



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DEL DESINFECTANTE HIPOCLORITO DE CALCIO  
COMO TRATAMIENTO EN AGUAS RESIDUALES PARA DISMINUIR LA  
CONTAMINACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO "EL ARTEZÓN" DEL  
CANTÓN PÍLLARO**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: CARLOS JOHANN PILCO QUINALUIZA

TUTORA: XIMENA DEL ROCÍO BORJA VELA

Quito - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Carlos Johann Pilco Quinaluiza con documento de identificación N.º 1752063121  
manifiesto que:

Soy el autor responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la  
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total  
o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 24 de febrero del 2023

Atentamente,



---

Carlos Johann Pilco Quinaluiza  
1752063121

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Carlos Johann Pilco Quinaluiza con documento de identificación No. 1752063121, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: “Evaluación del desinfectante hipoclorito de calcio como tratamiento en aguas residuales para disminuir la contaminación en la Planta de Tratamiento "El Artezón" del cantón Píllaro”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de febrero de 2023

Atentamente,



---

Carlos Johann Pilco Quinaluiza  
1752063121

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Ximena del Rocío Borja Vela con documento de identificación N.º 1711223584, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL DESINFECTANTE HIPOCLORITO DE CALCIO COMO TRATAMIENTO EN AGUAS RESIDUALES PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO "EL ARTEZÓN" DEL CANTÓN PÍLLARO**, realizado por Carlos Johann Pilco Quinaluiza con documento de identificación N.º 1752063121, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de febrero de 2023

Atentamente,



Ing. Ximena del Rocío Borja Vela M.Sc.  
1711223584

## **DEDICATORIA**

A mis padres Carlos y Teresita, a mi hermano Henry, a mi hermana Carlina, y a mi familia en general; quienes me acompañaron desde mi infancia, por su apoyo, sus consejos y amor incondicional, alentándome a cumplir mis sueños y a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mis amigos, con quienes tuve una de las mejores épocas de mi vida, por apoyarme en lo que eh necesitado y no dejarme caer aun en los peores momentos.

A mis profesores, ya que en ellos encontré no solo el conocimiento que necesitaba sino también una amistad y una buena relación interpersonal.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por haber sido mi pilar importante en mi vida, a mis hermanos por ser mi fuente de inspiración, por sus consejos y sabiduría.

A mi estimada tutora, Ing. Ximena Borja por sus consejos, sabiduría, conocimiento y paciencia a lo largo del presente trabajo de titulación.

Al Mg. Ab. Francisco Elías Yanchatipán Changoluiza Alcalde del GADM Santiago de Píllaro y a su equipo técnico por la información requerida en la elaboración del presente trabajo de titulación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Línea Base.....	2
1.4.1. Ubicación.....	2
1.4.2. Extensión.....	3
1.4.3. Límites.....	3
1.4.4. Población.....	4
1.4.5. Relieve.....	4
1.4.6. Geomorfología.....	4
1.4.7. Geología.....	4
1.4.8. Uso y Cobertura del Suelo.....	5
1.4.9. Clima.....	6
1.4.10. Educación.....	7
1.4.11. Salud.....	7
1.4.12. Saneamiento.....	8
1.4.13. Principales Actividades Productivas.....	8
1.4.14. Conectividad.....	14
1.4. Objetivos.....	14
1.4.1. Objetivo General.....	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	14
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	16
2.1. Marco Teórico.....	16
1.4.1. Aguas residuales domésticas.....	16
1.4.2. Composición de las aguas residuales.....	16
1.4.3. Caracterización de las aguas residuales.....	17
1.4.4. Tratamiento de aguas residuales.....	17
1.4.5. Clasificación de los sistemas de tratamiento.....	18
1.4.6. Pretratamiento o tratamiento preliminar.....	18
1.4.7. Tratamiento Primario.....	19
1.4.8. Tratamiento Biológico UASB.....	20
1.4.9. Tratamiento Secundario FAFA.....	21
1.4.10. Propósitos del tratamiento.....	21
1.4.11. Cloro y su uso como desinfectante.....	22
1.4.12. Características Fisicoquímicas del cloro.....	22
1.4.13. Problemas del uso de cloro como desinfectante.....	22
1.4.14. Principales derivados del cloro.....	23
1.4.15. Características del hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .....	24
1.4.16. Usos del hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .....	24
1.4.17. Influencia de la concentración de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .....	24

