiento.....	14
2.2 Caracterización del agua del proceso de filtración.....	15
2.2.1 Perfil de sólidos .....	16
2.2.2 Nutrientes .....	17
2.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO) .....	18
2.2.4 Turbiedad.....	18
2.2.5 Parámetros medidos <i>in situ</i> .....	19
2.3 Caracterización del agua del proceso de desinfección .....	19
2.3.1 Coliformes totales.....	19

2.3.2	Giardia .....	20
2.3.3	Cloro total .....	20
2.3.4	Cloro libre residual .....	20
2.4	Caracterización del agua para Prueba de dosificación .....	20
2.4.1	Color aparente .....	20
2.4.2	Temperatura y pH .....	21
2.4.3	Hierro .....	21
2.4.4	Manganeso .....	21
2.4.5	Aluminio .....	21
2.5	Filtración .....	22
2.5.1	Medio filtrante .....	22
2.5.2	Mantenimiento .....	22
2.5.3	Eficiencia de remoción .....	23
2.6	Desinfección .....	23
2.6.1	Pruebas de dosificación .....	23
2.6.2	Procedimiento de ensayo para la demanda de cloro .....	24
2.6.3	Programación del equipo .....	25
2.6.4	Desinfectantes .....	25
2.6.5	Valoración de la concentración del tiosulfato de sodio .....	26
2.6.6	Determinación real de cloro disponible del hipoclorito de sodio .....	27
2.6.7	Definición de la mezcla rápida y lenta .....	28
2.6.8	Tiempo de contacto del desinfectante .....	28
2.6.9	Análisis de parámetros en la prueba de dosificación .....	28
2.6.10	Determinación de la demanda de cloro .....	28
2.7	Equipos de dosificación.....	29
2.7.1	Hipoclorador por goteo.....	29
2.7.2	Generador de hipoclorito de sodio.....	31
2.8	Planos de la PTAP de CHINCHINLOMA.....	32
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
3.1	Caracterización del agua del proceso de filtración.....	33
3.2	Caracterización del agua del proceso de desinfección .....	34
3.3	Evaluación del proceso de filtración .....	37
3.4	Ensayo de prueba de dosificación .....	38
3.5	Cálculo teórico de la demanda de pastillas de ácido tricloroisocianúrico .....	42
3.6	Análisis costo-beneficio.....	47
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
4.1	Conclusiones .....	49

4.2 Recomendaciones.....	50
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
6. ANEXOS.....	55
ANEXO I: Certificado de originalidad turnitin.....	55
ANEXO II: Informe de laboratorio de Giardia Lamblia.....	64
ANEXO III. Hoja de normas de seguridad del Tricloro .....	65
ANEXO IV. Hoja de normas de seguridad del hipoclorito de sodio .....	68
ANEXO V. Determinación del perfil de sólidos.....	70
ANEXO VI. Medición de nutrientes .....	70
ANEXO VII. Medición de la demanda química de oxígeno .....	71
ANEXO VIII. Medición de parámetros in situ .....	72
ANEXO IX. Ensayo de coliformes totales .....	72
ANEXO X. Medición de cloro total y cloro libre residual.....	73
ANEXO XI. Medición de color aparente y turbiedad .....	74
ANEXO XII. Medición de metales .....	74
ANEXO XIII. Valoración del hipoclorito de sodio .....	75
ANEXO XIV. Hipoclorito de sodio al 10 %.....	75
ANEXO XV. Pastillas de ácido tricloroisocianúrico .....	75
ANEXO XVI. Trituración de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico.....	76
ANEXO XVII. Precio del hipoclorito de sodio en EQYTA.....	76
ANEXO XVIII. Precio de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico.....	76
ANEXO XIX. Cálculos .....	77
ANEXO XX. Manual de operación de la PTAP de Chinchinloma .....	79
ANEXO XXI. Vista de perfil del proceso de filtración y desinfección .....	79



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Formato para el registro de pesos de los crisoles .....	16
<b>Tabla 2.</b> Formato de registro de resultados y concentraciones del ensayo. ....	24
<b>Tabla 3.</b> Registro del desgaste de la pastilla de ácido tricloroisocianúrico .....	26
<b>Tabla 4.</b> Condiciones de aplicación de cloro para oxidar hierro y manganeso .....	28
<b>Tabla 5.</b> Límites en las curvas de demanda de cloro de acuerdo con la INEN 1108.....	29
<b>Tabla 6.</b> Accesorios de un hipoclorador por goteo .....	29
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la caracterización del afluente y efluente del filtro .....	33
<b>Tabla 8.</b> Resultados del ensayo de perfil de sólidos.....	34
<b>Tabla 9.</b> Resultados del afluente y efluente de la desinfección .....	35
<b>Tabla 10.</b> Promedio de cloro libre residual en la distribución del Sector 3 .....	36
<b>Tabla 11.</b> Porcentaje de la eficiencia de remoción del filtro .....	37
<b>Tabla 12.</b> Análisis de metales para el ensayo de prueba de jarras.....	38
<b>Tabla 13.</b> Ensayo de prueba de dosificación con ácido tricloroisocianúrico .....	39
<b>Tabla 14.</b> Ensayo de prueba de dosificación con hipoclorito de sodio.....	41
<b>Tabla 15.</b> Pesaje diario de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico.....	43
<b>Tabla 16.</b> Cálculo del cloro total de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico al 90%.....	44
<b>Tabla 17.</b> Medición de cloro en la distribución del Sector 3.....	46
<b>Tabla 18.</b> Precios de los reactivos empleados en los ensayos.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> División político administrativo y poblados.....	3
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la PTAP de Chinchinloma .....	3
<b>Figura 3.</b> Comportamiento del ácido hipocloroso respecto las variaciones de pH.....	11
<b>Figura 4.</b> Curva obtenida en la cloración a punto de quiebre .....	13
<b>Figura 5.</b> Diagrama de bloques de la PTAP de Chinchinloma .....	14
<b>Figura 6.</b> Planta prefabricada de tratamiento de agua potable Chinchinloma .....	14
<b>Figura 7.</b> Procesos unitarios externos a la planta prefabricada Intal .....	15
<b>Figura 8.</b> Pastillas de ácido tricloroisocianúrico en el tanque de desinfección .....	15
<b>Figura 9.</b> Prueba de Jarra equipo PHIPPS & BIRD MODELO PB-700 .....	23
<b>Figura 10.</b> Panel de control del equipo PHIPPS & BIRD MODELO PB-700.....	24
<b>Figura 11.</b> Ubicación establecida en la PTAP de las pastillas para el ensayo.....	26
<b>Figura 12.</b> Flotador dentro del tanque.....	30
<b>Figura 13.</b> Esquema de la estructura del dosificador .....	30
<b>Figura 14.</b> Partes del sistema Clorid.....	31
<b>Figura 15.</b> Revisión de las medidas en AutoCAD del proceso de filtración .....	32
<b>Figura 16.</b> Tanque de recepción de agua del sedimentador en limpieza .....	32
<b>Figura 17.</b> Eficiencia de remoción del proceso de filtración .....	38
<b>Figura 18.</b> Curva de cloración con ácido tricloroisocianúrico .....	40
<b>Figura 19.</b> Curva de cloración empleando hipoclorito de sodio.....	42
<b>Figura 20.</b> Desgaste de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico .....	43
<b>Figura 21.</b> Aumento del cloro total de acuerdo con el número de pastillas .....	45
<b>Figura 22.</b> Ubicación de las pastillas empleada anteriormente por la planta y la modificación realizada para el trabajo realizado.....	46
<b>Figura 23.</b> Costo al mes del desinfectante usado y alternativas .....	47

## ÍNDICE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Sólidos Totales .....	16
<b>Ecuación 2.</b> Porcentaje de Eficiencia de remoción .....	23
<b>Ecuación 3.</b> Dilución a partir de otra solución .....	25
<b>Ecuación 4.</b> Concentración de una solución .....	27
<b>Ecuación 5.</b> Porcentaje de cloro disponible en volumen .....	27
<b>Ecuación 6.</b> Cálculo del peso del desinfectante (gr) .....	30
<b>Ecuación 7.</b> Volumen de agua a desinfectar .....	31
<b>Ecuación 8.</b> Caudal de goteo .....	31

## RESUMEN

La estación de potabilización de Chinchinloma está ubicada en Santa Rosa de Cusubamba parroquia del Cantón Cayambe, actualmente procesa un caudal de 3 L/s que receipta agua de Monte verde y el tanque de almacenamiento de Cangahua. La planta enfrenta problemas en el proceso de desinfección, ya que el agente químico empleado en la purificación se aplica de manera empírica sin considerar la concentración, el tiempo de desgaste y el cloro libre residual en la red de distribución.

Ante esta problemática, se realizó la propuesta de evaluar la calidad del agua del filtro tanto del afluente y efluente, optimizar el proceso de desinfección con la respectiva caracterización del fluido a la entrada como la salida del proceso. Por medio de ensayos de dosificación se probó un desinfectante alternativo, el empleado en la planta actualmente tanto en tabletas y en polvo. De los ensayos se obtuvo la dosis óptima de reactivo a emplear de acuerdo con la calidad de agua que entre al proceso, la eficiencia de remoción de los contaminantes en el filtro y el análisis costo-beneficio de la desinfección.

Se concluyó que el filtro de cascajo empelando en la planta es capaz de remover el 100 % de nitrógeno amoniacal, la turbiedad con un 75,59 %, nitritos en un 50 % y la conductividad en un 46,81 %. Con respecto a la desinfección se logró la optimización considerable del proceso con las pastillas de ácido tricloroisocianúrico, asegurando que el agua que sale de la planta cumple con la calidad para consumo humano.

**PALABRAS CLAVE:** PTAP, caracterización, filtración, desinfección, dosis óptima, cloro libre residual.

## **ABSTRACT.**

The Chinchinloma purification station is in Santa Rosa de Cusubamba parish of the Cayambe Canton, it currently processes a flow of 3 L/s that receives water from Monte Verde and the Cangahua storage tank. The plant faces problems in the disinfection process since the chemical agent used in purification is applied empirically without considering the concentration, wear time, and residual free chlorine in the distribution network.

In this context, the proposal was made to evaluate the quality of the filtered water of both the influent and effluent and optimize the disinfection process with the respective characterization of the fluid at the inlet and outlet of the process. Through dosage trials, an alternative disinfectant was tested, the one currently used in the plant in both tablets and powder. From the tests, the optimal dose of reagent to be used was obtained according to the quality of the water entering the process, the efficiency of removing contaminants from the filtered water, and the cost-benefit analysis of the disinfection.

It was concluded that the gravel filter used in the plant can remove 100% ammoniacal nitrogen, turbidity at 75.59%, nitrites at 50%, and conductivity at 46.81%. Concerning disinfection, considerable optimization of the process was achieved with trichloroisocyanuric acid tablets, ensuring that the water sold from the plant.

**KEYWORDS:** PTAP, characterization, filtration, disinfection, optimal dose, residual free chlorine.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El presente trabajo de optimización del proceso de desinfección y evaluación del filtro se enfocó en presentar soluciones técnicas en la optimización de los procesos mencionados de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) que está ubicada en la comuna de Chinchinloma en la localidad de Santa Rosa de Cusubamba, perteneciente al Cantón Cayambe.

Para cumplir con el objetivo de la optimización se necesitó el levantamiento de información de las características fundamentales del agua de cada proceso mencionado. Para la evaluación del líquido se recolectaron las respectivas muestras y se evaluaron una serie de parámetros fundamentales para los procesos de desinfección y filtración que fueron: demanda química de oxígeno (DQO), el perfil de sólidos, nutrientes, hierro, aluminio, manganeso, coliformes totales y fecales, Giardia, color aparente, turbiedad, temperatura, conductividad, pH. Cada muestra para análisis se conservó de acuerdo con la INEN 2169. Se evaluó la eficiencia de remoción del filtro individualmente para cada parámetro especificado en el proyecto. Con los resultados de los análisis del proceso de desinfección se empezó a realizar las demandas de cloro en pruebas de dosificación empleando el desinfectante actual de la planta y un desinfectante diferente. Por último, se elaboró las curvas de demanda de cloro midiendo el cloro libre residual de cada jarra, para seleccionar la dosis óptima de desinfectante y cumplir con los parámetros de pH y color de acuerdo con la normativa ecuatoriana pertinente. Con la selección de la dosis ideal se realizó un análisis de costo-beneficio.

## 1.1 Antecedentes

A nivel mundial el agua es un líquido esencial para fomentar el avance y evolución del ser humano, siendo indispensable en actividades cotidianas como preparar alimentos, beber, entre otras. El líquido vital utilizado por las personas debe estar libre de contaminantes. Por lo tanto, es imperativo asegurar su calidad. De acuerdo con la información de la Organización Mundial de la Salud (OMS), a partir del año 2015 la cobertura de agua potable tratada de forma segura era del 69% y en el 2022 la cobertura aumento a el 73%, donde el 62% pertenece a zonas rurales y el 81% a zona urbanas a nivel global. (UNICEF, OMS, 2023)

La falta de acceso al servicio de agua potable ocasiona la prevalencia de enfermedades diarreicas. El acceso a un abastecimiento de agua y gestión adecuada de procesos de saneamiento e higiene son considerados derechos fundamentales. En Ecuador el 70,1%

de la población cuenta con acceso a un agua segura. En este sentido, se puede mencionar que en el 2016 el acceso a la red pública de agua potable es del 83.6% de la población. (ENEMDU,2016)

Cabe mencionar que Ecuador es un país rico en fuentes hídricas de agua dulce, sin embargo, la calidad se ve deteriorada por las diferentes actividades antropogénicas, además de medios naturales, modificando sus características físicas, químicas y biológicas (ENCA, 2016), comprendiendo la situación, el acceso a un agua cruda es menor para poblaciones urbanas. Por otro lado, en zonas rurales es más viable tener acceso a una fuente natural que cumpla con los requisitos de potabilización.

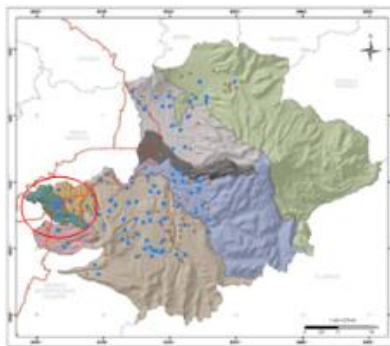
La responsabilidad de la captación, tratamiento y suministro de agua potable al cantón Cayambe recae en la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Asea Cayambe (EMAPAAC-EP). No obstante, algunas comunidades rurales del cantón no cuentan con el servicio de la empresa y el acceso a la red pública, como es el caso de la Comuna Jurídica de Chinchinloma.

En este sentido, la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), está formada por una empresa comunitaria de la comuna de Chinchinloma que no recibe recursos privados ni públicos y se sustenta por recaudación de recursos propios. Está administrada por la Junta administradora de Agua Potable y Saneamiento de Chinchinloma. Cada 2 años se realizan elecciones populares y nombramientos que otorga el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador (MAATE). La PTAP abastece de agua potable a alrededor de 430 usuarios.

### **1.1.1 Ubicación geográfica**

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Santa Rosa de Cusubamba, esta localidad pertenece a una de las 6 parroquias rurales del cantón Cayambe (ver figura 1), tiene una superficie de 29,07 km<sup>2</sup> y una población de 4749 personas. La parroquia está conformada por 2 Comunas Jurídicas que son Cangahuapungo y Chinchinloma, 5 Comités pro-mejoras de los barrios de San Rafael, Rumiñahui, Rosalía, El Cajón y El Centro.

Con lo dicho anteriormente, se confirma que la comuna de Chinchinloma capta el agua de la vertiente de Monte Verde, para su respectivo proceso de potabilización en la PTAP, de la que se distribuye a 5 sectores denominados: Sector Central, Sector 3, San Juan, Guadalupe y San Pedro.



**Figura 1.** División político administrativa y poblados de Cayambe

**Fuente:** (GADIPMC, 2019)

### 1.1.2 Descripción del sitio de estudio

La planta de tratamiento perteneciente a la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento está ubicada en la comuna de Chinchinloma en la localidad de Santa Rosa de Cusubamba, que forma parte del Cantón Cayambe en la provincia de Pichincha. La PTAP se encuentra a una latitud de  $-0,0413352^\circ$  y una longitud de  $-78,2699463^\circ$ , con una altitud de 2871,276 m sobre el nivel del mar.



**Figura 2.** Ubicación de la PTAP de Chinchinloma

**Fuente:** (Google Earth, 2023)

## 1.2 Planteamiento del problema

El agua es un recurso indispensable para el ser humano, debe tener ausencia de microorganismos y virus que causen enfermedades, con el cumplimiento de los parámetros requeridos por la norma ecuatoriana INEN 1108.

En Ecuador se continúa ampliando el acceso al agua potable, sin embargo, las zonas rurales aún carecen de este servicio básico. Cuando las empresas públicas municipales o el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD), no se encargan de abastecer este servicio, se ven involucradas las organizaciones comunitarias denominadas Juntas Administradoras



de Agua Potable y Saneamiento (JAAPS), que son las encargadas de suministrar el servicio público de agua potable a las comunidades previstas y se rigen a las aprobaciones y requisitos a cargo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (MIES, 2023)

La Comuna de Chinchinloma, donde se desarrolló el actual proyecto, posee una planta de tratamiento de agua potable prefabricada de la empresa INTAL, en la que no se usa el proceso de filtración y de desinfección. Esto se debe a que la bomba que se usaba para el proceso de desinfección se dañó y la planta no cuenta con la capacidad económica para adquirir otra por el momento. Para poder seguir brindando el servicio, en la planta potabilizadora se optó por un sedimentador, un filtro biológico y la desinfección en procesos fuera de la planta prefabricada. La desinfección del agua se realiza mediante la adición de pastillas de ácido tricloroisocianúrico al tanque de cloración que no posee las condiciones para disolver las pastillas usando más tabletas para obtener la concentración de cloro.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente la PTAP presenta inconvenientes con el proceso actual de cloración elevado directamente su costo de operación. Lo que se requiere es la optimización del proceso, una dosis establecida del desinfectante y que a la vez cumpla con los requerimientos de desinfección en las redes de distribución.

### **1.3 Objetivo general**

Optimizar los procesos de filtración y desinfección en la planta de tratamiento de agua potable de la Comuna Jurídica de “Chinchinloma”, parroquia Santa Rosa de Cusubamba.

### **1.4 Objetivos específicos**

- ✓ Evaluar las condiciones actuales de funcionamiento de los procesos de filtración y desinfección de la PTAP.
- ✓ Determinar la dosificación de cloro con el reactivo actual que emplea la planta y con otra alternativa de sustancia química derivada del cloro.
- ✓ Proponer un sistema aplicable a la PTAP para la dosificación de cloro por medio de revisión bibliográfica.
- ✓ Realizar un estudio comparativo de costos de la utilización de un desinfectante nuevo y el aplicado actualmente.

### **1.5 Alcance**

Se evaluaron las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del agua en el proceso de filtración y desinfección. Además, se comparó de acuerdo con la norma NTE INEN 1108 que indica los límites permisibles de los parámetros en el agua potable.

Se determinó la dosis óptima del desinfectante que se emplea en la planta de tratamiento de agua y recomendar el desinfectante mediante ensayos de dosificación. Luego, se calculó la eficiencia de remoción en el proceso de filtración para cada parámetro importante a evaluar. Posteriormente, se revisó el plano de la PTAP de los procesos de filtración y desinfección y se elaboró el plano de los procesos mencionados en vista perfil.

Se realizó el estudio comparativo de costos sobre el desinfectante a recomendar y el actual empleado en la planta. Por consiguiente, se evaluó la aplicabilidad del sistema CLORID en la PTAP, además de un hipoclorador por goteo para la dosificación. Finalmente se logró remitir una evaluación, optimización de los procesos de filtración, desinfección con una solución técnica y a la vez económica. Para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable de Chinchinloma. Asegurando la calidad de agua regida por la norma NTE INEN 1108, que establece los requisitos de agua para consumo humano.

## **1.6 Marco teórico**

### **1.6.1 Agua para consumo humano**

Un agua cruda presenta características físicas, químicas y microbiológicas de origen natural, que son modificadas para obtener agua de consumo humano o potable que es aquella que cumple con las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas mediante una serie de tratamientos denominados potabilización. En esta serie de procesos se eliminan o reducen los contaminantes presentes en el líquido potabilizado para entregar al consumidor un agua segura y de calidad. (Salamanca, 2016)

La INEN 1108, requisitos para agua de consumo humano es la norma técnica ecuatoriana emitida por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), que establece los límites permisibles, rangos que deben cumplir los parámetros a determinar, para asegurar la calidad del agua potable que provenga de una planta de tratamiento.