2.2.	Marco Legal.....	25
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
3.1.	Recopilación de Información.....	26
3.2.	Muestreo .....	26
3.3.	Ubicación de los Puntos de Muestreo.....	30
1.4.1.	<i>Consideraciones antes de realizar el muestreo</i> .....	31
1.4.2.	<i>Transporte de las muestras</i> .....	32
1.4.3.	<i>Equipos y Materiales para el Muestreo</i> .....	32
3.4.	Variables Para Evaluar en la Investigación .....	36
3.5.	Diseño Metodológico .....	36
1.4.1.	<i>Cálculo de la dosis óptima de Ca(ClO)<sub>2</sub></i> .....	36
1.4.2.	<i>Determinación de DQO</i> .....	37
1.4.3.	<i>Determinación de DBO<sub>5</sub></i> .....	37
1.4.4.	<i>Determinación de Coliformes fecales</i> .....	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
4.1.	Resultados.....	41
1.4.1.	<i>Muestreo In Situ</i> .....	41
1.4.2.	<i>Resultados Muestras Compuestas</i> .....	43
1.4.3.	<i>Resultados Promediados Muestras Compuestas</i> .....	53
1.4.4.	<i>Porcentaje de Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales</i> .....	54
1.4.5.	<i>Resultados del Análisis Estadístico con el programa InfoStat para coliformes fecales</i> .....	57
4.2.	Discusión .....	58
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
5.1.	Conclusiones.....	62
5.2.	Recomendaciones .....	62
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	64
7.	ANEXOS .....	68



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Uso actual del suelo</i> .....	5
<b>Tabla 2.</b> <i>Cobertura del suelo</i> .....	5
<b>Tabla 3.</b> <i>Principales Establecimientos Educativos del Cantón</i> .....	7
<b>Tabla 4.</b> <i>Centros de Salud presentes en el cantón</i> .....	8
<b>Tabla 5.</b> <i>Servicio de alcantarillado</i> .....	8
<b>Tabla 6.</b> <i>Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción Bovina</i> .....	9
<b>Tabla 7.</b> <i>Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción de Leche</i> .....	9
<b>Tabla 8.</b> <i>Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción Porcina</i> .....	10
<b>Tabla 9.</b> <i>Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción avícola</i> .....	12
<b>Tabla 10.</b> <i>Principales Actividades Productivas del Cantón – Industrias Manufactureras</i> .....	13
<b>Tabla 11.</b> <i>Normativa ambiental y legal sobre Agua Residual en el Ecuador</i> .....	25
<b>Tabla 12.</b> <i>Valor de K según el nivel de confianza</i> .....	28
<b>Tabla 13.</b> <i>Cronograma de muestreo mes de mayo</i> .....	29
<b>Tabla 14.</b> <i>Cronograma de muestreo mes de junio</i> .....	29
<b>Tabla 15.</b> <i>Ubicación de la PTAR “El Artezón”</i> .....	31
<b>Tabla 16.</b> <i>Equipos y Materiales usados en Campo</i> .....	33
<b>Tabla 17.</b> <i>Equipos, materiales, reactivos y métodos que se usaron en el laboratorio para los análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos</i> .....	34
<b>Tabla 18.</b> <i>Resultados In Situ de los muestreos MC1 a MC5</i> .....	41
<b>Tabla 19.</b> <i>Resultados In Situ de los muestreos MC6 a MC10</i> .....	41
<b>Tabla 20.</b> <i>Resultados de la primera muestra compuesta</i> .....	43
<b>Tabla 21.</b> <i>Resultados de la segunda muestra compuesta</i> .....	44
<b>Tabla 22.</b> <i>Resultados de la tercera muestra compuesta</i> .....	44
<b>Tabla 23.</b> <i>Resultados de la cuarta muestra compuesta</i> .....	45
<b>Tabla 24.</b> <i>Resultados de la quinta muestra compuesta</i> .....	46
<b>Tabla 25.</b> <i>Resultados de la sexta muestra compuesta</i> .....	47
<b>Tabla 26.</b> <i>Resultados de la séptima muestra compuesta</i> .....	48
<b>Tabla 27.</b> <i>Resultados de la octava muestra compuesta</i> .....	49
<b>Tabla 28.</b> <i>Resultados de la novena muestra compuesta</i> .....	50
<b>Tabla 29.</b> <i>Resultados de la décima muestra compuesta</i> .....	51
<b>Tabla 30.</b> <i>Resultados promedio análisis MC1 a MC5</i> .....	53
<b>Tabla 31.</b> <i>Resultados promedio análisis MC6 a MC10</i> .....	53
<b>Tabla 32.</b> <i>Resultados más eficientes en base al % Ef. Rem para coliformes fecales en base con referencia a la dosis de Ca(ClO)<sub>2</sub> aplicada en las MC1 a MC10</i> .....	55
<b>Tabla 33.</b> <i>Cuadro de análisis de varianza ANOVA para el indicador Ca(ClO)<sub>2</sub></i> .....	57
<b>Tabla 34.</b> <i>Prueba de Tukey (0,05) para el indicador de remoción de coliformes fecales</i> .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Límites sector El Artezón .....	3
<b>Figura 2.</b> Rejilla o Criba instalada en la PTAR El Artesón.....	18
<b>Figura 3.</b> Desarenador de la PTAR El Artesón .....	19
<b>Figura 4.</b> Reactor biológico UASB .....	20
<b>Figura 5.</b> Tratamiento secundario FAFA .....	21
<b>Figura 6.</b> Ubicación de la PTAR “El Artezón” .....	30
<b>Figura 7.</b> Dosis de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ con relación a la disminución de coliformes fecales .....	58