En Ecuador es un derecho humano imprescindible tener acceso a agua potable, por lo que se ve involucrada en todas las actividades de los ciudadanos, además de cumplir un papel fundamental como un nutriente en las funciones vitales del cuerpo humano. (Tello, 2008)

### **1.6.2 Calidad del Agua**

El agua que se va a provechar para consumo humano presenta impurezas de origen natural que son provocadas por el lugar en el que se encuentran como las cuencas o acuíferos. La calidad del líquido vital se refiere a las propiedades físicas, químicas y biológicas que se quieren en el agua con el objeto de reducir al máximo posible el riesgo

de su ingesta por parte de los seres humanos. El fluido destinado para beber y preparar alimentos deberá estar libre de patógenos, minerales y sustancias orgánicas que causen efectos adversos en la salud de las personas. (UNAM, 2014)

### **Características Físicas**

**Color:** El color es provocado por sustancias en suspensión o disueltas. Procedentes de la descomposición de materia orgánica como de otros procesos metabólicos, sales solubles como hierro y manganeso que al reaccionar con el oxígeno el agua se oxida y cambia a color amarillento. (Marín, 2018)

**Olor y Sabor:** Estas características organolépticas no son una medida sino más una apreciación del agua, por ello son subjetivas. Se producen por gases, sales, compuestos orgánicos e inorgánicos y provenientes de la actividad metabólica de organismos acuáticos. La putrefacción de la materia orgánica por bacterias, algas, entre otros que son los productores de olor y sabor en la misma. (Marín, 2018)

**Temperatura:** Se encuentra determinada por la absorción de la radiación del sol en la capa superior del agua, pero esto depende del lugar donde se encuentre. Las fluctuaciones de la temperatura afectan la capacidad de disolución de las sales y los gases en el agua, además de la aceleración o retardo de la actividad biológica. (Marín, 2018)

**Conductividad:** Es la capacidad que posee un fluido para transportar electricidad y es producida por electrolisis de sales disgregadas que tiene el agua en forma natural (Salazar, 2018). Es dependiente de la temperatura debido a que afecta el movimiento iónico método por el cual se determina la conductividad. (Marín, 2018)

**Turbidez:** Es ocasionada por sólidos suspendidos como partículas orgánicas, filamentosas y de arrastre que se producen por remoción de tierra (Chibinda et al, 2017). Es una propiedad óptica que no trasmite luz, sino que la dispersa, lo que ocasiona opacidad al agua al obsérvala. No da resultados de un contaminante en especial, pero da una percepción en general de la contaminación en el agua, por ende, se considera un parámetro importante de medir. (HANNA, 2019)

### **Características Químicas**

**Potencial Hidrogeno (pH):** Se considera una característica fundamental en el agua para establecer acidez y alcalinidad. El pH tiene un punto neutro que pertenece a una escala del 1 al 14, si el  $pH < 7$  el agua se considera ácida, pero si el  $pH > 7$  es alcalina. Un pH ideal en agua potable se considerad entre 6,5 y 8. (UNDP, 2023)

**Nutrientes:** Esta conformado por el nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos que se encuentran dentro del ciclo de nitrógeno, así como los fosfatos. Son de aporte necesario para el desarrollo de plantas, sin embargo, en excesivas cantidades provoca el crecimiento descontrolado de algas en el agua y para el ser humano resultan ser tóxicos. Por otro lado, la presencia de nutrientes en los procesos de potabilización enriquece el florecimiento de algas en los tanques. (UNDP, 2023)

**Metales:** De manera natural se encuentran en bajas concentraciones en medios naturales, sin embargo, sus concentraciones se ven alteradas por actividad antropogénico o desequilibrios del ecosistema. Si se presentan concentraciones altas resultan ser tóxicos tanto para personas como animales. Al reaccionar con el oxígeno de la atmosfera, estas sustancias se oxidan y alteran el color del cuerpo de agua. (Caviedes et al, 2015)

### **Características Microbiológicas**

**Coliformes Totales:** Son bacterias anaerobias, aerobias y facultativas que se clasifican como bacilos Gram negativos, tienen la capacidad de fermentar lactosa a temperaturas de 35° en un tiempo de 24 a 48 horas en incubación. Incluye el género de la Escherichia Coli presente en heces de animales de sangre caliente. (Amarilla et al, 2018)

**Coliformes fecales:** Son una subcategoría dentro de las coliformes totales, demostrando capacidad de fermentación de lactosa a una temperatura de 44°C en 24 horas en la incubadora. Se caracterizan y diferencian por ser termo tolerantes. (Amarilla et al, 2018)

**Giardia:** Es un parásito que se encuentra en el tracto intestinal de seres humanos y animales que han ingerido algún alimento o agua contaminada con materia fecal de un individuo contagiado. La forma microscópica de la Giardia en la etapa de transmisión vive como ooquistes y no debe estar presente en agua potable. (Palacios, 2017)

### **1.6.3 Enfermedades relacionadas al uso del agua**

Las comunidades con servicios deficientes de suministro de agua potable y/o saneamiento se ven expuestas a riesgos de salud por ingerir agua contaminada con sustancias químicas, materia biológica o por insectos que viven y depositan huevos que se reproducen en recipientes de almacenamiento que no están cubiertas, esto es de especial cuidado en zonas tropicales (OMS, 2023). La Organización Mundial de la Salud (2023), establece al colera, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomiелitis como afecciones gastrointestinales ocasionadas por la insalubridad del agua.

## **1.7 Filtración**

En este proceso el agua pasa por un filtro constituido por material específico a diferentes granulometrías lo que permite retener partículas suspendidas que hayan quedado de los procesos anteriores de tratamiento. Además de la retención de sólidos ayuda a eliminar, reducir las cargas de hierro y manganeso, mejorar el color y olor del agua. (Casero, 2007)

La eficiencia de los filtros lentos para remover bacterias es del 96%, mientras que los filtros rápidos alcanzan un 97%, incluyendo algunos minerales. (Vargas, 2004)

### **1.7.1 Material filtrante**

Los factores que caracterizan a un material filtrante son: la granulometría del material a emplear, talla efectiva, coeficiente de uniformidad, friabilidad, volumen de los granos. El filtro óptimo debe tener las dimensiones adecuadas para generar un caudal aceptable, retener la mayor cantidad de sólidos y permitir una limpieza eficiente con menor cantidad de agua. Los materiales que se usan son: arena (material filtrante más barato), antracita, arena de granate o ilmenita, cascajo, entre otros. (Casero, 2007)

### **1.7.2 Filtros rápidos a gravedad**

La filtración rápida por la fuerza de la gravedad suele ser empleada en las instalaciones de tratamiento de agua para suministro público. La variable determinante para su preferencia es el factor económico, en especial en zonas rurales. Optan por enfoques de flujo ascendente que trabajan con tasas de filtración constantes. Cuando se maneja un flujo descendente, la filtración puede realizarse con tasas constantes en el filtro de lecho único o múltiple. (Vargas, 2004)

## **1.8 Desinfección**

Su objetivo es eliminar bacterias y agentes patógenos del líquido vital. Es el proceso más importante en cualquier sistema de tratamiento de agua, por lo tanto, es fundamental enfatizar factores específicos antes de su implementación para producir agua segura para uso humano. Se debe considerar como la parte esencial del sistema de tratamiento en zonas rurales debido a que se almacena en tanques antes de usar. El residual del desinfectante en los sistemas de suministro de agua es la prioridad en comunidades pequeñas para garantizar la calidad y seguridad al consumidor. (Solsona y Méndez, 2002)

### **Criterios para elegir un buen desinfectante**

La selección de un desinfectante se basa en los siguientes criterios: su eficiencia para erradicar diversos organismos, la capacidad de desinfectar en concentraciones específicas sin atribuir sustancias tóxicos o desagradables en el agua, la simplicidad de aplicación técnica, la rentabilidad del producto, la acción residual en la distribución, y la aplicabilidad técnica práctica y rápida para monitorear las concentraciones residuales del desinfectante. (Ramírez, 2015)

### **Remoción bacteriológica en procesos de clarificación**

Estos procesos son: coagulación - floculación, sedimentación y filtración que reducen o remueven la mayor parte de materia orgánica, bacterias y virus. Los procesos de clarificación acondicionan el agua, haciendo que aumente la eficiencia de la desinfección. (Orellana, 2005)

### **Factores que afectan el proceso de desinfección**

La eficacia del proceso unitario depende de varios factores que se deben tener en cuenta: la duración de contacto entre el desinfectante y el agua, la concentración e intensidad del desinfectante, la temperatura, la cantidad y la naturaleza de microorganismo que se van a eliminar y por último las condiciones de mezcla. (Conagua, 2019)

#### **1.8.1 Cloración**

El cloro es un tipo de desinfectante químico empleada a nivel global, particularmente en naciones en desarrollo, es fácil de operar, económico y lo más importante es que tiene acción residual. Es decir que tiene la capacidad de estar disponible en el agua después de haber pasado por el proceso de desinfección, en las tuberías de distribución y dentro de las instalaciones de los consumidores.

El cloro tiene la capacidad de oxidar hierro, manganeso y algunos sulfuros. Es un buen biocida, es decir que elimina o detiene el desarrollo de los organismos vivos presentes en el agua, además de que las cantidades que se manejan en la desinfección no resultan ser tóxicas para las personas, es soluble en medios acuosos. (Ramírez, 2005)

#### **Características químicas del cloro**

El cloro es un gas de color amarillo verdoso de olor fuerte, con un peso atómico de 35,45 u, la temperatura de ebullición a una atmósfera es de  $-34,1^{\circ}\text{C}$  y de congelación a la misma presión de  $-101,0^{\circ}\text{C}$ , es 2,49 veces más denso que el aire. (Linde, 2020)

El cloro seco es muy estable, sin embargo, a temperaturas menores de 100°C no elimina sustancias como hierro, plomo, cobre y algunos tipos de acero inoxidable. El cloro húmedo, es diferente, es muy reactivo lo que elimina a la mayoría de los metales que son usuales en el agua. (Ramírez, 2005)

### **Derivados del cloro**

**Hipoclorito de sodio (NaClO):** Esta sustancia química se encuentra en estado líquido, tiene un color amarillo verdoso. Tiene una concentración de cloro activo del 10% al 16%. La reacción produce un ion hidroxilo lo que hace que el pH del agua aumente. La estabilidad del hipoclorito depende de la concentración, tiempo, almacenamiento y la exposición a la luz. (CONAGUA, 2019)

**Hipoclorito de calcio (Ca(OCl)2):** Se encuentra en polvo de manera granular o en pastillas, tiene un gran efecto oxidante por lo que se debe almacenar en lugares frescos y secos. Contiene del 30 al 70% de cloro activo y antes de emplear es recomendable determinar las concentraciones en el proceso de desinfección. La combinación del hipoclorito de calcio con el agua da lugar a la formación de ácido hipocloroso lo que provoca disminución de pH. (Conagua, 2019)

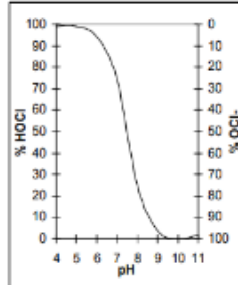
**Ácido Tricloroisocianúrico (C<sub>3</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>):** Este desinfectante se encuentra en forma sólida en pastillas o tabletas. Se caracteriza por tener concentraciones altas de cloro (90%), por lo que se emplea para el tratamiento de agua potable. La solubilidad de las pastillas es muy lenta, al disolverse a un pH cercano a 7 comienza a liberar ácido hipocloroso y un porcentaje bajo de hipoclorito. La disolución de la pastilla en el tratamiento de agua dependerá del flujo para su desgaste. (Prodetecs, 2023)

### **1.8.2 Importancia de remover materia orgánica**

La remoción total de materia orgánica es de gran importancia en las PTAP, especialmente cuando va a pasar al proceso de cloración. La reacción de la materia orgánica con el cloro libre residual forma subproductos organoclorados como los trihalometanos (THMs), haloacetonitrilos, fenoles clorados, entre otros. Los trihalometanos reúnen sustancias como el cloroformo que están entre las sustancias con riesgo alto de producir cáncer en los humanos, debido a su gran toxicidad que afecta a el sistema nervioso, riñones e hígado (Sánchez et-al, 2011). Por lo mencionado anteriormente, la materia orgánica es uno de los parámetros fundamentales de la remoción del agua antes de la cloración debido a que su reacción con el cloro resulta ser toxica y peligrosa para el consumidor lo que vuelve a el agua inaceptable para consumo.

### 1.8.3 Interferencias en la cloración

**Potencial de Hidrógeno:** El pH puede disminuir la velocidad en la que se van a destruir los microorganismos del agua, de igual manera aumenta o disminuye la concentración del ácido hipocloroso (HClO) y el ion hipoclorito (ClO<sup>-</sup>), de ello depende su efectividad como se observa la figura 3. (Méndez y Solsona, 2002)



**Figura 3.** Comportamiento del ácido hipocloroso a variaciones de pH.

**Fuente:** (Solsona y Méndez, 2002)

**Temperatura:** Se considera una interferencia a temperaturas bajas. La concentración del cloro aumenta y permanece más tiempo en el agua, provocando mayor lentitud en la desinfección. (Ramírez, 2005)

**Turbidez:** El objetivo de la cloración es la eliminación de bacterias y virus presentes en el agua, sin embargo, cuando presenta turbiedad la eficiencia del proceso se ve disminuida. Los sólidos suspendidos impiden la acción del cloro contra los microorganismos, de igual manera se ralentiza el proceso y se aumenta el tiempo de contacto. (Ramírez, 2005)

**Hierro y Manganeso:** Producen en el agua sabor y color, cuando entran en contacto con el aire los metales se oxidan, apareciendo un color amarillento en el líquido. Estos metales presentes en el agua aumentan la demanda de cloro debido a que reaccionan. Además de contribuir con el aumento de la turbiedad del agua por la oxidación. (CONAGUA, 2019)

### 1.8.4 Demanda de cloro

Es la cantidad que se usa para la eliminación de sustancias por medio del consumo o reacción con el cloro para desinfectar el agua. Las demandas de cloro se representan en curvas de dosificación, que ilustran el punto de quiebre que alcanza el cloro libre residual, tanto el que ha reaccionado como el que no ha reaccionado. (Ramírez, 2005)

#### **Cloro libre residual**

Es el cloro que queda de la reacción que no se ha combinado u oxidado, después de haber pasado el tiempo de contacto suficiente en el agua (CONAGUA, 2019). Una parte de la



dosis se consume en eliminar compuestos clorados, a medida que se aumenta la dosis la concentración del cloro libre residual aumenta y se observa en el denominado punto de quiebre. (Ramírez, 2005)

### **Tiempo de contacto**

Es el tiempo en el que se va a eliminar bacterias, virus y oxidar compuestos en el agua. En la cloración se establece un tiempo en el que sea suficiente para desinfectar el agua y depende del tipo de microorganismos, ya que algunos necesitan estar más tiempo en contacto con el cloro que otros.

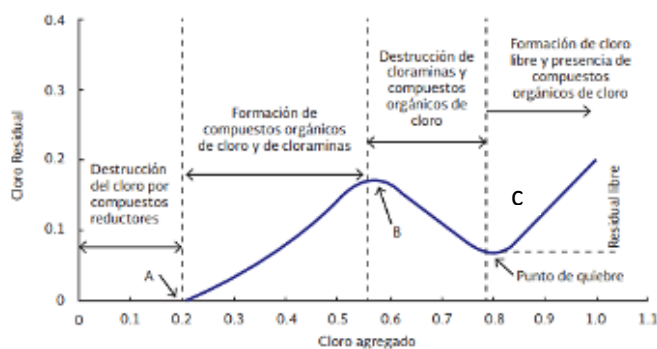
### **Dosis de cloro**

La dosis ideal es la que se requiere para eliminar organismos patógenos u oxidar sustancias indeseables en el agua. Las dosis se determinan en laboratorio mediante la adición de diferentes concentraciones de desinfectante a usar en ensayos de dosificación. La dosis ideal de cloro será el resultado de la suma de la demanda de cloro más el cloro libre residual, que va de acuerdo con la norma empleada en el país. (Fustamante, 2017)

La prueba de dosificación se realiza con equipos de prueba de jarras, que son simuladores de laboratorio a escala de la operación de una planta de tratamiento, en la que se determinan las condiciones esperadas o deseadas en las instalaciones. Tiene 6 jarras equipadas con un mezclador de paletas, permite comparar algunas concentraciones químicas a una velocidad determinada. (Howe et al., 2012)

### **Curvas de demanda de cloro**

Indican la reacción del cloro de acuerdo con concentraciones diferentes. En la zona A el cloro se consume en la formación de cloraminas y eliminación de compuestos orgánicos. En la zona B el cloro empieza a oxidar sustancias en el agua como el hierro y manganeso o algunas especies de cloraminas. Cuando la oxidación de las especies de cloraminas se completa, se denomina el punto de quiebre. El comienzo de la zona C es la determinación de cloro libre residual y aumenta de acuerdo con la cantidad de cloro añadido, el punto de quiebre depende de la cantidad de sustancias que se va a eliminar (Ver figura 4). (Howe et al., 2012)



**Figura 4.** Curva obtenida en la cloración a punto de quiebre

**Fuente:** (CONAGUA, 2019)

## 1.9 Sistemas de cloración

**Cloración por goteo:** Es un sistema empleado en zonas rurales para administrar la dosificación de una solución clorada durante un periodo de tiempo. Es de fácil implementación, operación y mantenimiento. Su puesta en marcha implica bajos costos en términos de material y su funcionamiento es confiable. (Fustamante, 2017)

**Electrolisis:** La electrolisis se fundamenta en la utilización de corriente eléctrica para descomponer sustancias presentes en la salmuera (sal más agua). En este proceso los iones de sodio son atraídos hacia electrodos negativos, experimentando una reducción por transferencia de electrones, mientras que los iones cloro se desplazan hacia un electrodo positivo en la que son oxidados. (Moreira et al, 2016)

## 1.10 Normativa ambiental empleada

Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), INEN 1108 “Agua para consumo humano. Requisitos”, presenta en la tabla 1 los requisitos físicos y químicos exigidos para el agua destinada al consumo humano. Tabla 2 especifica los requisitos microbiológicos correspondientes, mientras que la Tabla B.1. establece el rango de pH para el agua de consumo humano.

Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), INEN 2169 “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras”, tabla 1 que establece las técnicas generales para la conservación de muestras – análisis fisicoquímico.

Por último, se emplea la normativa mexicana NOM-127-SSA-2021, tabla 4 de los límites permisibles de metales en el agua de consumo humano, debido a que, en la normativa ecuatoriana INEN 1108 tabla 1 no se encuentran normados metales.

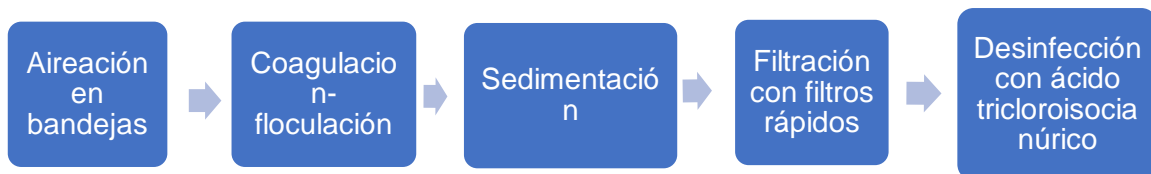
## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Planta de agua potable “Chinchinloma”

#### 2.1.1 Funcionamiento

La planta de tratamiento de agua potable de Chinchinloma maneja un caudal de 3 L/s. El agua que entra a los procesos de tratamiento respectivos corresponde a la unión de agua del reservorio de Cangahua y la vertiente de Monte Verde. La PTAP cuenta con 5 procesos unitarios de tratamiento, que se mencionan a continuación (ver figura 5):

En el diagrama de flujo de la PTAP se indica el orden de los procesos unitarios, que cumplen con el tratamiento de remoción de la turbidez, metales que causen color al agua cruda o potable y organismos patógenos causantes de enfermedades.



**Figura 5.** Diagrama de bloques de la PTAP de Chinchinloma

El agua cruda se conduce desde la captación de Monte verde y Cangahua a la PTAP, se envía por medio de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) a los procesos de aireación, coagulación-floculación y sedimentación que se encuentran en la planta prefabricada de tratamiento de agua potable de la empresa Intal como se observa en la figura 6.



**Figura 6.** Planta prefabricada de tratamiento de agua potable Chinchinloma

La PTAP de Chinchinloma cuenta con procesos unitarios fuera de la planta prefabricada que son: sedimentación, filtración y desinfección como se observa en la figura 7. El tubo de conducción del líquido tratado con sustancias químicas denominados coagulantes, floculantes y el regulador de pH, sale de la instalación prefabricada después de la fase de

sedimentación, extendiéndose hasta la unión con el tanque receptor y continuar con los procedimientos posteriores.



**Figura 7.** Procesos unitarios externos a la planta prefabricada Intal

El agua del sedimentador pasa a filtros rápidos a través de un tubo de PVC de 150 mm de diámetro a una profundidad de 0,3 m. Están compuestos por una capa inferior de medio filtrante de piedra gruesa y una capa menos profunda que incorpora un medio filtrante más fino, constituido por cascajo o grava, ver figura 8. El filtro se encarga de clarificar el agua puesto que ayuda a remover los sólidos que no sedimentaron. Finalmente, el agua pasa por 10 tubos de 50 mm de PVC colocados en la pared de separación de procesos al último tratamiento de cloración. Se coloca el desinfectante químico que son pastillas de ácido tricloroisocianúrico en el tanque de desinfección (ver la figura 8), con el fin de eliminar microorganismos patógenos causantes de enfermedades, además de oxidar sustancias que causen mal sabor y color. Por último, se pasa el agua tratada al tanque de almacenamiento para su respectiva distribución a los sectores de la Central, Sector 3, San Juan, Guadalupe y San Pedro.



**Figura 8.** Pastillas de ácido tricloroisocianúrico en el tanque de desinfección

## **2.2 Caracterización del agua del proceso de filtración**

Basándose en la INEN 1108 (2020) y según Romero Rojas (2009), la caracterización del agua se define como la determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico que se quiere evaluar. El trabajo de titulación presenta la caracterización

del agua en el proceso de filtración, mediante el análisis de los parámetros más importantes que fueron seleccionados por la presencia de sólidos suspendidos, proliferación de algas en los tanques y alteraciones de pH, temperatura, conductividad por el medio filtrante.

### 2.2.1 Perfil de sólidos

Para la determinación de sólidos totales, suspendidos totales y disueltos totales se siguió el método 2540 B. Total Solids Dried del Standard Methods (2023), se realizó una modificación de las alícuotas para realizar el análisis.

Previo a la realización experimental, se lavó exhaustivamente los crisoles. Luego, se colocó papel filtro en el crisol de sólidos suspendidos. Se encendió y programó la estufa para alcanzar una temperatura de 105°C durante 24 horas. Una vez culminado el tiempo se procedió a sacar los crisoles y trasladarlos al desecador para que se enfríen. Se procedió a registrar el código y el peso inicial del crisol, guiándose en la tabla 1 que presenta el formato de los resultados del ensayo de perfil de sólidos.

**Tabla 1.** Formato para el registro de pesos de los crisoles

Resultados del perfil de sólidos					
Afluente del proceso de filtración			Efluente del proceso de filtración		
Código	Peso inicial	Peso final	Código	Peso inicial	Peso final
Sólidos totales			Sólidos totales		
Sólidos suspendidos totales			Sólidos suspendidos totales		
Sólidos disueltos totales			Sólidos disueltos totales		

Con los resultados obtenidos del ensayo se ingresan en la ecuación 1 para la determinación de los sólidos.

$$\text{mg sólidos totales/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{V \text{ muestra, mL}}$$

**Ecuación 1.** Sólidos Totales (Rice et al, 2012)

Donde:

A: Peso final del crisol + el residuo (mg)

B: Peso inicial del crisol tarado (mg)

#### Sólidos totales

Se agitó la muestra con el fin de homogeneizar, luego con la ayuda de una probeta se midieron 50 mL y posteriormente se transfirió al crisol previamente tarado y pesado. Finalmente se colocó el crisol con la muestra en la estufa a 105°C por 24 horas. Después de transcurrir el tiempo designado, se sacó el crisol y se pasó al desecador para que se enfríe durante 2 horas. Con el crisol frío se pesó en la balanza y se registró el peso final.

### **Sólidos suspendidos totales**

Antes de realizar el ensayo se armó el equipo de filtración. Luego se homogeneizó la muestra y con una probeta se midieron 50 mL de muestra. Por consiguiente, se colocó el papel filtro del crisol en la parte superior del embudo. Después, se conectó la manguera de la bomba al matraz Kitasato, se encendió y filtro la muestra. Al finalizar con una pinza se tomó el papel filtro y colocó en el crisol. Finalmente se colocó el crisol en la estufa a 105°C por 24 horas.

### **Sólidos disueltos totales**

La muestra filtrada del matraz Kitasato se colocó en otro crisol previamente tarado y pesado designado para sólidos disueltos. Se transfirió el crisol con una pinza a la estufa por 24 horas a una temperatura de 105°C.

## **2.2.2 Nutrientes**

### **Nitrógeno amoniacal**

Para su determinación se usó el espectrofotómetro DR1900 de la marca HACH. El parámetro se determinó mediante el método "*Method 8038 Nitrogen, Ammonia*" (Método Nessler), el rango de medición es de 0,02 a 2,50 mg/L NH<sub>3</sub>-N. Se seleccionó en el espectrofotómetro el programa 380 N, Ammonias, Ness, luego en un cilindro mezclador se colocó una alícuota de 25 mL de muestra. Para el blanco, se prepararon 25 mL de agua desionizada en un cilindro mezclador. Posteriormente se añadió a cada cilindro 3 gotas de estabilizador mineral, 3 gotas agente dispersante (*Polyviny Alcohol Dispersing Agent*) y 1 mL de reactivo Nessler. Se colocaron 10 mL de blanco y de muestra a celdas diferentes, se encendió el equipo y se midió.

### **Nitratos**

Para la determinación de nitratos se usó el espectrofotómetro DR 1900 de la marca HACH. Se siguió la guía del método "*Method 8039 Nitrate*", el rango de detección es de 0,3 a 30 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N. Se inició el espectrofotómetro con el programa 355N, Nitrate HR PP. Se tomó una alícuota de 10 mL de muestra y se traspasó a una celda. Luego se añadió un sobre de reactivo en polvo para nitratos (*NitraVer 5*), se tapó la celda y se agitó vigorosamente

durante un minuto. Después se dejó reaccionar por 5 minutos. Una vez terminado el tiempo de reacción se encendió el equipo y midió.

### **Nitritos**

La determinación de este parámetro se realizó en el espectrofotómetro DR 1900 de la marca HACH y la guía con el método “*Method 8507 Nitrite*”, que tiene un rango de medición de 0.002 a 0.3 mg/L NO<sub>2</sub>-N. Primero se seleccionó el programa 371 N, Nitrite LR PP en el espectrofotómetro. Se homogenizó la muestra y se colocó una alícuota de 10mL en una celda. Seguidamente se añadió un sobre de reactivo en polvo de nitritos (*NitiVer 3*), después se esperó 20 minutos de reacción. Posteriormente se limpió la celda y se midió en el espectrofotómetro.

### **Fosfatos**

El análisis de este parámetro se realizó empleando el método “*Method 8048 Phosphorus, Reactive (Orthophosphate)*”. El rango de medición del método es de 0,02 a 2,50 mg/L PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Primero se seleccionó el programa 490 P Reac. PP. Después se colocaron 10 mL de muestra en una celda. Posteriormente se añadió un sobre de reactivo de fósforo (*PhosVer 3*). Se esperó 2 minutos de reacción. Para el blanco se añadieron 10 mL de muestra en otra celda, se encendió el equipo y se midió.

### **2.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO)**

Para la determinación de este parámetro se empleó un digestor DRB200 de la marca HACH y el espectrofotómetro DR 1900 de la misma marca. Se siguió el método “*Method 8000*”, con un rango de medición de 3 a 150 mg/L DQO. Se precalentó el digestor a 150°C. Por consiguiente, se eligió el vial para DQO de rango bango (LR) y se colocaron 2 mL de muestra. Se agitó por unos 20 segundos liberando los gases producidos en el vial. Para el blanco en otro vial de rango bajo se añadieron 2 mL de agua desionizada y se colocó junto con el vial de muestra en el digestor por un tiempo de 2 horas. En el equipo se eligió el programa 430 DQO LR, se limpiaron los viales y se precedió a medir.

### **2.2.4 Turbiedad**

Para medir la turbidez se utilizó el turbidímetro 2100 Q marca HACH. La calibración implicó la utilización de los estándares 10, 100 y 800 NTU. Posteriormente, se evaluó la turbidez *in situ*, transfiriendo 10 mL de la muestra a una celda cilíndrica. Luego, se limpió la celda con un paño específico del mismo equipo en la misma dirección para evitar rayones en la celda. Se encendió el equipo y se colocó la celda para su medición. Los resultados se presentan en NTU que son unidades nefelométricas de turbidez.

### **2.2.5 Parámetros medidos *in situ***

Para la determinación de los parámetros *in situ*, se empleó el medidor multiparamétrico de la marca HORIBA, modelo U-52, que por medio de sensores se puede usar para determinar la conductividad en mS/cm, la temperatura en °C, el potencial hidrogeno (pH). Se realizó la medición en el afluente y el efluente del proceso de filtración.

El equipo se calibró en el laboratorio siguiendo las instrucciones del manual, antes de ser empleado en la PTAP. Esto es conectar el cable de la sonda al equipo, asegurando la alineación entre la marca roja de los dos objetos. Después, se mantuvo pulsado el botón de encender (Power), por consiguiente, se empezó a calibrar colocando la solución tampón en el recipiente del equipo especificada en el manual, se procedió a ubicar el equipo en la solución y presionar el botón de “Cal”. La calibración se consideró completa al salir el mensaje de “Cal Complete”, por último, se retiró el equipo y con agua desionizada se lavó los sensores, se secó con toallas de papel y se colocó la tapa protectora.

Para la medición en la PTAP se procedió a conectar el cable de la sonda al equipo como se mencionó anteriormente. Después, se prendió y se sumergió la sonda con la tapa de protección en la muestra tomada en una jarra, se movió la sonda hasta que no salgan burbujas y el agua haya llegado a todos los sensores. Luego, se esperó unos 30 segundos para la estabilización de los parámetros, una vez que empiezan a estabilizarse se presionó el botón de “MEAS” para registrar los valores de la medición en el equipo. Posteriormente, se retiró la tapa protectora y se limpió los sensores con agua destilada. Finalmente, se secó la sonda, la tapa con toallas de papel, se apagó el equipo presionando el botón de encendido y se desconectó el sensor del monitor para guardar el equipo.

## **2.3 Caracterización del agua del proceso de desinfección**

Basándose en la INEN 1108 (2020) y lo mencionado anteriormente, el trabajo de titulación presenta la caracterización del agua en el proceso de desinfección identificando los parámetros fundamentales que puedan causar interferencias en el proceso.

### **2.3.1 Coliformes totales**

La determinación de este parámetro se realizó con el método “9221 B. Estándar Total Coliform Fermentation Technique” del Standar Methods (2023). En una gradilla se tuvo 10 tubos de ensayo con caldo lactosado. Posteriormente se procedió a esterilizar el área de trabajo con alcohol antiséptico al 70%. Con una micropipeta y puntas esterilizadas, se colocó 1 mL de muestra en cada tubo. Se dejó en la incubadora a 35°C por 48 horas.



Finalmente, al pasar las 48 horas se sacó la gradilla de la incubadora y se identificó si en algún tubo dio positivo.

### **2.3.2 Giardia**

El análisis de Giardia Lamblia se realizó en el laboratorio SEIDLABORATORY CÍA. LTDA, externo a la universidad, debido a que en ninguno de los espacios disponibles en la institución era posible hacerlo. Éste se realizó con base en el método SE.MI y el resultado se emitió en base a la INEN 1108, ver anexo II.

### **2.3.3 Cloro total**

La medición del parámetro se realizó con el colorímetro DR 300 de la marca HACH. Se siguió el método "*Method 8167 Chlorine Total, Low Range*", con un rango de medición de 0.02 a 2 mg/L Cl<sub>2</sub>. Se enjuagó la celda 3 veces con el agua de la muestra, luego se tomó una alícuota de 10 mL en una celda. Después se añadió un sobre de reactivo de cloro (*DPD Total Chlorine*). Se mezcló y dejó reaccionar durante 3 minutos. Se preparó el blanco con 10 mL de muestra. Al terminar el tiempo de reacción se insertó y midió en el equipo.

### **2.3.4 Cloro libre residual**

La medición del parámetro se realizó en el colorímetro DR 300 de la marca HACH. Se siguió el método "*Method 8021 Chlorine Free, Low Range*", con un rango de medición de 0.02 a 2 mg/L Cl<sub>2</sub>. Se enjuagó la celda 3 veces con el agua de la muestra. Se preparó el blanco con 10 mL de muestra, se limpió la celda cilíndrica y se enceró el equipo en rango bajo. Posteriormente se tomó una alícuota de 10 mL, se colocó en una celda y se añadió un sobre de reactivo de cloro (*DPD Free Chlorine*). Se mezcló y se limpió la celda, seguidamente se insertó y midió dentro de un minuto.

## **2.4 Caracterización del agua para Prueba de dosificación**

### **2.4.1 Color aparente**

La medición de este parámetro se realizó en el espectrofotómetro DR 1900 de la marca HACH. Se empleó el método "*Method 8025 Color, True and Apparent*". Se seleccionó el programa 120 Color con una longitud de onda de 455 nm. Primero se homogenizó la muestra y se tomó una alícuota de 10 mL que se colocó en una celda. Para el blanco se tomaron 10 mL de agua desionizada, se limpió la celda y se enceró el equipo. Los resultados se expresan en unidades de platino cobalto (Pt-Co).

### 2.4.2 Temperatura y pH

Los parámetros se midieron *in situ* con el pHmetro de bolsillo tipo pluma de la marca Lovibond, modelo SD 50. En una jarra de plástico previamente lavada con agua destilada se tomó una alícuota de la muestra. Después se encendió el equipo y se enjuagó el sensor con agua destilada. Posteriormente se introdujo el pHmetro en la muestra y se esperó que los valores se estabilicen. Los resultados de la temperatura se expresaron en °C.

### 2.4.3 Hierro

El análisis de este parámetro se realizó en el espectrofotómetro DR 1900 de la marca Hach, siguiendo el método "*Method 8008 Iron Total*". El rango de medición del método es de 0,02 a 3 mg/L Fe. Primero se seleccionó el programa 265 Iron, FerroVer. Después se homogenizó la muestra y colocó una alícuota de 10 mL de muestra en una celda. Posteriormente se añadió un sobre de reactivo de hierro (*FerroVer Iron*). Se esperó 3 minutos de reacción. Para el blanco se colocaron 10 mL de muestra en otra celda, se limpió y enceró el equipo. Al terminar el tiempo de reacción se midió.

### 2.4.4 Manganeso

La determinación de este parámetro se realizó en el espectrofotómetro DR 1900 de la marca HACH y la guía con el método "*Method 8149 Manganese, LR*", que tiene un rango de medición de 0,006 a 0,7 mg/L Mn. Primero se seleccionó el programa 290 Manganese, LR en el espectrofotómetro. Por consiguiente, se homogenizó la muestra y se tomó una alícuota de 10mL en una celda. Para el blanco se colocó en una celda 10 mL de agua destilada. Posteriormente se añadió un sobre de reactivo en polvo (*Ascorbic acid*) a cada celda, 12 gotas de cianuro alcalino. Se mezcló y se añadieron 12 gotas de solución indicadora (*PAN*). Se esperó 2 minutos de reacción. Posteriormente se precedió a limpiar la celda del blanco y enceró el equipo. Finalmente se midió.

### 2.4.5 Aluminio

El análisis de este parámetro se realizó en el espectrofotómetro DR1900 de la marca Hach. Se empleó el método "*Method 8012 Aluminum*", con un rango de detección de 0,008 a 0,8 mg/L Al<sup>3</sup>. Primero se seleccionó el programa 10 Aluminum Alumin. Se colocaron 50 mL de muestra a un cilindro mezclador y se añadió un sobre de ácido ascórbico. Posteriormente se puso un sobre en polvo de *AluVer 3* y se dejó reaccionar por 1 minuto. Para el blanco se tomaron 10 mL del cilindro en una celda y se añadió un sobre de reactivo blanqueador

(*Bleaching 3*). Se dejó reaccionar 15 minutos. Al terminar el tiempo se encendió el equipo y en otra celda se colocaron 10 mL de la muestra preparada y se midió. (HACH, s.f.)

## **2.5 Filtración**

### **2.5.1 Medio filtrante**

El filtro rápido de la PTAP está compuesto de cascajo o grava a diferentes granulometrías, con el objetivo de clarificar el agua removiendo sustancias que causen color o turbidez. El filtro de grava es apto para usar en aguas pretratadas, es decir que ya paso por procesos que disminuyeron la turbidez.

### **2.5.2 Mantenimiento**

El lavado del filtro es la actividad de mantenimiento más importante en este proceso, al quedar retenidos los sólidos suspendidos en la grava o cascajo, el filtro tiende a tener atascamiento en algunas zonas, lo que provoca que el paso del agua sea reducido, las pérdidas aumenten y disminuya la eficiencia de remoción. El lavado consiste en someter al filtro a corrientes de agua que despegan las impurezas del material, arrastrándolas a el canal de recolección y evacuación. El agua del lavado debe ser removida por canaletas a gravedad fuera del sistema. El lavado del filtro acorde con la PTAP se debe realizar mediante chorros a presión de agua con manguera. (Orellana, 2005)

Según Orellana (2005), la operación del filtro rápido con el tiempo presenta ciertos inconvenientes como la formación de lodos, obstrucciones, pérdida de material fisuras y desgaste del material que es producida por el flujo de agua que entra por las grietas ocasionadas, haciendo que se acumule la materia orgánica y se rompan disminuyendo su tamaño. La grava que se encuentra bien ubicada y limpia por lo general presenta un encogimiento menor al 1% en pérdidas. Por lo mencionado anteriormente y de acuerdo con la bibliografía cuando las dificultades de trabajo son grandes el medio filtrante en este caso el cascajo debe ser limpiado y colocado de nuevo, generalmente se realiza cada dos o tres años.

### **Frecuencia de lavado**

La frecuencia con la que se producen el lavado está determinada por las características que posee el agua. Si el agua presenta muchos sólidos el filtro reducirá su capacidad de remoción y se presentarán atascamientos que impidan pasar el agua. En casos en que el agua presente mayor turbiedad de lo normal y es notorio el taponamiento del medio filtrante se debe realizar cada 3 días. (Orellana, 2005)

### 2.5.3 Eficiencia de remoción

La eficiencia del proceso en la remoción de parámetros característicos del agua en la instalación del tratamiento determinado. Es la relación entre la concentración del parámetro en el afluente del proceso y efluente, está expresada normalmente en porcentaje y se analiza individualmente para cada parámetro a remover en el proceso unitario. Romero (2004) establece la determinación de la eficiencia de remoción con la siguiente ecuación:

$$E (\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

**Ecuación 2.** Porcentaje de Eficiencia de remoción

## 2.6 Desinfección

### 2.6.1 Pruebas de dosificación

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional. Se utilizaron desinfectantes a diferentes concentraciones iniciales para determinar la dosis ideal en función de la caracterización del agua acondicionada en tratamiento previos a la desinfección. Con la finalidad de aplicar y obtener los datos de la prueba de dosificación en la PTAP.

#### Equipo empleado

La prueba de jarras que se empleó es del modelo PB-700 JARTESTER de la marca PHIPPS & BIRD. El equipo puede usarse con velocidades desde 0 a 300 rpm con incrementos de 1 rpm. Este cuenta con una base de luz integrada y paletas de acero inoxidable ajustables a diferentes profundidades. El equipo cuenta con 6 vasos de forma rectangular con capacidad de 2 litros de la marca HACH, como se ve en la figura 9. El equipo funciona con 120 V.



**Figura 9.** Prueba de Jarra equipo PHIPPS & BIRD MODELO PB-700

En la figura 10 se observa el panel de control cuenta con un interruptor de encendido y apagado al lado derecho del panel. En el lado izquierdo posee un interruptor de alto/bajo

que alterna el control de velocidades, en el rango bajo de 0 a 35 rpm y en rango alto de 30 a 300 rpm. En el centro del panel cuenta con una perilla de control de velocidades que van en el sentido de las manecillas del reloj.



**Figura 10.** Panel de control del equipo PHIPPS & BIRD MODELO PB-700.

### 2.6.2 Procedimiento de ensayo para la demanda de cloro

De acuerdo con la guía aplicada para el ensayo se siguió la demanda de cloro de acuerdo con el Standars Methods (2023). Para la realización del ensayo se recolectó una muestra de agua filtrada de la PTAP que corresponderían al efluente de la desinfección. Para cada prueba de dosificación fueron necesarios 6 litros de muestra, el ensayo se realizó dentro de las 24 horas de la toma de la muestra. Con la concentración de cloro libre disponible en los desinfectantes a empelar en el ensayo.

Se midió y registró el pH, temperatura y el color inicial de la muestra. Se procedió a colocar alícuotas de 1000 mL a cada jarra del equipo. En cada jarra se añadió la solución de cloro que se estableció previamente en concentraciones ascendentes. Los resultados y las concentraciones empleadas se registraron en el formato de la tabla 2.

**Tabla 2.** Formato de registro de resultados y concentraciones del ensayo.

PRUEBA DE JARRA					
Fecha de muestreo		Hora de muestro		Desinfectante	
pH		Temperatura (°C)		Color (Pt-Co)	
# Jarra	Co (mg/L)	Vs madre	V muestra	V aforo	Cf (mg/L)
1					
2					
3					

En base a las concentraciones que se plantearon para cada prueba de dosificación de desinfectante, se determinó la cantidad de volumen (mL) a usar con la siguiente ecuación:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

### **Ecuación 3. Dilución a partir de otra solución**

En donde:

C1= Concentración de la solución base

V1= Volumen a tomar de la solución base

C2= Concentración de la solución a preparar (mL)

V2= Volumen a tomar para la concentración a preparar (mL)

#### **2.6.3 Programación del equipo**

Cuando los vasos y las paletas del equipo se encontraban ubicados correctamente se procedió a encender la prueba de jarras, verificando previamente que la perilla de control de velocidades esté en cero o mínimo. Se colocó el interruptor de las velocidades en alto, en sentido de las manecillas del reloj, se giró la perilla de control de velocidades hasta programar la velocidad de la mezcla rápida deseada por el tiempo establecido. Cuando terminó el tiempo de mezcla rápida se procedió a girar la perilla de control en sentido antihorario y colocar la velocidad para mezcla lenta.

#### **2.6.4 Desinfectantes**

Se emplearon dos desinfectantes en diferentes concentraciones para la elección de la dosis óptima de acuerdo con el agua tratada que llega al proceso de desinfección y que cumple con los parámetros pertinentes de calidad de agua potable, con el objetivo de poder aplicar en la planta de tratamiento y que este dentro de los límites de la tabla 1, 2 y B1 de los requisitos físicos, químicos, microbiológicos de agua para consumo humano como lo establece NTE INEN 1108.