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> <i>Registro fotográfico – Lugar de muestreo.....</i>	68
<b>Anexo 2.</b> <i>Registro fotográfico – Materiales usados InSitu.....</i>	68
<b>Anexo 3.</b> <i>Registro fotográfico – Análisis de DQO en laboratorio .....</i>	69
<b>Anexo 4.</b> <i>Registro fotográfico – Análisis DBO<sub>5</sub> en laboratorio .....</i>	69
<b>Anexo 5.</b> <i>Registro fotográfico – Análisis coliformes fecales en laboratorio.....</i>	69

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

LMP	Límites máximos permisibles
Ca(ClO) <sub>2</sub>	Hipoclorito de calcio
MC	Muestra Compuesta
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual
GADMSP	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Santiago de Píllaro
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
UASB (siglas en inglés)	Reactor Anaerobio de Fujo Ascendente
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
Cl	Cloro
PVC	Policloruro de vinilo
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
mg	Miligramo
L	Litro
mL	Mililitro
MR	Mid Range
OD	Oxígeno disuelto
%Ef. Rem	Porcentaje de eficiencia de remoción

## RESUMEN

La presente investigación se centra en evaluar la eficiencia del hipoclorito de calcio  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  usado como desinfectante en el tratamiento de aguas residuales a la salida de la PTAR “El Artezón”.

El trabajo realizado fue de tipo experimental, en donde se analizó parámetros físicos, químicos y microbiológicos, estos se realizaron en diez muestras compuestas formadas por aproximadamente 100 muestras simples, durante dos meses de muestreo y dos meses de análisis de laboratorio, se usó la metodología establecida en la NTE INEN 2169:2013, los resultados fueron comparados con los LMP presentes en el Anexo 1, Tabla 9 Limite de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce del (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015).

En base a los resultados de los análisis de laboratorio obtenidos se aplicaron las dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , se observó que los parámetros químicos como son la  $\text{DBO}_5$  y la DQO se encuentran dentro de los LMP establecidos por la normativa ambiental vigente. No obstante, algunos valores de coliformes fecales se encuentran fuera de esta, la variación de estos resultados puede ocurrir debido a factores externos como son las actividades socioeconómicas presentes en los alrededores de la PTAR, ya que hay la presencia de excretas de ganado bovino, porcino y avícola que son arrojados por el sistema de alcantarillado que ingresa al tanque de recepción de la planta.

Finalmente, el proceso de experimentación que se realizó para la determinación de la DQO fue en base a la Standard Methods, para la determinación de la  $\text{DBO}_5$  se utilizó el método Winkler y para la determinación de coliformes fecales se llevó a cabo el método propuesto por Petrifilm 3M, además, se determinó que las mejores dosis fueron de 10,59 mg/L y 15mg/L, que presentó excelentes eficiencias de remoción para coliformes fecales de 91,19% y 92,15%,

respectivamente, por lo que se cumplió el objetivo principal que fue alcanzar una eficiencia de remoción de coliformes fecales a la salida de PTAR.

**Palabras Clave: Hipoclorito de calcio, dosis, coliformes fecales, análisis, normativa, remoción.**

## ABSTRACT

This research is focused on evaluating the efficiency of calcium hypochlorite  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  used as a disinfectant in wastewater treatment at the outlet of the "El Artezón" WWTP.

The work performed was of experimental type, where physical, chemical and microbiological parameters were analyzed, these were performed in ten composite samples formed by approximately 100 simple samples, during two months of sampling and two months of laboratory analysis, the methodology established in NTE INEN 2169:2013 was used, the results were compared with the LMPs present in Anexo 1, Tabla 9 Limite de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce of the (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015).

Based on the results of the laboratory analysis obtained the doses of  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  were applied, it was observed that the chemical parameters such as BOD5 and COD are within the MPLs established by current environmental regulations. However, some values of fecal coliforms are outside this, the variation of these results may occur due to external factors such as the socioeconomic activities present in the surroundings of the WWTP, since there is the presence of excreta from cattle, pigs and poultry that are thrown by the sewage system that enters the reception tank of the plant.

Finally, the experimental process carried out for the determination of COD was based on the Standard Methods, for the determination of BOD5 the Winkler method was used and for the determination of fecal coliforms the method proposed by Petrifilm 3M was used, It was determined that the best doses were 10.59 mg/L and 15 mg/L, presenting excellent removal efficiencies for fecal coliforms of 91.19% and 92.15%, respectively, so the main objective was met, which was to achieve fecal coliform removal efficiency at the WWTP outlet.

**Keys words: Calcium hypochlorite, dosage, fecal coliforms, analysis, regulation, removal.**

# 1.INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

La acción desinfectante del hipoclorito de calcio hace que sea uno de los agentes químicos más utilizados en el proceso de saneamiento de las aguas residuales es por ello que (Moreno, 2017) realizó la investigación “Tratamiento de Aguas Residuales en el Tanque Imhoff para Disminuir la Contaminación en la Quebrada Sicacate del Distrito de Montero”, en el que se buscó reducir la contaminación mediante el tratamiento de aguas residuales donde se utilizó bacterias degradantes y concentraciones de hipoclorito de calcio que fueron evaluados para reducir la carga microbiológica.

La presencia de materia orgánica, componentes microbiológicos, entre otros, son factores a considerar en el tratamiento de aguas residuales, ya que determinan problemas de salud pública, (Cáceres et al., 2021) realizaron la investigación “Eficiencia de *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes* e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú”, en el que se comparó la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, aplicó un análisis de varianza ANOVA y prueba Fisher para determinar cuál metodología se ajusta a la reducción de la contaminación de las aguas residuales en el que se obtuvo una reducción efectiva del 100.00% de coliformes termotolerantes (coliformes fecales) con ayuda de *E. foetida* + *E. crassipes* + hipoclorito de calcio como agente desinfectante en el que existió diferencias significativas entre los sistemas de depuración propuestos.

Dentro del proceso del tratamiento de aguas residuales domésticas existen varias fases que ayudan a la reducción de los agentes contaminantes presentes en el agua, una de estas fases es conocida como tratamiento secundario o tratamiento biológico, (Marín, 2019) realizó la investigación “Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del



municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante órgano-mineral”, en el que para conseguir la reducción de materia orgánica en el agua residual, fue tratado con hipoclorito de calcio en la fase del tratamiento biológico.