#### **Hipoclorito de sodio**

Se usó un galón de hipoclorito de sodio al 10% para realizar ensayos de dosificación para usar el desinfectante como alternativa efectiva a proponer y sustituir en el proceso de desinfección en la PTAP. Para el ensayo realizado se preparó una solución madre con una concentración de 570 mg/L. Con la solución madre preparada se realizó diluciones en concentraciones diferentes para cada jarra empleando la ecuación 2 y utilizando el formato de la tabla 2 para el registró de resultados. Los ensayos se realizaron siguiendo la hoja de seguridad del anexo IV.

### Pastillas de ácido tricloroisocianúrico

La planta de tratamiento de agua potable de Chinchinloma, emplea tabletas de ácido tricloroisocianúrico ( $C_3O_3N_3Cl_3$ ) o tricloro, al 90%, cada una con un peso de 200 g especificada en la hoja técnica proporcionada por el distribuidor, adjunta en el anexo 2.

La implementación del desinfectante en un ensayo realizado se usó en polvo, obtenido de la trituración de la pastilla en un mortero, tomando en cuenta las medidas de la hoja de seguridad detalladas en el anexo III. Se preparó una solución madre con una concentración de 457,6 mg/L. En base a la solución madre se determinaron diluciones para cada jarra del ensayo en diferentes concentraciones realizadas con la ecuación 2 y usando el formato de registró de la tabla 2.

Para la desinfección por medio de pastillas, determinar la cantidad adecuada de adición que permita tener una acción residual dentro del rango de la norma y el cálculo teórico se empezó registrando el desgaste de la pastilla en la tabla 3. El lugar de la colocación de la pastilla se cambió a un pequeño tanque ubicado en la salida del agua filtrada, por medio de vertederos con un flujo turbulento, que reúne el agua filtrada que va por un tubo al tanque de la desinfección, ver figura 11.

**Tabla 3.** Registro del desgaste de la pastilla de ácido tricloroisocianúrico

Desgaste de la pastilla de ácido tricloroisocianúrico		
Fecha	Día	Peso (g)



**Figura 11.** Ubicación establecida en la PTAP de las pastillas para el ensayo

### 2.6.5 Valoración de la concentración del tiosulfato de sodio

La valoración se realizó para determinar la concentración real de tiosulfato de sodio que se usó en la valoración de cloro disponible en el hipoclorito de sodio.

Se preparó el tiosulfato de sodio de 0,1 N, luego se pasó a una bureta de 25 mL para la valoración. Después se tomaron 10 mL de dicromato de potasio previamente preparado y se transfirió a un matraz Erlenmeyer. Se añadió 1 mL de ácido sulfúrico, 1g de cristales de

yoduro de potasio y se esperó 6 minutos de reacción. Al terminar el tiempo de reacción se tituló hasta tener un color amarillo paja. Finalmente, se colocaron 3 gotas de almidón al matraz y se volvió a titular hasta tener un color verde azulado que indicó que la valoración terminó. Se calculó la concentración con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{1}{V_{gastado}}$$

**Ecuación 4.** Concentración de una solución

C= Concentración de tiosulfato de sodio (#eq/L o N)

V= Volumen gastado de tiosulfato de sodio

### 2.6.6 Determinación real de cloro disponible del hipoclorito de sodio

La valoración del hipoclorito de sodio se realizó para determinar la concentración real de cloro disponible en la solución. El método de ensayo se aplicó según la INEN 1565 (2013) de hipoclorito de sodio en solución. De la muestra preparada se realizó el ensayo por duplicado.

El ensayo se empezó preparando la solución de análisis con una alícuota de 25 mL de hipoclorito de sodio en un matraz de aforación de un litro. De la solución preparada se tomaron 25 mL con una pipeta y se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Luego se procedió a añadir 1 g de cristales de yoduro de potasio y 4 mL de ácido acético glacial. Luego, se esperó 2 minutos para que se produzca la reacción. Al finalizar el tiempo, se tituló con tiosulfato de sodio al 0.105 N hasta tener un color amarillo paja. Posteriormente se colocaron 3 gotas de almidón como solución indicadora y finalmente se procedió a titular hasta que la muestra este transparente. El cálculo del porcentaje en volumen del cloro disponible se realizó con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{V \times N \times 141,8}{V_m}$$

**Ecuación 5.** Porcentaje de cloro disponible en volumen (INEN, 2013)

Donde:

V= Volumen de tiosulfato de sodio usado en el ensayo (mL)

N= Normalidad del tiosulfato de sodio empleado (mL)

V<sub>m</sub>= Volumen de muestra (mL)



### 2.6.7 Definición de la mezcla rápida y lenta

En los ensayos de dosificación que se realizaron, se emplearon velocidades y tiempos de acuerdo con la bibliografía empleada y la guía. La velocidad de mezcla rápida a usar en los ensayos se estableció de 120 rpm durante un minuto, con el fin de obtener una correcta homogenización de la solución de cloro y la muestra, por otro lado, la velocidad de mezcla lenta se estableció de 25 rpm por 30 minutos, respectivamente, debido al tiempo de reacción o tiempo de contacto entre la solución y los compuestos a eliminar u oxidar que contenga la muestra.

### 2.6.8 Tiempo de contacto del desinfectante

El tiempo de contacto es uno de los factores más importantes en la desinfección, respectivamente, refiriéndose al tiempo en el que el cloro reacciona con las sustancias presentes en el agua. En la tabla 4 se indica las condiciones de pH y tiempo de contacto para oxidar hierro y manganeso, sin embargo, el tiempo varía de acuerdo con el desinfectante y la concentración.

**Tabla 4.** Condiciones de aplicación de cloro para oxidar hierro y manganeso

	Concentración	pH óptimo	Tiempo de reacción
Hierro	0,62 mg/mg Fe	7	Menos de 1 hora
Manganeso	0,77 mg/mg Mn	7 a 8	1 a 3 horas

**Fuente:** (CONAGUA, 2019)

De acuerdo con la guía del Standars Methods (2023) y la CONAGUA (2019), se estableció un tiempo de contacto de 30 minutos como máximo para la oxidación de sustancias como hierro, cloraminas, concentraciones menores a 0,77 mg/mg de manganeso y la eliminación de bacterias presentes.

### 2.6.9 Análisis de parámetros en la prueba de dosificación

El cloro libre residual es un parámetro fundamental que se midió en el agua resultante de la prueba de jarras. Necesario para la realización de las curvas de demanda cloro y determinación de la dosis optima que cumpla la normativa empleada. El análisis se realizó con alícuotas de agua de cada jarra verificando la eliminación de hierro y manganeso.

### 2.6.10 Determinación de la demanda de cloro

La elección de la demanda de cloro requerida para el agua usada en el ensayo se establece de acuerdo con los límites de su acción residual que indica la INEN 1108 (ver tabla 5). Para

ello, se realizaron las curvas de demanda de cloro entre la concentración inicial y la final, estableciendo los parámetros de normativa en la curva y determinar la dosis que cumple con los requerimientos después del punto de quiebre.

**Tabla 5.** Límites en las curvas de demanda de cloro de acuerdo con la INEN

1108

<b>Límite Inferior</b>	0	0,3
	3	0,3
<b>Límite superior</b>	0	1,5
	3	1,5

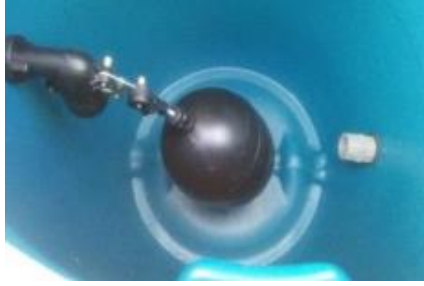
## 2.7 Equipos de dosificación

### 2.7.1 Hipoclorador por goteo

Para la desinfección del agua se puede emplear un hipoclorador por goteo que funciona a gravedad, usado generalmente para hipoclorito de calcio o de sodio. Este sistema es más controlable y permite una mejor dosificación en las plantas de tratamiento de agua. Basándose en la memoria de instalación de un hipoclorador de flujo constante o goteo con flotador, el sistema está constituido por medio de accesorios de PVC roscable y un tanque plástico de 500 L con un periodo de recarga de 7 días del taque que contiene la solución clorada, como se ve en la figura 12 y 13. (COSUDE, s.f.)

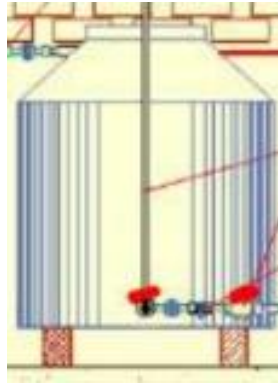
**Tabla 6.** Accesorios de un hipoclorador por goteo

<b>Accesorios para la construcción de un hipoclorador por goteo:</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Tanque plástico de 500 L</b>	U	1
<b>Niple de PVC 1/2"</b>	U	1
<b>Tee de PVC de 1/2"</b>	U	2
<b>Adaptador hembra 1/2"</b>	U	2
<b>Unión universal PVC de 1/2"</b>	U	3
<b>Codo PVC de 90° 1/2"</b>	U	1
<b>Tubo PVC de 1/2"</b>	m	6
<b>Tubo rígido de PVC transparente de 1/2"</b>	m	6
<b>Válvula de paso</b>	U	2
<b>Grifo</b>	U	1
<b>Flotador de 1/2"</b>	U	1



**Figura 12.** Flotador dentro del tanque

**Fuente:** (COSUDE, 2014)



**Figura 13.** Esquema de la estructura del dosificador

**Fuente:** (COSUDE, 2014)

Con los materiales detallados en la tabla 6, el hipoclorador cuenta con un tubo transparente para revisar el nivel del agua dentro del tanque y con un ramal para mantenimiento. Con este sistema se puede emplear la dosificación con el hipoclorito de sodio y el tricloro disuelto, considerando el caudal que se maneja en la PTAP, la dosis óptima determinada en laboratorio y el porcentaje de pureza. Con estos datos y el volumen de ingreso al tanque de desinfección se calcula con la ecuación 6 el peso del desinfectante que se requiere para la cloración del agua:

$$P (gr) = \frac{V \times C}{10 \times (\% \text{ de cloro})}$$

**Ecuación 6.** Cálculo del peso del desinfectante (gr)

Donde:

V = Volumen de agua que ingresa al proceso de desinfección (L)

C = Concentración de la dosis determinada en laboratorio (mg/L)

% de concentración o cloro que se usa de acuerdo con el desinfectante

Para calcular el volumen de agua especificada en la ecuación 4, se empleó la siguiente ecuación:

$$V = Q \times t$$

**Ecuación 7.** Volumen de agua a desinfectar

Donde:

V = Volumen de agua a tratar (L)

Q = Caudal de ingreso al tanque de desinfección (L/s)

T = Tiempo de recarga de la solución clorada (s)

Para el cálculo del caudal de goteo (Qg), se usó la ecuación presentada a continuación:

$$Qg = \frac{V_{tc}}{T}$$

**Ecuación 8.** Caudal de goteo

Donde:

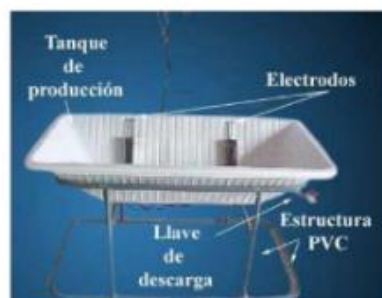
V<sub>tc</sub> = Volumen del tanque de la solución clorada con flotador (mL)

T = Tiempo de goteo (igual al periodo de recarga) (min)

## 2.7.2 Generador de hipoclorito de sodio

### Equipo CLORID

El funcionamiento básico del equipo es preparar la salmuera saturada en agua, se prepara una solución acuosa en un tanque que viene incluida en el equipo con una capacidad específica. Los electrodos están ubicados en paralelo, conectados a corriente a través de un transformador-rectificador (ver figura 14), dentro del tanque. El equipo CLORID se conecta a una corriente de 110 voltios y se puede realizar la dosificación mediante goteo con una válvula check.



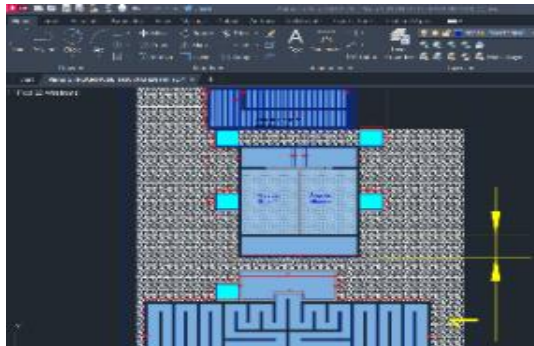
**Figura 14.** Partes del sistema Clorid

**Fuente:** (Belmonte, 2018)

En el tanque el cloruro de sodio se disocia totalmente en iones de sodio y cloruro generado, cuando se pasa por corriente continua. De ahí se libera cloro, en el caso del agua el hidrógeno pasa a un polo catódico para formar iones hidroxilo, los iones formados generan moléculas de sodio y cloro, lo que produce una solución de hipoclorito de sodio, (Belmonte, 2018). Sin embargo, este sistema no se propondrá en el trabajo por los costos de adquisición, ya que la planta no presenta la economía suficiente para comprarlo.

## 2.8 Planos de la PTAP de CHINCHINLOMA

La revisión del plano con vista superior entregado por la ingeniera a cargo se realizó mediante el levantamiento de medidas de los procesos de sedimentación, filtración y la desinfección de la planta con la ayuda de un flexómetro. Posteriormente, con las medidas del levantamiento de ancho y largo, se verificaron las medidas del plano en el programa AutoCAD 2023, empleando la herramienta dimensión, cómo se observa en la figura 15.



**Figura 15.** Revisión de las medidas en AutoCAD del proceso de filtración

Además de la revisión, se elaboró el plano en vista perfil con las profundidades de los procesos mencionados anteriormente (ver anexo XXI), para ello se utilizaron las herramientas del AutoCAD, las dimensiones se tomaron con un flexómetro cuando la planta estaba en limpieza, es decir que los procesos se encontraban sin agua, como se ve en la figura 16.



**Figura 16.** Tanque de recepción de agua del sedimentador en limpieza

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Caracterización del agua del proceso de filtración

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros seleccionados como fundamentales para la caracterización tanto del afluente como del efluente en el proceso de filtración en la estación de tratamiento de agua potable de “Chinchinloma”. Por otra parte, cada parámetro en la tabla 7 indica el método de ensayo que se empleó para su determinación.

Los resultados de la caracterización son de los parámetros de conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), fosfatos, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal o de amonio, potencial hidrógeno (pH), el perfil de sólidos que consta de sólidos totales, sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales, la temperatura y finalmente la turbiedad. Además, en la tabla constan los límites permisibles de algunos parámetros de agua para consumo humano de la tabla 1. de la normativa ecuatoriana INEN 1108.

**Tabla 7.** Resultados de la caracterización del afluente y efluente del filtro

CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DEL FILTRO						
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO						
PARÁMETROS	UNIDADES	INEN 1108	RESULTADOS AFLUENTE	RESULTADOS EFLUENTE	CUMPLIMIENTO	MÉTODO DE ENSAYO
Conductividad	μS/cm	-	94	50	-	MÉTODO CONDUCTIMÉTRICO
Demanda química de oxígeno	mg/L DQO	-	< 3	< 3	-	MÉTODO HACH 8000
Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	0,58	0,50	-	MÉTODO HACH 8048
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N	50	0,6	0,5	Cumple	MÉTODO HACH 8171
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> N	3	0,008	0,004	Cumple	MÉTODO HACH 8507
Nitrógeno de amonio	mg/L NH <sub>3</sub> -N	-	0,43	< 0,02	-	MÉTODO HACH 8038
pH	-	6,5 - 8	6,77	6,54	Cumple	-
Sólidos totales	ppm	-	116	98	-	MÉTODO GRAVIMÉTRICO
Sólidos disueltos totales	ppm	-	116	106	-	MÉTODO GRAVIMÉTRICO

**Continuación Tabla 7.** Resultados de la caracterización del afluente y efluente del filtro

<b>Sólidos suspendidos totales</b>	ppm	-	-	-	-	MÉTODO GRAVIMÉTRICO
<b>Temperatura</b>	°C	-	16,19	14,35	-	-
<b>Turbiedad</b>	NTU	5	2,13	0,52	Cumple	MÉTODO NEFELOMÉTRICO

Como se ve en la tabla 7, los resultados de nitratos se encuentran por debajo del límite permisible de 50 mg/L, de acuerdo con la normativa INEN 1108 de la tabla 1. Para el caso de nitritos la norma establece un límite de 3 mg/L por lo que el resultado del afluente y efluente se encuentran dentro de norma. Sobre los resultados de turbiedad de acuerdo con la normativa están por debajo del rango que es de 5 NTU.

Por otra parte, el pH también cumple con normativa de acuerdo con la INEN 1108 TABLA B1, que indica un rango de 6,5 a 8 para agua de consumo humano. En general la calidad del agua que pasa por el filtro se encuentra en buenas condiciones de acuerdo con los parámetros medidos y aptos para ingresar al siguiente proceso de desinfección.

Además, en la tabla 8 se presentan los datos o resultados obtenidos del ensayo de sólidos totales, sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales, que se emplearon para calcular con la ecuación 1 los resultados del perfil de sólidos que constan en la tabla 8.

**Tabla 8.** Resultados del ensayo de perfil de sólidos

<b>Resultados del perfil de sólidos</b>					
<b>Afluente del proceso de filtración</b>			<b>Efluente del proceso de filtración</b>		
<b>Código</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>Código</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>
<b>Sólidos totales</b>			<b>Sólidos totales</b>		
A1	36,0881	36,0939	Dp1	41,8074	41,8123
<b>Sólidos suspendidos totales</b>			<b>Sólidos suspendidos totales</b>		
A3	28,6344	28,6342	J2	31,5905	31,5903
<b>Sólidos disueltos totales</b>			<b>Sólidos disueltos totales</b>		
Dp2	43,9644	43,9702	J1	41,3503	41,3556

### 3.2 Caracterización del agua del proceso de desinfección

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros seleccionados para la caracterización tanto del afluente como del efluente en el proceso de desinfección en la

estación de tratamiento de agua potable de “Chinchinloma”. Por otra parte, cada parámetro analizado en la tabla 9 indica el método de ensayo que se empleó para su determinación.

Los resultados de la caracterización de los parámetros de cloro total, potencial hidrógeno (pH), temperatura, parámetros microbiológicos como coliformes totales, fecales y giardia (Anexo I). La tabla 9 indica los límites permisibles de algunos parámetros de agua para consumo humano de la tabla 2. Y B.1. de la normativa ecuatoriana INEN 1108, correspondiendo a los parámetros de mayor importancia en el proceso de desinfección.

**Tabla 9.** Resultados del afluente y efluente de la desinfección

<b>CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA DESINFECCIÓN</b>						
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO</b>						
<b>Parámetros</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>INEN 1108</b>	<b>RESULTADOS AFLUENTE</b>	<b>RESULTADOS EFLUENTE</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>
Cloro total	mg/L Cl	-	-	0.16	-	MÉTODO HACH 10250
Coliformes totales	NMP/100 mL	Ausencia	< 1,1	< 1,1	Cumple	STANDARD METHOD SE 9221 B
Coliformes fecales	NMP/100 mL	Ausencia	< 1,1	< 1,1	Cumple	-
Giardia lamblia	Número de quistes/L	Ausencia	Ausencia	-	Cumple	SE.MI
pH	-	6,5 – 8	6,54	6,53	Cumple	-
Temperatura	°C	-	14.35	14.3	-	

Como se observa en la tabla 9 los parámetros de cloro total y temperatura no presentan un límite permisible en la tabla 1 de la NTE INEN 1108, sin embargo, son parámetros necesarios para determinar la eficiencia de desinfección del químico a emplear.

Los resultados que se aprecian en la tabla 9, para coliformes totales indican que en el ensayo ningún tubo dio positivo a la prueba presuntiva, por ende, se reporta como < 1,1 NMP/100 mL, que quiere decir ausencia de coliformes totales. Sin embargo, como en el ensayo de coliformes totales no se determinaron tubos positivos el ensayo de coliformes fecales no se realiza y se reporta como < 1,1 NMP/100 mL. Con lo mencionado anteriormente y comparando con la tabla 2 de la INEN 1108, la muestra para coliformes fecales cumple la normativa ecuatoriana mencionada anteriormente. Por otra parte, de acuerdo con el valor de pH obtenido tanto del afluente como efluente también cumple con



normativa de acuerdo con la INEN 1108 tabla B1. que indica un rango de 6,5 a 8 para agua de consumo humano.

El resultado del análisis de Giardia (Anexo II), que se obtuvo de un laboratorio externo acreditado indica que la muestra entregada para el ensayo no presenta quistes de Giardia, por ello, cumple con la tabla 2 de parámetros microbiológicos de la NTE INEN 1108 que establece un límite permisible de ausencia de número de quistes/L.

Según los resultados obtenidos y presentados en la tabla 9, se determina que la calidad del agua pretratada que ingresa al proceso de desinfección es aceptable para aplicar el desinfectante, ya que la mayoría de los parámetros analizados se encuentran por debajo de la normativa empleada en el trabajo. Sin embargo, las condiciones climáticas de la ubicación de la captación pueden alterar las condiciones de agua cruda que llega a la planta, por lo que es fundamental el acondicionamiento de la misma para el último proceso que es la desinfección. Adicionalmente, en la tabla 10 se presentan los resultados promedios de la medición de cloro libre residual en la red de distribución del Sector 3, para ello se eligió la primera casa de la distribución (inicio) y la última casa (fin) respectivamente. Se determinaron como puntos esenciales para la evaluación del proceso de desinfección actual de la PTAP de Chinchinloma y análisis posteriores.

**Tabla 10.** Promedio de cloro libre residual en la distribución del Sector 3

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CLORO LIBRE RESIDUAL					
PARÁMETROS	UNIDADES	INEN 1108	RESULTADOS	CUMPLIMIENTO	MÉTODO DE ENSAYO
Cloro libre residual (inicio)	mg/L Cl	0,3 a 1,5	0,09	No cumple	MÉTODO HACH 10245
Cloro libre residual (fin)	mg/L Cl	0,3 a 1,5	0,03	No cumple	MÉTODO HACH 10245

En la tabla 10 se observan los resultados de la medición de cloro libre residual de la red de distribución seleccionada. La tabla 1 de la normativa ecuatoriana INEN 1108 establece un rango de 0,3 a 1,5 mg/L de Cl. Los valores del cloro libre residual medidos en los dos puntos seleccionados e indicados en la tabla 10 se encuentran debajo del rango de la normativa, esto se debe a la baja concentración presente en el tanque de desinfección de cloro total. Incumpliendo con la acción residual del cloro que debe quedar en la red de distribución para garantizar y asegurar la calidad del agua no solo en la planta de tratamiento sino hasta el último punto de consumo.

### 3.3 Evaluación del proceso de filtración

La tabla 11 presenta los resultados en porcentajes de la eficiencia de remoción del filtro para los parámetros de conductividad, DQO, fosfatos, nitratos, nitritos, nitrógeno de amonio, sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y turbiedad. Las eficiencias de remoción se obtuvieron en base a las concentraciones de cada parámetro de la caracterización del agua en el proceso tanto en el afluente como el efluente.

**Tabla 11.** Porcentaje de la eficiencia de remoción del filtro

EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARCIAL DEL FILTRO				
PARÁMETRO	UNIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE	E (%)
Conductividad	μS/cm	94	50	46,81%
Demanda química de oxígeno	mg/L DQO	-	-	-
Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,58	0,50	13,79 %
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub> -N	0,6	0,5	16,67 %
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> -N	0,008	0,004	50,00 %
Nitrógeno de amonio	mg/L NH <sub>3</sub> -N	0,43	< 0,02	100,00 %
Sólidos totales	ppm	116	98	15,52 %
Sólidos disueltos totales	ppm	116	106	8,62 %
Sólidos suspendidos totales	ppm	-	-	-
Turbiedad	NTU	2,13	0.52	75,59 %

Como se observa en la figura 17 el filtro de grava o de cascajo que se emplea en la planta de tratamiento es muy eficiente para remover el 100 % de nitrógeno de amonio, la turbiedad con un 75,59 % y los nitritos en un 50 % que son los valores más elevados de remoción, estableciendo a estos parámetros por debajo del límite permitido de la INEN 1108 tabla 1. En el caso de la conductividad se obtiene una remoción del 46,81 % que se encuentra relacionada con los sólidos disueltos totales con una reducción del 8,62 %, ya que estos se encuentran dispersos de manera homogénea con el agua. En el caso de nitritos se obtiene disminución de la concentración inicial del 16,67 % y para fosfatos se tuvo un 13,79 % de remoción. Las concentraciones que se obtuvieron tanto en el afluente como el efluente ya cumplen con la normativa ecuatoriana INEN 1108, a pesar de que los nitratos presenten una eficiencia de remoción baja. Por ende, el filtro se emplea para pulir o ayudar a remover con más eficiencia los parámetros que hayan quedado de los procesos anteriores, para tener una mejor calidad de agua.

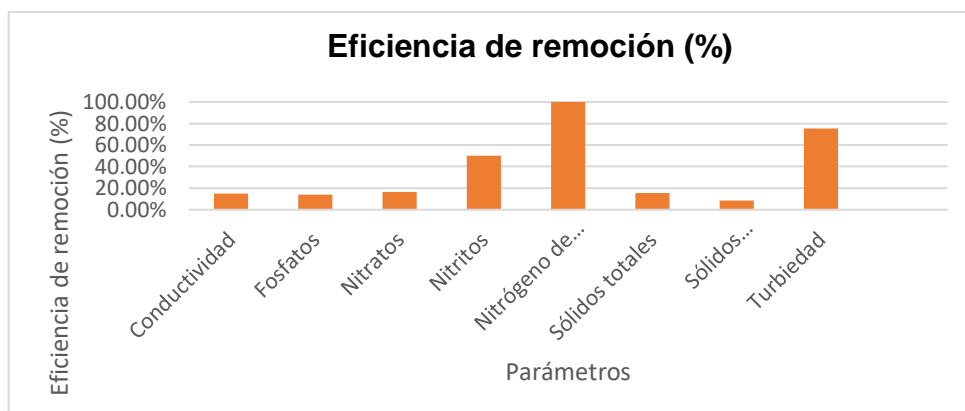


Figura 17. Eficiencia de remoción del proceso de filtración

### 3.4 Ensayo de prueba de dosificación

#### Caracterización de la muestra para la prueba de dosificación

La caracterización de la muestra de agua que se recogió para los ensayos de dosificación se presenta en la tabla 12, donde se indican los resultados de aluminio, hierro total y manganeso respectivamente. La caracterización de la muestra es primordial para empezar a realizar los ensayos en laboratorio debido a que con esos resultados y los obtenidos de las pruebas se podrá comparar que tan eficiente es la dosis del desinfectante que se empleará para cumplir con los objetivos establecidos. El agua de la planta debe mantener los niveles de los metales bajos o alrededor de los establecidos en la tabla 12, para poder emplear las dosis que se determinarán en los ensayos de dosificación. En caso de presentar niveles elevados de los metales indicados, la demanda de cloro para la oxidación de los mismo será mayor, por lo que el cloro libre residual después del punto de quiebre sobrepasará el límite máximo de la INEN 1108 tabla 1.

Tabla 12. Análisis de metales para el ensayo de prueba de jarras

Fecha de muestreo	23/11/23	Hora de muestreo	7:30 am	
Parámetro	Unidad	Resultado	Normativa mexicana 127-SSA-2021	Método de ensayo
Aluminio	mg/L Al <sup>3+</sup>	0,087	Cumple	Método HACH 8012
Hierro total	mg/L Fe	0,02	Cumple	Método HACH 8008
Manganeso	mg/L Mn	0,01	Cumple	Método HACH 8149

Como se ve en la tabla 12, los parámetros de aluminio, hierro total y manganeso no se encuentran normados en los requisitos de agua para consumo humano de la normativa ecuatoriana INEN 1108. Sin embargo, en la normativa mexicana NOM-127-SSA-2021, se indican los límites permisibles de los metales mencionado anteriormente en el agua para consumo humano. La normativa establece un límite para aluminio de 0,2 mg/L, para hierro

total 0,3 mg/L y para manganeso 0,15 mg/L, encontrados en la tabla 4. Por lo mencionado anteriormente los resultados obtenidos e indicados en la tabla 12, cumplen con la normativa mexicana NOM-127-SSA-2021. Por ello la demanda de cloro se empleará para oxidar metales, porque en base a la caracterización del agua no presentó rastros de materia orgánica o microorganismos.

### Pruebas de dosificación

Las tablas 13 y 14 indican el proceso y el resultado de las pruebas de dosificación realizadas con las pastillas trituradas (polvo) de ácido tricloroisocianúrico y el hipoclorito de sodio. Es importante mencionar que en las pruebas realizadas se empleó un diferente desinfectante y el tricloro en polvo, usando la misma muestra tomada con las características de la tabla 12 para metales y los parámetros señalados en cada tabla de los ensayos. Por otro lado, la dosis óptima que se eligió será en base a las figuras de la prueba de dosificación de cada ensayo respectivamente. Tomando en cuenta la demanda de cloro para oxidar, la eliminación de cloraminas especialmente en el uso del hipoclorito por la liberación del ion hipoclorito que se da por la oxidación (OXIDINE, 2022). Pero esencialmente la concentración de cloro libre residual se encuentre en el rango de la normativa ecuatoriana.

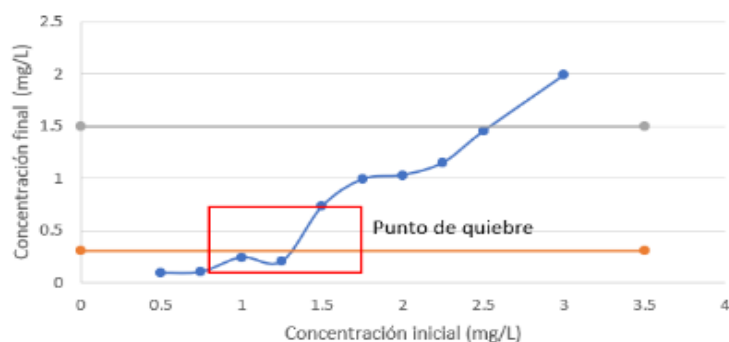
**Tabla 13.** Ensayo de prueba de dosificación con ácido tricloroisocianúrico

PRUEBA DE JARRA 1					
Fecha de muestreo	23/11/23	Hora de muestro	7:30 am	Desinfectante	Ácido tricloroisocianúrico
pH	6,54	Temperatura (°C)	14,3	Color (Pt-Co)	3
# Jarra	Co (mg/L)	Vs madre (mL)	V muestra (mL)	V aforo (mL)	Cf (mg/L)
1	0,50	1,1	998,9	1000	0,09
2	0,75	1,64	998,36	1000	0,1
3	1	2,18	997,82	1000	0,24
4	1,25	2,73	997,27	1000	0,2
5	1,5	3,28	996,72	1000	0,73
6	1,75	3,82	996,18	1000	0,99
7	2	4,37	995,63	1000	1,03
8	2,25	4,92	995,05	1000	1,15
9	2,5	5,46	994,54	1000	1,45
10	3	6,55	993,45	1000	1,99

En la tabla 13 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de dosificación empleando como desinfectante las pastillas trituradas de ácido tricloroisocianúrico al 90 % de pureza. Para las dosificaciones del desinfectante se preparó una solución madre, que fue añadida a las jarras que contenían 1000 mL de muestra. El volumen añadido de

desinfectante se basó en la concentración inicial establecida con intervalos de 0.25 mg/L. Como se visualiza en la prueba de dosificación se empezó con un pH de 6,54, una temperatura de 14,3 °C y un color aparente de 3 unidades de platino- cobalto.

Las concentraciones finales establecidas en la tabla 13 son las mediciones de cloro libre residual de cada jarra, usadas para el desarrollo de las curvas de demanda cloro. Como se ve en la figura 18, a medida que se va aumentando el volumen del desinfectante se va teniendo mayor concentración de cloro libre residual. Los dos primeros puntos de la figura 18 indican que el cloro no reacciona para eliminar compuestos microbiológicos, ya que el análisis del agua no presentó ningún valor positivo. Por otro lado, el agua presenta metales por lo que el cloro se consume en la oxidación de los mismo. Del punto dos al tres se da la fase de formación de compuestos orgánicos de cloro y cloraminas, sin embargo, la elevación del punto 2 al punto 3 es corta, porque la concentración de metales es considerablemente pequeña (ver tabla 12) y la eliminación de estos se puede ver en el descenso del punto 3 al 4. Desde el punto cuatro se establece el punto de quiebre en el que empieza la fase de la formación del cloro libre residual que no se ha consumido. La segunda curva que se observa en la figura 18 después del punto de quiebre, indica la estabilización del desinfectante en el agua, ocasionada por la liberación lenta del cloro activo, sin embargo, resulta ser más beneficioso por mantenerse en el agua por más tiempo. Es fundamental mencionar que es importante que el punto de quiebre se presente entre los límites establecidos en la gráfica de acuerdo con el rango de cloro libre residual de 0,3 a 1,5 mg/L de cloro de la tabla 1 de la NTE INEN 1108. En base a lo mencionado la concentración de la jarra 6 (pH de 6,55), la jarra 7 (pH de 6,56), la jarra 8 (pH de 6,56) y la jarra 9 (pH de 6,61), se puede seleccionar la dosis óptima, ya que cumple con la acción residual dentro de normativa y se elevó ligeramente el valor del pH, cumpliendo con el rango establecido por la INEN 1108.



**Figura 18.** Curva de cloración con ácido tricloroisocianúrico

En la tabla 14 se presentan los resultados que se obtuvieron del ensayo de prueba de jarras empleando como desinfectante hipoclorito de sodio (NaClO) al 10 %, no obstante,

se determinó el porcentaje real del hipoclorito de sodio con el procedimiento detallado en la metodología. Con lo expuesto con anterioridad la concentración real del hipoclorito de sodio es de 11.97 % de cloro activo y no del 10 % con el que se adquirió. Para las dosificaciones del desinfectante se preparó una solución madre, que se añadió a las jarras que contenían 1000 mL de muestra. El volumen añadido de desinfectante se basó en la concentración inicial establecida con rangos de 0,5 mg/L considerando el NaClO estaba al 10 % y después del ensayo se realizó la respectiva corrección a las concentraciones iniciales obteniendo las concentraciones de la tabla 14 con los cálculos del anexo XIX. La prueba de jarras empezó con un pH de 6,54, una temperatura de 14,3 °C y un color aparente de 3 unidades de platino- cobalto, colocando a estos parámetros dentro de los límites permisibles de la tabla 1 y B1 de la NTE INEN 1108.

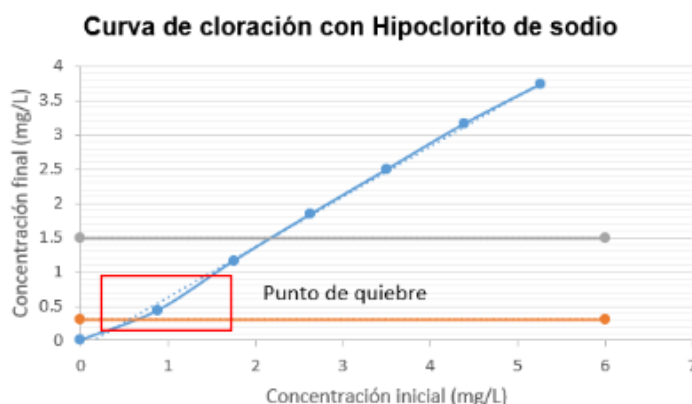
**Tabla 14.** Ensayo de prueba de dosificación con hipoclorito de sodio

PRUEBA DE JARRA 2					
Fecha de muestreo	23/11/23	Hora de muestro	7:30 am	Desinfectante	Hipoclorito de sodio
pH	6,54	Temperatura (°C)	14,3	Color (Pt-Co)	3
# Jarra	Co (mg/L)	Vs madre (mL)	V muestra (mL)	V aforo (mL)	Cf (mg/L)
1	0,87	1,53	998,47	1000	0,43
2	1,75	3,07	996,93	1000	1,16
3	2,63	4,61	995,39	1000	1,84
4	3,5	6,14	993,86	1000	2,5
5	4,38	7,68	992,32	1000	3,16
6	5,26	9,22	990,78	1000	3,74

Las concentraciones finales establecidas en la tabla 14 corresponden a las mediciones de cloro libre residual de cada jarra, usadas para la elaboración de las curvas de demanda de cloro. Como se aprecia en la figura 19 al igual que la figura 18 a medida que se va aumentando el volumen del desinfectante se va teniendo mayor concentración de cloro libre residual. Sin embargo, la curva de esta prueba de dosificación tiende a ser más lineal, debido a que el hipoclorito de sodio tiende a reaccionar más rápido y además su estabilidad es baja a diferencia del Tricloro. Los dos primeros puntos de la figura 19 indican que el cloro se consume en la oxidación de metales. En la figura 19 de la prueba 2 no se visualiza claramente el punto de quiebre ya que es mínimo, debido a que el rango de las concentraciones elegidas es más alejado, pero también se debe a que el NaClO actúa con más brevedad al liberar el cloro. Cabe recalcar que no se pudo realizar una prueba de jarras adicional usando rangos más cercanos debido a que el agua de la planta se modificó a causa del aumento de pastillas de tricloro en el aireador y sedimentador por la proliferación de algas. Basándose en la caracterización inicial de la muestra, del punto uno al dos el cloro se consume en la fase de compuestos orgánicos de cloro y cloraminas, por

otro lado, a pesar de que no se visualice el descenso de la curva siempre se forma el punto correspondiente a la destrucción de estos compuestos. Desde el punto 1 al 2 se establece el punto de quiebre y empieza la fase de la formación del cloro libre residual.

Es fundamental mencionar que es importante que el punto de quiebre se presente entre los límites establecidos en la gráfica de acuerdo con el rango de 0,3 a 1,5 mg/L de cloro libre residual de la tabla 1 de la NTE INEN 1108 o inferior al límite mínimo. En base a lo mencionado la concentración de la jarra 2 se puede tomar como la dosis óptima ya que el hipoclorito tiende a afectar el pH a la escala básica, sin embargo, la concentración inicial empleada no alteró en gran medida el pH, de hecho, el pH de la jarra 2 al final del tiempo de contacto fue de 6.83. Con respecto al cloro residual de la jarra 2, se cumple con el rango de la normativa INEN 1108 para oxidar los metales presentes en el agua, por lo que se vuelve muy eficaz para la desinfección por la rápida homogenización en el agua.



Figura

19. Curva de

cloración empleando hipoclorito de sodio

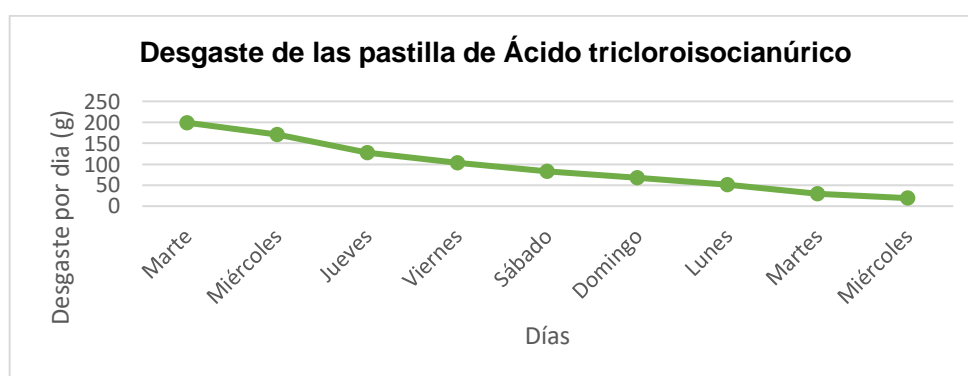
### 3.5 Cálculo teórico de la demanda de pastillas de ácido tricloroisocianúrico

Para el cálculo de la concentración de cloro total en el tanque de desinfección se empezó por determinar el desgaste de la pastilla de ácido tricloroisocianúrico. Al ver que la cloración por medio de las pastillas que se empleaba en la planta no cumplía con los límites de la NTE INEN 1108 (ver tabla 10), se cambió la ubicación de las pastillas para realizar la demanda detallada a continuación. Los resultados que se detallan en la tabla 15 se obtuvieron del pesaje de la pastilla para determinar el desgaste diario, y conocer exactamente en cuanto días se termina la misma y no de manera empírica.

**Tabla 15.** Pesaje diario de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico

Desgaste de la pastilla de ácido tricloroisocianúrico		
Fecha	Día	Peso (g)
5/12/2023	Martes	199
6/12/2023	Miércoles	171
7/12/2023	Jueves	127
8/12/2023	Viernes	103
9/12/2023	Sábado	83
10/12/2023	Domingo	68
11/12/2023	Lunes	51
12/12/2023	Martes	30
13/12/2023	Miércoles	19

Como se ve en la tabla 15, el desgaste de la pastilla se da en 9 días, con una curva de descenso como se observa en la figura 20. Con un promedio de desgaste diario de 22,5 g. El desgaste de las pastillas de los primeros 4 días presenta un promedio de 29 g y en los últimos días se obtiene una trayectoria más lineal ya que el desgaste es menor con 16 g. Por lo dicho anteriormente, las pastillas de Tricloro en su composición presentan ácido cianúrico que, al entrar en contacto con el agua, se libera cloro gradualmente lo que resulta en una mayor duración. Esta presencia prolongada resulta beneficiosa para las piscinas. Sin embargo, esta característica no afecta en gran medida la desinfección de agua para consumo humano cuando se controla su uso.



**Figura 20.** Desgaste de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico

Con los días de desgaste, el caudal que entra al proceso de desinfección en L/día, el peso molecular de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico y el número de pastillas que se añaden; se determina el cloro total en el tanque de desinfección. Como se detalla en la tabla 16 basándose en los cálculos del anexo XIX y el número de pastillas actualmente que

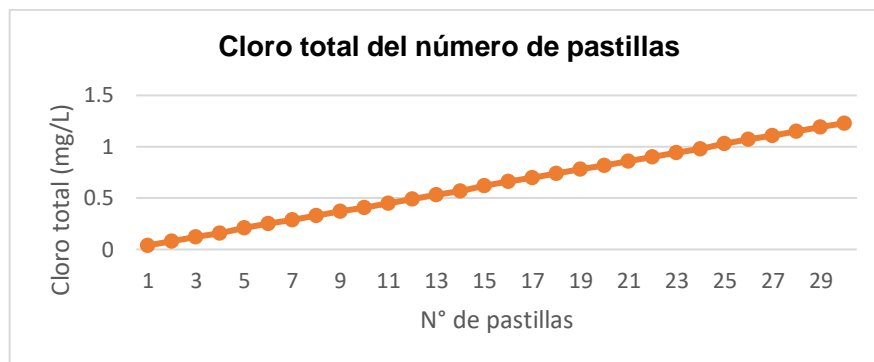


se añade, se procede a determinar el cloro total que se obtuviera desde una pastilla de Tricloro hasta 30 pastillas.

**Tabla 16.** Cálculo del cloro total de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico al 90%

N° de pastillas	g de Pastilla/ 9 días	mg Pastilla/L	mg Cl/L	Cloro total (mg/L)
1	232.41	0.10	0.05	0.04
2	464.82	0.20	0.09	0.08
3	697.23	0.30	0.14	0.12
4	929.64	0.40	0.18	0.16
5	1162.05	0.50	0.23	0.21
6	1394.46	0.60	0.27	0.25
7	1626.87	0.70	0.32	0.29
8	1859.28	0.80	0.36	0.33
9	2091.69	0.90	0.41	0.37
10	2324.1	1.00	0.46	0.41
11	2556.51	1.10	0.50	0.45
12	2788.92	1.20	0.55	0.49
13	3021.33	1.30	0.59	0.53
14	3253.74	1.39	0.64	0.57
15	3486.15	1.49	0.68	0.62
16	3718.56	1.59	0.73	0.66
17	3950.97	1.69	0.78	0.70
18	4183.38	1.79	0.82	0.74
19	4415.79	1.89	0.87	0.78
20	4648.2	1.99	0.91	0.82
21	4880.61	2.09	0.96	0.86
22	5113.02	2.19	1.00	0.90
23	5345.43	2.29	1.05	0.94
24	5577.84	2.39	1.09	0.98
25	5810.25	2.49	1.14	1.03
26	6042.66	2.59	1.19	1.07
27	6275.07	2.69	1.23	1.11
28	6507.48	2.79	1.28	1.15
29	6739.89	2.89	1.32	1.19
30	6972.3	2.99	1.37	1.23

Como se ve en la figura 21 a medida que se aumenta el número de pastillas aumenta la concentración de cloro total en el agua. Con ello y el tiempo de contacto que permanecerá para oxidar las sustancias, se tiene la presencia del cloro libre residual. Por otro lado, la estabilidad de las pastillas tiende a una trayectoria lineal con el cloro total.



**Figura 21.** Aumento del cloro total de acuerdo con el número de pastillas

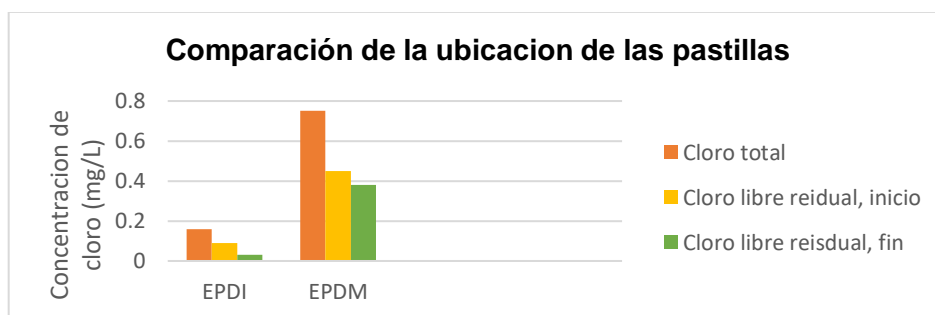
Para validar la concentración de cloro total que se obtuvo en el cálculo teórico para las 10 pastillas que se colocaron en el nuevo lugar como se ve, en la figura 11. Cabe mencionar que en la planta se ubican 5 pastillas en el proceso de aireación, adicionalmente se colocan 5 pastillas extras en la entrada de la sedimentación, para evitar la proliferación de algas en bandejas y canales del sedimentador, ya que además de eliminar bacterias actúa contra las algas y hongos. En total se colocan 20 pastillas de ácido tricloroisocianúrico en la PTAP de Chinchinloma y con esa cantidad se procedió a medir cloro libre total en el tanque de defecación como se detalla en la tabla 17. De acuerdo con la tabla 16, para las 20 pastillas se debe tener una concentración de cloro total de 0,82 mg/L, pero en la medición se obtuvo 0,75 mg/L que es el valor que corresponde a las 18 pastillas de la tabla 16. Con lo expuesto anteriormente la concentración de cloro total de dos pastillas que corresponde a 0,08 mg/L se pierde durante todo el proceso desde las bandejas de aireación el proceso de desinfección, es decir que el cloro se ha consumido por oxidar metales o reducido en el filtro, además de la evaporación de la exposición al sol en el sedimentador.

En la tabla 17, constan los resultados de la medición de cloro libre residual que se obtuvieron de la red de distribución del Sector 3. En la primera casa de la distribución se obtuvo un valor de 0,45 mg/L de cloro y en la casa final de la distribución se midió 0,38 mg/L, que se encuentran dentro del rango de la tabla 1 de la normativa ecuatoriana INEN 1108 con un rango de 0,3 a 1,5 mg/L de cloro. Con lo que se garantiza que el agua se siga desinfectando en la trayectoria de la distribución desde la planta hasta el último punto de consumo.

**Tabla 17.** Medición de cloro en la distribución del Sector 3

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CLORO					
PARÁMETROS	UNIDADES	INEN 1108	RESULTADOS	CUMPLIMIENTO	MÉTODO DE ENSAYO
Cloro Total	mg/L	-	0.75	-	MÉTODO HACH 10250
Cloro libre residual (inicio)	mg/L	0,3 a 1,5	0,45	Cumple	MÉTODO HACH 10245
Cloro libre residual (fin)	mg/L	0,3 a 1,5	0,38	Cumple	MÉTODO HACH 10245

Como se ilustra en la figura 22 la comparación de las concentraciones de cloro libre residual de la tabla 10 de la evaluación del proceso de desinfección (Evaluación del proceso de desinfección inicial-EPDI) y con las mediciones de la tabla 17 con las modificación del lugar de las pastillas y el cálculo del cloro total de las mismas (Evaluación del proceso de desinfección con la modificación-EPDM), se evidencia que se obtuvo un aumento considerable de cloro libre residual en la red de distribución, debido a que el lugar de la colocación de las pastillas de Tricloro se cambió por considerar mejores condiciones hidráulicas como la turbulencia, beneficiosa para el desgaste de las pastillas en menos días y mayor concentración de cloro total. Con lo aclarado anteriormente, se puede decir que el agua potable que sale de la planta de Chinchinloma cumple con el requisito primordial de desinfección con el cloro libre residual y la oxidación de metales presentes en el agua que causan sabor en la misma.



**Figura 22.** Ubicación de las pastillas empleada anteriormente por la planta y la modificación realizada para el trabajo realizado.

Sin embargo, la dosificación mediante la adición de pastillas en el tanque no es recomendable, ya que la concentración de cloro en el agua depende del desgaste y ello de las condiciones hidráulicas donde se ubique. Por otro lado, es mejor que la dosificación se realice mediante un hipoclorador de goteo a gravedad. Su funcionamiento no requiere de una bomba o de electricidad y el costo implicaría al inicio solamente de construcción del

sistema. No se recomienda en la PTAP de Chinchinloma un equipo CLORID por cuestiones económicas expuestas por la Junta administradora encargada.

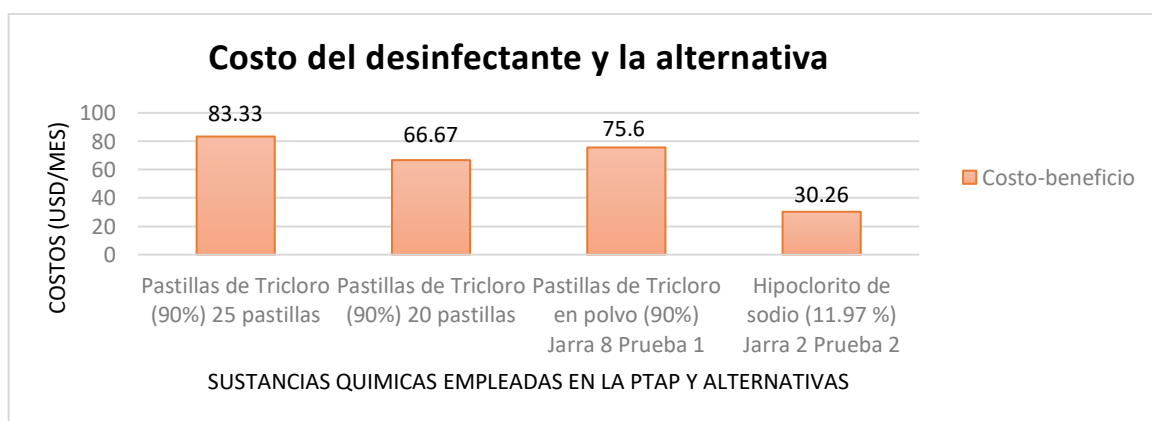
### 3.6 Análisis costo-beneficio

Para el análisis de costo-beneficio es fundamental considerar tres datos claves: el primero es el caudal de agua que se va a tratar e ingresa al proceso de desinfección, la dosificación elegida por medio de los ensayos realizados anteriormente y el costo asociado a cada desinfectante empleado actualmente en la planta de “Chinchinloma” e incluido el nuevo desinfectante propuesto como alternativa. Los precios detallados en la tabla 18 son específicos de cada desinfectante. El costo detallado del hipoclorito de sodio en la tabla es considerado por galón y el precio de las tabletas de ácido tricloroisocianúrico se indica por kilogramo.

**Tabla 18.** Precios de los reactivos empleados en los ensayos.

EMPRESA	PRODUCTO	PRESENTACIÓN	PRECIO (USD)
EQYA	Hipoclorito de sodio	Botella de 1 galón	3,47
AVALCHEM	Patillas de ácido tricloroisocianúrico	Tubos plásticos de 1 Kg con 5 pastillas de 200 g	5

Se calculó el gasto mensual de los reactivos empleados por la PTAP, incluyendo las tabletas de tricloro, tricloro en polvo e hipoclorito de sodio. Se utilizó la información del caudal que ingresa a el proceso de desinfección de 3 L/s. Esto abarcó el costo de las tabletas empeladas por la PTAP, junto con el precio por galón del hipoclorito como se detalla en la tabla 18.



**Figura 23.** Costo al mes del desinfectante usado y alternativas

En la figura 23 se detalla los costos al mes que se usaría para la desinfección empleando la dosis indicada para cada desinfectante detallado en las tablas 13, 14 y 16. Se observa que la dosificación que empleaba la planta en el tanque sin las condiciones de desgaste

necesarias, con 15 pastillas de tricloro al 90% en la desinfección, más 10 en la aireación y sedimentación, se obtiene un promedio mensual de 83,33 dólares. Sin embargo, no se cumplía con la normativa de cloro libre residual, por lo que se ocupaba más reactivo para estar en el rango de 0,3 a 1,5 mg/L de cloro, sin tener respuestas favorables. Con la modificación de la colocación de las tabletas se emplea 20 pastillas de tricloro lo que significa un gasto mensual de 66,67 dólares, optimizando el proceso con 5 pastillas de diferencia en el proceso de desinfección y manteniendo las 10 en aireación y sedimentación. Con la dosificación que se cambió en la planta si se logra estar en el rango de la normativa INEN 1108 de cloro libre residual como se evidencia en la tabla 17.

Para obtener la optimización del proceso y controlar las concentraciones exactas de la dosificación, es mejor optar por la implementación de un hipoclorador por goteo como se indica en el trabajo, pero no consta el costo total de elaboración. Si se emplea como desinfectante al tricloro en polvo con la dosis de la tabla 13 jarra 6, se obtiene un promedio mensual de 75,6 dólares, que resulta ser más caro que la dosificación de las pastillas que se modificó, además si la concentración inicial aumenta el precio igual, lo que no es muy conveniente tomando en cuenta los 7 días del periodo de recarga de la solución clorada en el hipoclorador. Sin embargo, usando la dosis de la jarra 6 la dosis inicial deja un cloro libre residual dentro del rango de la INEN 1108, pero el proceso no se optimiza. Por otro lado, con el hipoclorito de sodio al 11,97% con la dosis de la prueba 2 jarra 2, se obtendría un gasto mensual de 30,26 dólares. Con este desinfectante se minimiza el gasto a comparación con la alternativa del tricloro en polvo y las pastillas. La dosis inicial es igual a la dosis de la jarra 6 de la prueba 1, pero la diferencia es que se necesita menos del químico al mes para la dosificación.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El agua proveniente del proceso de coagulación-floculación al filtro cumple con los requisitos de agua para consumo humano de acuerdo con la INEN 1108, por lo que el proceso de filtración se emplea como un pulimiento de procesos previos y disminución de sólidos suspendidos presentes en la medición de turbiedad.
- La caracterización presentada en las tablas 9 y 12 del agua entrante a la desinfección es importante para la determinación de la calidad de agua antes y después de la desinfección para garantizar que la PTAP de Chinchinloma cumpla con la normativa INEN 1108. La caracterización del afluente de la desinfección permitió concluir que el cloro que se consume principalmente es en oxidar metales causantes de sabor en el agua, y no por presencia de parámetros microbiológicos.
- Con la colocación de las tabletas en el tanque con vertedero de la PTAP, se obtiene un resultado de optimización modesta, reduciendo de 25 a 20 pastillas de tricloro en la desinfección, lo que genera un ahorro de 16,66 UDS/mes. Este ajuste debe al equilibrio entre la velocidad de disolución de las tabletas y la concentración de cloro. Sin embargo, con la optimización mínima de las pastillas la planta cumple actualmente con los requisitos de la INEN 1108 para agua de consumo, logrando el mejoramiento del proceso.
- En el caso del hipoclorito de sodio al 11,97% usando el hipoclorador por goteo se obtiene una optimización mayor del proceso de desinfección con un ahorro de 53,07 USD/mes, empleando la dosis de 1,754 mg/L, por lo que deja una acción residual dentro de los requisitos de agua para consumo humano.
- Empleando el polvo del tricloro al 90%, en el hipoclorador de goteo no se tiene una optimización de la desinfección, ya que con la modificación del número de pastillas que se aplica actualmente en la planta el precio aumenta 8,93 USD/mes con la dosis de 1.75 mg/L, no obstante, se cumple con los requisitos de agua para consumo, pero no con la optimización necesaria.
- En la PTAP de Chinchinloma en la actualidad se distribuye agua de calidad siguiendo la NTE INEN 1108, gracias al cambio realizado en la desinfección, puede ahora garantizar la seguridad de consumir el agua a las personas de la comunidad.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda la determinación de metales antes de realizar los ensayos de dosificación para determinar si es adecuada el agua o no para la desinfección, lo que evita el gasto de reactivo innecesario.
- Como alternativa de dosificación se recomienda emplear hipoclorador por goteo a gravedad que son más factibles en zonas rurales donde las capacidades económicas restringen adquirir tecnología para la desinfección.
- Se recomienda que en los ensayos se empleen equipos de protección personal por los desinfectantes u otras sustancias químicas empleadas en el proceso.
- En caso de emplear el hipoclorador de goteo propuesto en el trabajo, es necesario que se realicen planos de construcción del sistema y realizar las cotizaciones de material en diferentes lugares optando por el más económico de acuerdo con la economía de la planta y que cumpla con el objetivo principal.
- Una vez que se implemente el sistema de dosificación se debe revisar la concentración inicial para el tanque del hipoclorador y la regulación de válvulas para que se cumpla con el cloro total en el tanque y por ende la acción residual del cloro deseado en la distribución, además de implementar el mantenimiento del sistema.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

UNICEF Y OMS. (2023). Progress son Household drinking water, Sanitation, and hygiene 2000-2022. <https://washdata.org/reports/jmp-2023-wash-households>

Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (Septiembre, 2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua (ENCA). [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf)

Pozo, M., Serrano, J., Castillo, R., Moreno, L. (2016). Indicadores ODS de agua y saneamiento e higiene en Ecuador. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Diagnostico\\_ASH\\_pobreza\\_INEC\\_BM.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Diagnostico_ASH_pobreza_INEC_BM.pdf)

Tello, L. (2008). El acceso al agua potable como un derecho humano. Comisión Nacional de los Derechos Humanos. [https://www.senado.gob.mx/comisiones/recursos\\_hidraulicos/docs/doc13.pdf](https://www.senado.gob.mx/comisiones/recursos_hidraulicos/docs/doc13.pdf)

Ministerios de Inclusión Económica y Social. (2023). Evaluación de los servicios públicos de Agua potable y saneamiento 2015-2021. [https://www.inclusion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/03/SNP-GSDS-informe-eval-serv-publicos-agua-potable-y-saneamiento-2015-2021\\_compressed.pdf](https://www.inclusion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/03/SNP-GSDS-informe-eval-serv-publicos-agua-potable-y-saneamiento-2015-2021_compressed.pdf)

Salamanca, E. (2016). Tratamiento de agua para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, 17(1), 29-4. <https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02>

Espinosa, A. (Diciembre, 2014). Calidad del Agua. *Impluvium*. <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero03.pdf>

Salazar, V., Viteri, C. & Suarez, L. (2018). Características Físicas, Químicas y Microbiológicas del agua de consumo en las comunidades de Barcelona, Sinchal, Valdivia y San Pedro de la Parroquia Manglaralto. Provincia de Santa Elena, 2013. *reciamuc*, 17(1), 690-713. <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/50/48>

Marín, R. (2018). Tratamiento y control de calidad de aguas. <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788490522103.pdf>

Chibinda, C., Pérez, M. & Pérez, P. (2017). Caracterización por métodos físicos-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera. *Revista Cubana de química*, 29(2), 303-321. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443551310010.pdf>



HACH. (Marzo, 2019). ¿Qué es la turbidez?. <https://hannainst.ec/blog/analisis-de-agua-boletines/que-es-la-turbidez/>

Barrenechea, (s.f.). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2023). Herramientas para promover manejo eficiente de agua en Comunidades de Santa María de Jesús. [https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-06/ilovepdf\\_merged\\_3.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-06/ilovepdf_merged_3.pdf)

Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., Sandoval, I. (2015). Tratamiento para la Remoción de Metales Pesados comúnmente presentes en agua. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 73-90. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5432290.pdf>

Doménech, J. (2003). Cryptosporidium y Giardia, problemas emergentes en el agua de consumo humano. *Revista Offarm*, 22(11), 112-116. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13055926>

Amarilla, J., Manera, A., Meza, F., Portillo, L., Quiñonez, R., Silva, C., Rolón, C., Mereles, Eva., Sosa, G., Galeano, S., Samudio, L., Giménez, A. (2018). Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de consumo en la zona aledaña al cementerio de Minga Guazú, Paraguay, 2018). [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/12867/24-aguas-amarilla-ariel-une.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12867/24-aguas-amarilla-ariel-une.pdf)

Organización mundial de la salud (OMS). (2023). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Solsona, F. & Méndez, J. (2002). Desinfección del agua. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SOLSONA%20y%20MENDEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SOLSONA%20y%20MENDEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf)

Orellana, J. (2005). Tratamiento de las aguas. [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_06\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf)

Ramírez, F. (2005). Tratamiento de desinfección del agua potable. <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf>

Comisión nacional del agua (CONAGUA). (2019). Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento, desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro23.pdf>

Linde, (2020). Ficha de datos de seguridad de cloro. [https://www.linde-gas.es/es/images/10021781.%20rev%201.1.%20Cloro%202.8\\_tcm316-89363.pdf](https://www.linde-gas.es/es/images/10021781.%20rev%201.1.%20Cloro%202.8_tcm316-89363.pdf)

Hernández, C., González, G., Armendáriz, C., Caballero, J., Ben-Charki, N., Hardisson, A. (2011). Trihalometanos en aguas de consumo humano. *Revista de Toxicología*, 28(2), 109-114. <https://www.redalyc.org/pdf/919/91922431001.pdf>

Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>

Fustamante, N. (2017). Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf)

Howe, K., Hand, D., Crittenden, J., Rhodes, R., Tchobanoglous, G. (2012). Principles of water treatment. <https://www.space-elements.in/wp-content/uploads/2021/12/Principles-of-Water-Treatment.pdf>

Casero, D. (2007). Potabilización del agua. <https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente45469.pdf>

Moreira, G., Pereira, E. & Sánchez, I. (2016). Aplicación de electrólisis con adición de sales para remoción de color en potabilización de agua. *Revista de ingeniería*, 25(43), 47-57. <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413948045004.pdf>

Romero, J. (2009). Calidad del agua. Escuela Colombiana de Ingeniería. Universidad de Colombia. <https://es.scribd.com/document/512873654/Calidad-Del-Agua-Jairo-Romero-Rojas>

Lipps, C., Howland, E., & Baxter, T. (2023). Standard Methods for the examination of water and wastewater (24 ed). Washington [ESTADOS UNIDOS]: APHA.

HACH. (s.f.). Aluminum Method. <https://es.hach.com/espectrofotometro-portatil-dr1900/product-downloads?id=26096931896>

OXIDINE Water Technology, (Octubre, 2022), Que son las cloraminas. <https://oxidine.net/que-son-las-cloraminas/>

Prodetecs. (2023). Aplicaciones de las pastillas de Tricloro de ácido tricloro-isocianúrico. <https://prodeteecs.com/2023/11/21/aplicaciones-de-las-pastillas-de-tricloro-de-acido-tricloro-isocianurico/>

Cidbimena. (2004). Generador de hipoclorito de sodio por equipo CLORID. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Abril2004/pdf/spa/doc14777/doc14777-b.pdf>

COSUDE. (2014). Memoria descriptiva de instalación de un hipoclorador por goteo con flotador, capacitación y funcionamiento. <https://es.scribd.com/document/365422447/01-Memoria-Hipoclorador-Goteo-Flotador>

Norma Oficial Mexicana 127-SSA1. (2021). Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex215630.pdf>

Mexichem. (2010). Hoja de datos de seguridad para materiales peligrosos: Hipoclorito de sodio. <https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Hipoclorito%20de%20sodio%20%28MSDS%29.pdf>

NJHealth. (2010). Hoja informativa sobre sustancias peligrosas: Ácido tricloroisocianúrico. <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1892sp.pdf>

Dideval. (Julio, 2015). Hoja de datos de seguridad: Ácido tricloroisocianúrico. [https://dideval.cl/wp-content/uploads/2016/11/cloro-multifuncional\\_compressed.pdf](https://dideval.cl/wp-content/uploads/2016/11/cloro-multifuncional_compressed.pdf)

Escuela Politécnica Nacional. Escuela de Formación de Tecnólogos. (2021). Procedimiento de análisis In-Situ. Carrera de Tecnología en Agua y Saneamiento Ambiental.

## 6. ANEXOS

### ANEXO I: Certificado de originalidad turnitin



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS  
CAMPUS POLITÉCNICO "ING. JOSÉ RUBÉN ORELLANA"**

#### CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, 05 de febrero de 2024

De mi consideración:

Yo, Santiago Stalin Guerra Salcedo, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado "Optimización del proceso de potabilización de agua en la PTAP "Chinchinloma", Parroquia Cusubamba", componente "Optimización del proceso de filtración y de desinfección" elaborado por la estudiante Jennifer Estefanía Tituaña Checa de la carrera en RRA20 Tecnología Superior en Agua y Saneamiento Ambiental, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito secciones: resumen, abstract, introducción, metodología, discusión y resultados, conclusiones y recomendaciones, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 8%.

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

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

Atentamente,



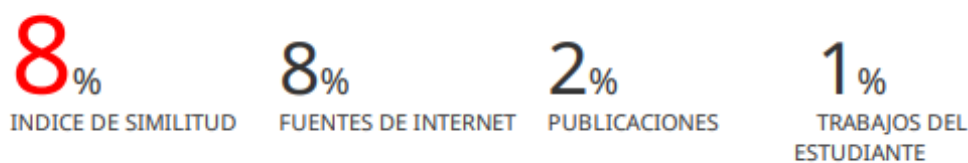
---

**Santiago Guerra Salcedo  
Docente  
ESFOT**

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---



FUENTES PRIMARIAS

---

1	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1%
3	<a href="https://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
4	<a href="https://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE Trabajo del estudiante	<1%
6	<a href="http://www.przetargi.info">www.przetargi.info</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://www.dspace.uce.edu.ec:8080">www.dspace.uce.edu.ec:8080</a> Fuente de Internet	

		<1 %
10	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://ciencia.lasalle.edu.co">ciencia.lasalle.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://diposit.ub.edu">diposit.ub.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://files.conagua.gob.mx">files.conagua.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.uniminuto.edu">www.uniminuto.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://www.aaende.org.ar">www.aaende.org.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://servicio.bc.uc.edu.ve">servicio.bc.uc.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://zaloamati.azc.uam.mx">zaloamati.azc.uam.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

21	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
22	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
23	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.ulead.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
25	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
26	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
27	cdigital.uv.mx Fuente de Internet	<1 %
28	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
29	www.itc.es Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
31	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
32	www.cubasolar.cu	

	Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://www.sdgsfund.org">www.sdgsfund.org</a> Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Catolica de Oriente Trabajo del estudiante	<1 %
35	<a href="http://dspace.unl.edu.ec">dspace.unl.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://news.yahoo.com">news.yahoo.com</a> Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad de Cádiz Trabajo del estudiante	<1 %
38	<a href="http://cimec.org.ar">cimec.org.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://emapaac.gob.ec">emapaac.gob.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://journal.espe.edu.ec">journal.espe.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://redpav-fpolar.info.ve">redpav-fpolar.info.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://fdocuments.mx">fdocuments.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://200.74.144.59/ecosi/hum/cordoba.htm">http://200.74.144.59/ecosi/hum/cordoba.htm</a> Fuente de Internet	<1 %



44	Submitted to ipn Trabajo del estudiante	<1 %
45	repositorio.uisrael.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
46	www.metropol.gov.co Fuente de Internet	<1 %
47	www.revistainterforum.com Fuente de Internet	<1 %
48	C. O. García-Sifuentes, R. Pacheco-Aguilar, S. Valdez-Hurtado, E. Márquez-Rios, M. E. Lugo-Sánchez, J. M. Ezquerra-Brauer. "Impacto del agua de cola de la industria pesquera: tratamientos y usos Impact of stickwater produced by the fishery industry: treatment and uses", CyTA - Journal of Food, 2009 Publicación	<1 %
49	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
50	amexen.org Fuente de Internet	<1 %
51	biblioteca.uniatlantico.edu.co Fuente de Internet	<1 %
52	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
53	kupdf.net	

	Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://rcmarinas.ens.uabc.mx">rcmarinas.ens.uabc.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="http://ri.uacj.mx">ri.uacj.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="http://www.ambiente-ecologico.com">www.ambiente-ecologico.com</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="http://www.ecolatina.com.br">www.ecolatina.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="http://www.iucn.org">www.iucn.org</a> Fuente de Internet	<1 %
59	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 9 (1993)", Brill, 1996 Publicación	<1 %
60	INERCO CONSULTORIA PERU S.A.C.. "ITS del Proyecto Mejora Tecnológica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), a Implementarse en la Planta Dedicada a la Actividad de Producción de Bebidas Alcohólicas-IGA0018511", R.D. N° 00584-2021-PRODUCE/DGAAMI, 2022 Publicación	<1 %
61	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

62	<a href="http://ri-ng.uaq.mx">ri-ng.uaq.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://ri.uaemex.mx">ri.uaemex.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://sinat.semarnat.gob.mx">sinat.semarnat.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://www.aguabolivia.org">www.aguabolivia.org</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://www.provwater.com">www.provwater.com</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
69	<a href="http://www.svendtofte.com">www.svendtofte.com</a> Fuente de Internet	<1 %
70	J & E CONSULTORES GENERALES S.R.L.. "EIA-SD del Proyecto Instalación de la Línea de Transmisión en 60 kV Pongo de Caynarachi - Yurimaguas y Subestaciones-IGA0002612", R.D. N° 196-2017-MEM/DGAAE, 2020 Publicación	<1 %
71	Musa Özcan, Attila Akgül. "Pickling process of capers ( <i>Capparis spp.</i> ) flower buds", <i>Grasas y Aceites</i> , 2009 Publicación	<1 %

72	<a href="http://dev.derechoecuador.com">dev.derechoecuador.com</a> Fuente de Internet	<1 %
73	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
74	<a href="http://rraae.cedia.edu.ec">rraae.cedia.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
75	<a href="http://www.archive.org">www.archive.org</a> Fuente de Internet	<1 %
76	<a href="http://www.smf.org.mx">www.smf.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://www.solociencia.com">www.solociencia.com</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

# ANEXO II: Informe de laboratorio de Giardia Lamblia



## INFORME DE ENSAYO NR.289734

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
Cliente:	TITUAÑA CHECA JENNIFER ESTEFANIA		
Dirección:	Calderón, calle José Miguel Guandera y Bonanza		
Nombre Producto :	AGUA CRUDA		
Fecha de Elaboración:	ND	Fecha de Caducidad:	ND
Lote:	ND	Contenido Declarado:	ND
Material Envase:	FRASCO ESTÉRIL DE PLÁSTICO	Forma de Conservación:	Refrigeración
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Código Laboratorio :	289734-1	Contenido Encontrado:	200.0 Mililitros
Fecha Recepción:	2023/10/23	Fecha Inicio Ensayo:	2023/10/23
Condiciones Ambientales de llegada de la muestra:	19 °C	Muestrero:	Es responsabilidad del cliente y, los resultados aplican a la muestra entregada por el cliente tal como se recibió

ENSAYOS MICROB	MÉTODO	ACREDITACIONES		UNIDAD	RESULTADO	ESPECIFICACIONES SEGUN NORMA INEN 1108:2020 / LÍMITE PERMITIDO
		AZLA	SAE			
GIARDIA LAMBLIA	SE.MI	*	*	N/A	Atsencia	AUSENCIA

NS: No solicita el cliente/ ND: No declara.

\*Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación\*

**OBSERVACIONES:** El producto, en los ensayos Cumple con las especificaciones dadas.

Los resultados expresados arriba tienen validez solo para la muestra analizada en condiciones específicas no siendo extensivo a cualquier lote

El laboratorio no se responsabiliza por la representabilidad de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado

Este informe no será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director Técnico

\*SEIDLABORATORY CIA LTDA no se responsabiliza por la información declarada por el cliente\*

- Tiempo de almacenamiento de informes: Cinco años a partir de la fecha de ingreso de la muestra

Aciertamente.

23/10/31  
FECHA EMISIÓN

Firmado digitalmente por PRDXON  
DAVID BUSTOS CEDENO Fecha y  
hora: 2023-10-31 12:25:55

Muestra 289734-1 de 289734-1

Pg 1 / 1

### Confidencialidad e Integridad

SeidLaboratory Cía. Ltda. asume la responsabilidad legal sobre la gestión de la información obtenida o creada durante la realización de las actividades del laboratorio a partir de las muestras enviadas, información considerada como confidencial y de propiedad del cliente, con excepción de aquella información que el cliente haya puesto al alcance del público o información que se haya acordado previamente entre ambas partes. SeidLaboratory, se compromete a usar dicha información únicamente de la manera y para los propósitos acordados por las partes, en caso de contravenir las partes se someterán al Centro de Mediación de la Cámara de Comercio de Quito.

### Plazo de conservación de las muestras en el laboratorio

Muestras perecibles: 7 días calendario. Muestras no perecibles: 30 días calendario. Si desea repetición de algún parámetro, se debe generar una solicitud en el período estipulado.

Para consultas, quejas o sugerencias, favor comunicarse a los siguientes contactos:

Dirección de Calidad: [directorcalidad@seidlaboratory.com.ec](mailto:directorcalidad@seidlaboratory.com.ec); Gerencia General: [gerenciageneral@seidlaboratory.com.ec](mailto:gerenciageneral@seidlaboratory.com.ec); Servicio al Cliente: [serviciocliente@seidlaboratory.com.ec](mailto:serviciocliente@seidlaboratory.com.ec)

Méjiler Euzoa 501-61 entre Av. del Maestro y Nazareh 023783114 - 023783115 - 0995458911 - 0992758633 Quito, Ecuador

### Cláusula de Confidencialidad

En modificación puntual a todo lo de la presente contrato se el documento se encuentran prohibidos, sanciones las cláusulas aplicables, accionando al Código Q10



## ANEXO III. Hoja de normas de seguridad del Tricloro

HOJA NORMAS DE SEGURIDAD			
1. Información Química y Física			
<b>Nombre del producto:</b>	Ácido tricloroisocianúrico	<b>Solubilidad:</b>	1,2 g/100 mL
<b>Formula molecular:</b>	C <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	<b>Olor:</b>	Cloro
<b>Peso molecular:</b>	232,41 g/mol	<b>Color:</b>	Blanco
<b>N° CAS:</b>	87-90-1	<b>Estado físico:</b>	Sólido, pastillas
<b>% de concentración:</b>	90 %	<b>Peso:</b>	200 g
<b>Densidad:</b>	2,07 g/cm <sup>3</sup>	<b>Punto de inflamabilidad:</b>	225 °C
2. Clasificación y Pictogramas			
<b>Palabra de advertencia:</b> Peligro <b>Clasificación de acuerdo SGA:</b> Puede intensificar un fuego; oxidante. Peligroso en caso de ingestión. Ocasiona irritación en la piel. Lesiones oculares graves. Peligroso si se inhala. Capaz de irritar vías respiratorias.		<b>Pictogramas SGA</b> 	
3. Información de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA)			
Color	Riesgo	Número	Figura NFPA
Azul	A la salud	3	
Rojo	De inflamabilidad	0	
Amarillo	De reactividad	2	
Blanco	Especiales	NA	
4. Riesgos a la salud			
Las afecciones que ocasiona el contacto con la sustancia: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Irritación en las vías respiratorias.</li> <li>- El contacto con la piel causa irritación y enrojecimiento.</li> <li>- Exposición ocular puede causar irritación, quemaduras y lesiones en la córnea.</li> <li>- Perjudicial al ser ingerido, provoca náuseas, vómitos, irritación del sistema digestivo, así como quemaduras y lesiones al estómago.</li> </ul>			
5. Primero Auxilios			
<b>1) Inhalación:</b> Llevar a la persona afectada a un lugar con ventilación de aire fresco, mantenerla en una posición semiincorporada en caso de presentar dificultades respiratorias, proporcionar asistencia respiratoria. Administrar resucitación cardiopulmonar si hay pérdida de conocimiento.			

<p><b>2) Contacto con la piel:</b> Como precaución, enjuague completamente la zona donde se tuvo contacto con el químico y lavar alrededor de 20 minutos. Retirar la vestimenta contaminada, lavar bien dicha ropa antes de volver a usarla. Llamar a un médico en caso de presentar algún síntoma relevante.</p> <p><b>3) Contacto del producto en los ojos:</b> Con el parpado bien abierto lavar completamente el ojo y el parpado al menos por 20 minutos. Es crucial enjuagar en los primeros segundos para mejor efectividad. Se recomienda buscar asesoramiento médico lo más pronto posible, ya que puede provocar daños en algunas partes del ojo especialmente la córnea.</p> <p><b>4) Ingestión:</b> Lavar la boca, evitar inducir el vómito y proporcionar pequeños sorbos de agua, siempre que la persona este consciente. Buscar asistencia médica de manera inmediata.</p>
<p><b>6. Estrategias de prevención y control de incendios</b></p>
<p><b>Agentes apropiados de extinción:</b> Suministrar abundante agua para mantener los contenedores fríos, sin embargo, no debe entrar en contacto directo el producto con el agua. Utilizar extintores de espuma, polvo químico o CO<sub>2</sub>.</p> <p><b>Peligro del producto por la combustión y cambios térmicos:</b> El producto emite gases tóxicos al descomponerse por calentamiento.</p> <p>Al someter la sustancia a altas temperaturas puede explotar. Además, funciona como un potente agente oxidante que produce reacciones agresivas a materiales como combustible y algunos agentes reductores. Presenta reacciones fuertes al amonio y derivados lo que causa un riesgo de incendio y explosión.</p> <p><b>Pautas de extinción:</b> Si se produce un incendio, los contenedores y las instalaciones del producto se deben tener a temperaturas bajas.</p> <p><b>Medidas de seguridad para el personal de emergencia:</b> Emplear un respirador al estar en el incendio en las áreas confinadas. Usar vestimenta especializada para manejar las situaciones relacionadas a incendios.</p>
<p><b>7. Medidas en derrame accidental</b></p>
<p>Las personas encargadas de limpiar el derrame de la sustancia deben estar capacitados y correctamente equipados.</p> <p>Se debe evacuar al personal de las instalaciones y prohibir el ingreso a la zona.</p> <p>Retirar todas las fuentes que puedan generar el incendio.</p> <p>El material que se limpie y recoja se debe colocar en contenedores herméticos y especialmente secos.</p> <p>Ventilar el área del derrame.</p> <p>Se recomienda almacenar como un desecho peligroso, además que no puede ser desechado en el alcantarillado.</p>
<p><b>8. Almacenamiento y manipulación</b></p>
<p><b>Manejo adecuado y seguro:</b></p> <p>Está totalmente prohibido el ingerir alimentos, bebidas y tabaco durante la manipulación del producto. Evitar el contacto directo con la piel, ojos y ropa. Después de manipular el producto se debe lavar bien los brazos y manos.</p> <p>Es recomendable usar guantes. Usar implementación que no acumule cargas electrostáticas.</p> <p><b>Especificaciones de almacenamiento:</b></p>

<p>El producto se debe almacenar en un lugar con corriente de aire natural. Se debe colocar lejos de los productos que sean incompatibles, inflamables. Se debe mantener en un lugar cerrado con ventilación y aire limpio.</p>
<p><b>9. Equipo de protección personal</b></p>
<p><b>Equipo de protección ocular:</b> Usar gafas de cobertura lateral junto con una protección facial, por las salpicaduras que puedan generarse. <b>Protección de vías respiratorias:</b> Usar mascarilla para gases con filtro. <b>Protección del contacto con la piel:</b> En la protección de manos se debe emplear guantes de neopreno o nitrilo. En el caso de la protección del cuerpo se recomienda utilizar overoles, mandil que permita la protección de la piel.</p>
<p><b>10. Estabilidad y reacciones ambientales</b></p>
<p>El producto es estable si se almacena a condiciones normales tanto de reactividad. Al no estar a condiciones normales y se encuentran a temperatura altas se descompone lo que produce gases tóxicos, en especial si reacciona con amoníaco. Para que no ocurran reacciones peligrosas se debe mantener en un lugar donde no haya materiales orgánicos, grasa y aceites, ácidos, sustancias que tengan nitrógeno.</p>
<p><b>11. Datos toxicológicos</b></p>
<p><b>Por inhalación:</b> El inhalar el polvo de la sustancia ocasiona irritación en el sistema respiratorio y a la garganta. Sin embargo, si la inhalación es fuerte y constante, puede causar edemas pulmonares. <b>Daños oculares:</b> Si el producto entra en contacto con los ojos, puede causar quemaduras graves, daños en la córnea y ceguera. <b>Lesiones a la piel:</b> En la piel puede ocasionar quemadura si al entrar en contacto no es retirado inmediatamente. <b>Lesiones por ingestión:</b> El producto es altamente tóxico si se ingiere, lo que produce daños y quemadura en todo el tracto alimentario, mareos y dolores de cabeza.</p>
<p><b>12. Datos eco toxicológicos</b></p>
<p>El producto en el medio ambiente es perjudicial, tiene una movilidad media en el suelo, bajas capacidades acumulativas ya que el ácido cianurito es biodegradable por producción en hidrólisis.</p>
<p><b>13. Disposición final de residuos</b></p>
<p>Los envases contaminados se pueden utilizar para almacenar productos de la misma procedencia. Caso contrario, deberán desecharse adecuadamente rigiéndose en la ley vigente de residuos peligrosos.</p>
<p><b>14. Transporte del producto</b></p>
<p>La etiqueta de transporte está asignada a el ácido tricloroisocianúrico, categorizado como un peligro de oxidación en terrenos terrestres, acuáticos y aéreos. El embalaje se clasifica en tipo 2. Ambientalmente la sustancia se considera como potencial peligroso.</p>
<p><b>15. Otra Información</b></p>
<p>El personal que suministre el producto debe revisar minuciosamente la hoja de seguridad respectiva y comprender los riesgos potenciales asociados.</p>



## ANEXO IV. Hoja de normas de seguridad del hipoclorito de sodio

HOJA NORMAS DE SEGURIDAD			
<b>1. Información Química y Física</b>			
<b>Nombre del producto:</b>	Hipoclorito de sodio	<b>Solubilidad en agua:</b>	293 g/L
<b>Formula molecular:</b>	NaClO	<b>Olor:</b>	Cloro
<b>Peso molecular:</b>	74,44 g/mol	<b>Color:</b>	Amarillo Verdoso
<b>% de concentración:</b>	10 %	<b>Estado físico:</b>	Líquido
<b>Densidad:</b>	1,11 g/cm <sup>3</sup>	<b>Peso:</b>	1 galón
<b>2. Clasificación y Pictogramas</b>			
<b>Palabra de advertencia:</b> Corrosivo		<b>Pictogramas SGA</b>	
<b>Clasificación de acuerdo SGA:</b> Es oxidante. Ocasiona irritación en la piel. Lesiones oculares. Daños graves por ingestión.			
<b>3. Información de la Asociación Nacional de Protección contra del Fuego (NFPA)</b>			
<b>Color</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Número</b>	
Azul	A la salud	2	
Rojo	De inflamabilidad	0	
Amarillo	De reactividad	2	
Blanco	Especiales	OXI	
<b>4. Riesgos a la salud</b>			
Las afecciones que ocasiona el contacto con la sustancia: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Por inhalación resulta ser corrosivo a las membranas mucosas, sensibilidad a los pulmones, provocando tos y problemas respiratorios.</li> <li>- Es altamente corrosivo si se ingiere y afecta a el tracto digestivo.</li> <li>- Exposición ocular puede causar irritación en el tejido del ojo.</li> <li>- Irritación en la piel.</li> </ul>			
<b>5. Primero Auxilios</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1) Inhalación:</b> Llevar a la persona afectada a un lugar con ventilación de aire fresco, inmediatamente buscar ayuda médica.</li> <li><b>2) Contacto con la piel:</b> Se debe lavar el área donde entro en contacto alrededor de 15 minutos. Retirar la vestimenta contaminada. Llamar a un médico en caso de presentar algún síntoma relevante.</li> <li><b>3) Contacto del producto en los ojos:</b> Con el parpado bien abierto lavar completamente el ojo y el parpado al menos por 15 minutos Es crucial enjuagar en los primeros segundos para mejor efectividad. Se recomienda buscar asesoramiento médico lo más pronto posible.</li> </ol>			

<p><b>4) Ingestión:</b> Lavar la boca, evitar inducir el vómito. Buscar asistencia médica de manera inmediata.</p>
<p><b>6. Estrategias de prevención y control de incendios</b></p> <p>No es inflamable, no se considera que sea un líquido combustible. Sin embargo, en un incendio se debe emplear extintores para el material que sea inflamable y se encuentre en el mismo lugar.</p>
<p><b>7. Medidas en derrame accidental</b></p> <p>En caso de que se derrame el producto se debe restringir el paso al personal y ventilar bien el lugar evitando respirar mucho tiempo el vapor. Se debe aplicar material inerte como arena, tierra, concreto espumado, que absorba el producto usando ropa de protección personal.</p> <p>Las fugas se deben controlar inmediatamente, usando equipos de protección.</p> <p>Una vez limpiada el área del derrame se debe colocar sulfito, bisulfito para remover la acción oxidante del hipoclorito residual.</p>
<p><b>8. Almacenamiento y manipulación</b></p> <p>Los recipientes del hipoclorito de sodio deben estar cerrados adecuadamente, en lugares frescos, secos y con buena ventilación. Como contiene cloro se debe evitar la luz directa o que el producto este cerca a fuentes de calor, ya que tiende a evaporarse.</p>
<p><b>9. Equipo de protección personal</b></p> <p><b>Equipo de protección ocular:</b> Usar gafas de cobertura lateral junto con una protección facial, por las salpicaduras.</p> <p><b>Protección de vías respiratorias:</b> Usar mascarilla para gases con filtro.</p> <p><b>Protección del contacto con la piel:</b> En la protección de manos se debe emplear guantes de neopreno o nitrilo. En el caso de la protección del cuerpo se recomienda utilizar overoles, mandil que permita la protección de la piel y botas.</p> <p>Se debe tener una ducha de emergencia y un lavaojos.</p>
<p><b>10. Estabilidad y reactividad</b></p> <p>El producto es muy estable si se almacena en las condiciones mencionadas.</p> <p>Es incompatible con sustancias reductoras, algunos materiales que sean combustibles, orgánicos, metales y ácidos.</p> <p>Al desintegrarse se producen gases peligrosos como cloro y oxido de sodio.</p>
<p><b>11. Datos toxicológicos</b></p> <p><b>Por inhalación:</b> El inhalar el polvo de la sustancia ocasiona irritación en el sistema respiratorio y a la garganta. Sin embargo, si la inhalación es fuerte y constante, puede causar edemas pulmonares.</p> <p><b>Daños oculares:</b> Si el producto entra en contacto con los ojos, puede causar quemaduras graves, daños en la córnea y ceguera.</p> <p><b>Lesiones a la piel:</b> En la piel puede ocasionar quemadura si al entrar en contacto no es retirado inmediatamente.</p> <p><b>Lesiones por ingestión:</b> El producto es altamente toxico si se ingiere, lo que produce daños y quemadura en todo el tracto alimentario, mareos y dolores de cabeza.</p>
<p><b>12. Datos eco toxicológicos</b></p> <p>El producto en el medio ambiente no presenta impacto ambiental evidente, sin embargo, para la flora y fauna si resulta ser peligroso, en especial a la vida marina.</p>

El cloro libre presente en el hipoclorito de sodio en agua que contenga materia orgánica reacciona formando compuestos como los trihalometanos y cloraminas que son las causantes de enfermedades tanto en personas y animales.

**13. Disposición final de residuos**

Los envases contaminados se pueden utilizar para almacenar productos de la misma procedencia. Caso contrario, deberán desecharse adecuadamente rigiéndose en la ley vigente de residuos peligrosos.

**14. Transporte del producto**

El transporte de la sustancia debe tener etiqueta de clase 8 para material corrosivo.

**15. Otra Información**

El personal que suministre el producto debe revisar minuciosamente la hoja de seguridad respectiva y comprender los riesgos potenciales asociados.

**ANEXO V. Determinación del perfil de sólidos**

<p><b>Pesaje de crisoles de sólidos suspendidos totales</b></p>	<p><b>Crisoles en la estufa a 105°C por 48 h.</b></p>
	

**ANEXO VI. Medición de nutrientes**

<p><b>Reactivos para Nitrógeno amoniacal</b></p>	<p><b>Medición de nitrógeno amoniacal mg/L NH3-N</b></p>
--	--



**Reactivos para nitratos**

**Reactivos para Nitritos**



**Reactivos para fosfatos**



**ANEXO VII. Medición de la demanda química de oxígeno**

Vial para DQO de rango bajo	Digestor DRB 200 empleado para DQO
-----------------------------	------------------------------------



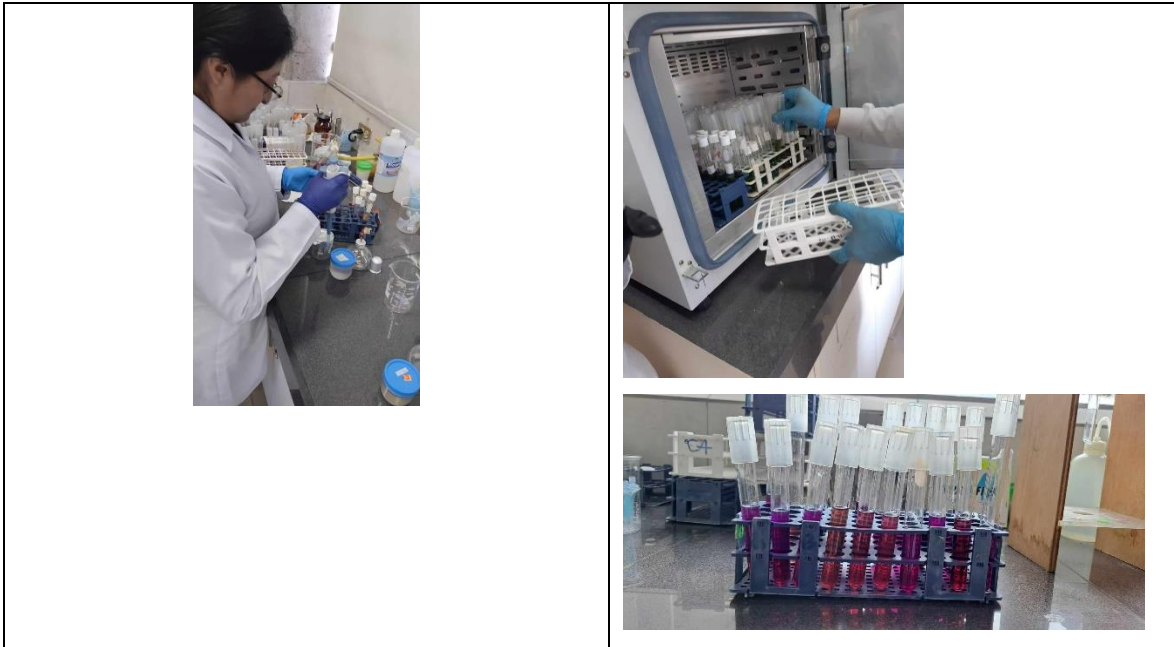
### ANEXO VIII. Medición de parámetros in situ

<p><b>Solución buffer de calibración de pH 4,01 para el multiparámetro HORIBA U-52</b></p>	<p><b>Medición de temperatura, conductividad y pH con el multiparámetro</b></p>

### ANEXO IX. Ensayo de coliformes totales

<p><b>Colocación de muestra en los tubos de caldo lactosado para coliformes totales</b></p>	<p><b>Incubadora a 35° C durante 48 h y resultado del ensayo</b></p>
---	--






## ANEXO X. Medición de cloro total y cloro libre residual

Reactivos para cloro total y cloro libre residual	Colorímetro DR300
	
<p>Medición de cloro total con las pastillas calculadas del trabajo. 18 pastillas</p>	<p>Medición de cloro libre residual en la última casa de la distribución del Sector 3.</p>
	

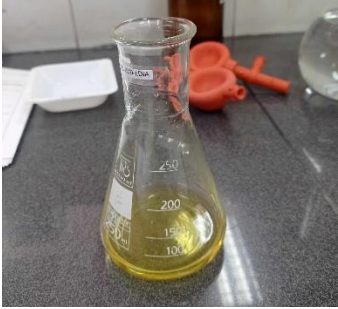

## ANEXO XI. Medición de color aparente y turbiedad

Medición en el espectrofotómetro DR 1900 de color aparente	Medición en el turbidímetro 2100Q de la salida del filtro
	

## ANEXO XII. Medición de metales

Reactivos de manganeso: ácido ascórbico, cianuro alcalino y solución indicador PAN	Reactivo de hierro total FerroVer
	
<p>Reactivos de Aluminio: ácido ascórbico, AluVer 3 y blanqueador 3.</p>	
	

### ANEXO XIII. Valoración del hipoclorito de sodio

Primer cambio de color en la valoración del hipoclorito de sodio	Final de la valoración del hipoclorito de sodio
 A 250 mL Erlenmeyer flask containing a yellowish solution, placed on a laboratory bench. In the background, there are orange gloves and a white tray.	 A 250 mL Erlenmeyer flask containing a clear, colorless solution, placed on a laboratory bench. In the background, there is a beaker and a yellow container.

### ANEXO XIV. Hipoclorito de sodio al 10 %



### ANEXO XV. Pastillas de ácido tricloroisocianúrico





## ANEXO XVI. Trituración de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico



## ANEXO XVII. Precio del hipoclorito de sodio en EQYTA

**E** EQYA QUIMICOS  
para mí ▾

Buenas tardes estimada Jenifer el valor es de 3,47 el galón.

SALUDOS CORDIALES

UN GUSTO PODER AYUDAR

\*\*\*

EQYA Envases, químicos y accesorios  
Dir. av América N17-269 entre Santiago y Asunción  
Telf: 2559306 / 0980307346

## ANEXO XVIII. Precio de las pastillas de ácido tricloroisocianúrico

**AVALCHEM SCC**  
Dir. Matriz: LOS RIOS N4-269 GUAYAS  
Telefono: 2522734 / 2020717 / 0999690149  
Obligado a llevar contabilidad: SI  
Contribuyente Especial No:  
Agente de Retención - Resolución Nro. NAC-DNCRASC20-0000001

RUC: 1792431429001  
Nro: 001 - 002 - 000006038  
**FACTURA**  
Nro. de Autorización  
0210202301179243142900120010020000050380000000113  
Hora y Fecha de autorización: 02/10/2023 / 11:17:37  
Ambiente Autorización: Produccion  
Tipo de Emisión: Normal  
Clave de Acceso  
  
0210202301179243142900120010020000050380000000113

Razón Social / Nombre y Apellidos: JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO CHINCHILCMA  
Nombre Comercial:  
RUC / CI: 1766177550001 Telefono: 0552638188  
Dirección: CHINCHILCMA PRINCIPAL S/BN  
Fecha de Emisión: 02/10/2023 Fecha de Vencimiento: 03/10/2023

Codigo	Descripción	Cant.	Precio	Desc.	IVA	Total
1001	POLICLORUROALUM SOLIDO PURO (MP)	500.00	0.900	0.00	12.00	450.00
1017	PASTILLAS DE CLORO-CHINO	15.00	5.000	0.00	12.00	75.00
1096	FLOCULANTE CATIONICO - RAPEED	10.00	4.500	0.00	12.00	45.00

## ANEXO XIX. Cálculos

### Ejemplo de cálculo de los sólidos totales con la ecuación 1

$$\text{mg sólidos} \frac{\text{totales}}{\text{L}} = \frac{(36,0939 - 36,0881) \times 1000}{0,050 \text{ mL}} = 116 \text{ mg ST/L}$$

### Ejemplo de cálculo de la eficiencia de remoción de fosfatos con la ecuación 2

$$E (\%) = \frac{0,58 - 0,5}{0,58} \times 100 = 13,79 \%$$

### Cálculo de la concentración del tiosulfato de sodio con la ecuación 4

$$C = \frac{1}{9,5 \text{ mL}} = 0,105 \text{ N tiosulfato de sodio}$$

### Cálculo de la valoración del hipoclorito de sodio con la ecuación 5

$$C = \frac{20,1 \text{ mL} \times 0,105 \text{ N} \times 141,8}{25 \text{ mL}} = 11,97 \% \text{ de cloro disponible}$$

### Cálculo de la preparación de la solución madre para la demanda de cloro con el ácido tricloroisocianúrico en polvo al 90%

$$1\text{g} * \frac{35,45 \text{ g} * 3 \text{ Cl}}{232,41 \text{ g } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3} = 0,4576 \text{ g de Cl en } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3$$

$$\frac{0,4576 \text{ g de Cl}}{1 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 457,6 \text{ mg/L}$$

### Ejemplo de cálculo para la dosificación en las jarras con el ácido tricloroisocianúrico. Se comienza con una concentración inicial de 457,6 mg/L para tener una concentración dos de 0,5 mg/L Cl en 1000 mL.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$457,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * V1 = 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1000 \text{ mL}$$

$$V1 = 1,1 \text{ mL se toma de la solución madre}$$

### Cálculo de la preparación de la solución madre para la demanda de cloro con el hipoclorito de sodio al 11,97 %

$$119691,9605 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ NaClO} * \frac{1 \text{ g NaClO}}{1000 \text{ mg NaClO}} * \frac{35,45 \text{ g Cl}}{74,44 \text{ g NaClO}} * \frac{1000 \text{ mg Cl}}{1 \text{ g Cl}} = 57000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Cl}$$

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$57\,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * V1 = 570 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1000 \text{ mL}$$

$$V1 = 10 \text{ mL del NaClO}$$

**Ejemplo de cálculo para la dosificación en las jarras con el hipoclorito de sodio. Se comienza con una concentración inicial de 570 mg/L para tener una concentración dos de 0,5 mg/L Cl en 1000 mL.**

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$570 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * V1 = 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1000 \text{ mL}$$

$$V1 = 0,87 \text{ mL de la solución madre}$$

**Cálculo teórico del cloro total de 10 pastillas de cloro de ácido tricloroisocianúrico de la tabla 16**

$$\frac{3\text{L}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 259200 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$259200 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 9 \text{ días de desgaste} = 2332800 \frac{\text{L}}{9 \text{ días}}$$

$$\frac{10 \text{ pastillas}}{9 \text{ días}} = \frac{10 * 232,41 \text{ g de } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3}{9 \text{ días}} = 2324,1 \text{ g} \frac{\text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3}{9 \text{ días}}$$

$$\frac{2324,1 \frac{\text{g } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3}{9 \text{ días}}}{2332800 \frac{\text{L}}{9 \text{ días}}} = 9,9627 \times 10^{-4} \frac{\text{g } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3}{\text{L}} * \frac{1000 \text{ mg } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3}{1 \text{ g } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3} = 0,996 \text{ mg de } \frac{\text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3}{\text{L}}$$

$$0,996 \text{ mg de } \frac{\text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3}{\text{L}} * \frac{35,45 \text{ g CL} * 3}{232,41 \text{ g } \text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_3} = 0,45 \text{ mg} \frac{\text{Cl}}{\text{L}}$$

$$0,45 \text{ mg} \frac{\text{Cl}}{\text{L}} * 0,9 = 0,41 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de cloro total}$$

**Cálculo para determinar el peso de tricloro en polvo necesario para el hipoclorador por goteo y el costo al mes**

$$\text{peso (g)} = \frac{3 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 7 * 86400 * 1,75}{90 * 10} = 3528 \text{ g}$$

$$3528 \text{ g tricloro} * \frac{30 \text{ días}}{7 \text{ días}} = 15120 \text{ g de tricloro en polvo}$$

$$\frac{15120}{200 \text{ g de cada pastilla tricloro}} = 75,6 \text{ pastillas tricloro}$$

Cada pastilla cuenta 1 USD las 75,6 pastillas de tricloro costaran al mes 75,6 dólares.

#### **Cálculo para determinar el costo de las pastillas de tricloro al mes**

$$20 \text{ pastillas} * \frac{30 \text{ días}}{9 \text{ días}} = 66,67 \text{ pastillas}$$

Cada pastilla cuenta 1 USD las 66,67 pastillas de tricloro costaran al mes 66,67 dólares.

#### **Cálculo para determinar el costo del hipoclorito de sodio al mes**

$$1,754 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 500 \text{ L} = 877 \frac{\text{mg}}{500 \text{ L}}$$

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$57000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * V1 = 877 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 500 \text{ L}$$

$$V1 = 7,7 \text{ L}$$

$$7,7 \text{ L NaClO} * \frac{30 \text{ días}}{7 \text{ días}} = 33 \text{ L al mes de NaClO}$$

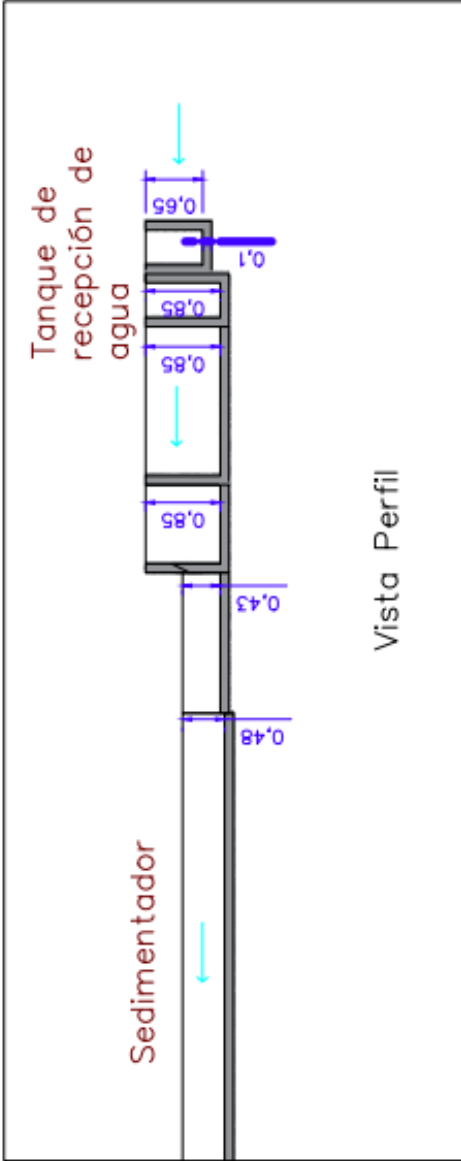
$$33 \text{ L NaClO} * \frac{1 \text{ galón NaClO}}{3,785 \text{ L NaClO}} * \frac{3,47 \text{ USD}}{1 \text{ galón NaClO}} = 33,26 \text{ USD/mes}$$

### **ANEXO XX. Manual de operación de la PTAP de Chinchinloma**

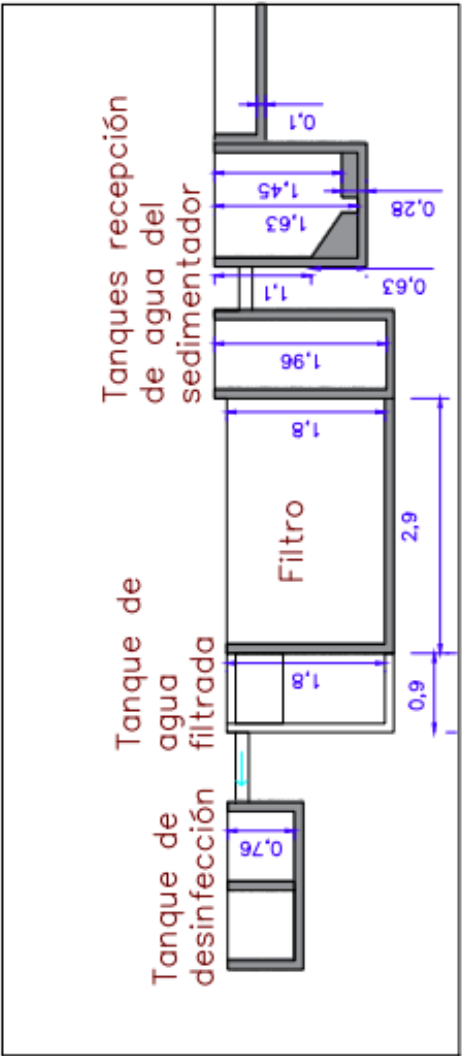
<https://docs.google.com/document/d/1QBQz0cXudZzYFC4vr5D->

[G38oUQCxQhOz/edit?usp=sharing&ouid=115943183220645304132&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/document/d/1QBQz0cXudZzYFC4vr5D-G38oUQCxQhOz/edit?usp=sharing&ouid=115943183220645304132&rtpof=true&sd=true)

### **ANEXO XXI. Vista de perfil del proceso de filtración y desinfección**



Vista Perfil



Ubicación de planta de tratamiento de agua potable de Chinchinloma  
 Coordenadas: 0°02'28"S 78°16'02"W, con una altitud de 2858,88.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento "Chinchinloma"

CONTIENE: Levantamiento de información de los procesos de sedimentación, filtración y desinfección, de la planta de tratamiento de agua potable "Chinchinloma".

ELABORADO: Jennifer Tituaña

REVISADO:

Fecha: 31/1/2023

Escala: 1:50

Lámina No: 1