## **1.2. Justificación**

Un adecuado control y manejo operacional de las aguas residuales en una PTAR son aspectos importantes para evitar daños a la salud pública y conservar el medio ambiente, esta investigación propone evaluar la eficiencia del hipoclorito de calcio en la reducción de los coliformes fecales en la PTAR del sector “El Artezón”.

Este estudio ayudará directamente a los pobladores aledaños a la PTAR “El Artezón” para así garantizar su salud, el buen vivir y la armonía con la naturaleza.

El GAD Municipal Santiago de Píllaro fue el principal colaborador en la obtención de la información que se necesitó para la realización de este estudio a través del PDOT.

Con este estudio se espera ayudar en futuras investigaciones relacionadas con el tratamiento de aguas residuales y como motivación a buscar soluciones en favor de la población, su salud y el medio ambiente.

## **1.3. Línea Base**

### **1.4.1. Ubicación**

La PTAR dentro del territorio ecuatoriano se ubica en la provincia de Tungurahua, cantón Santiago de Píllaro, en el sector “El Artezón” aproximadamente a unos 4 Km de la cabecera cantonal, se encuentra a una altura de 2676 msnm y posee una temperatura que oscila entre los 10 a 15°C (GADMSP, 2020).

### 1.4.2. Extensión

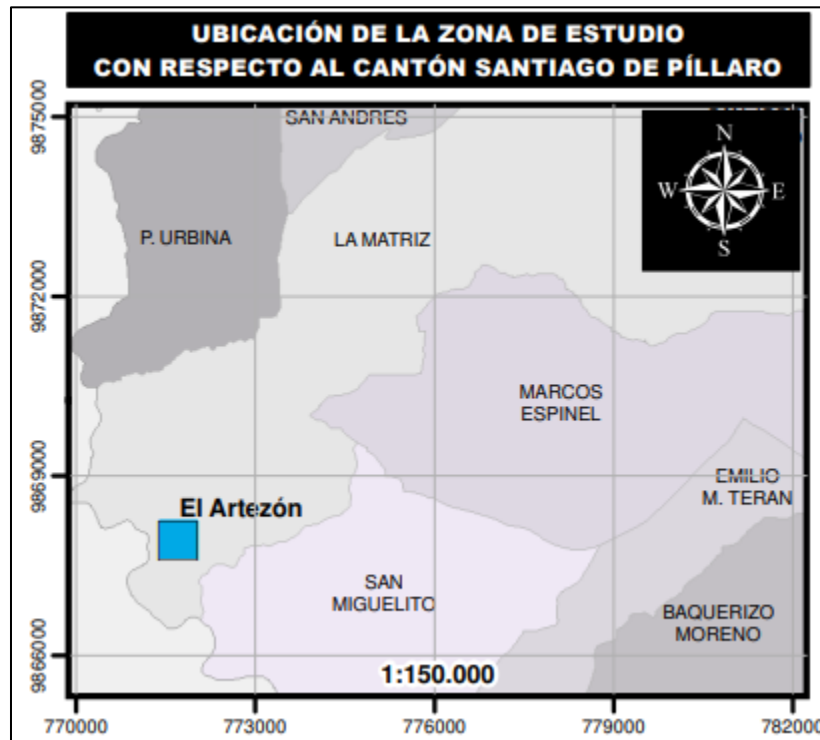
Su cabecera cantonal posee una extensión de 49,35 Km<sup>2</sup> aproximadamente (GADMSP, 2020).

### 1.4.3. Límites

- **Norte:** Parroquia Presidente Urbina
- **Sur:** Parroquia San Miguelito
- **Este:** Cantón Ambato
- **Oeste:** Cabecera cantonal Píllaro

### Figura 1

*Límites sector El Artezón*



Elaborado por: El autor con información proporcionada por (GADMSP, 2020).

**Nota:** El recuadro azul, representa a la PTAR El Artezón, lugar en el que se desarrolló el trabajo de titulación.

#### **1.4.4.Población**

De acuerdo a (S.B.A., 2018) la población en el año 2011 se estimaba en 6293 habitantes, se realizó una proyección con una tasa de crecimiento del 1% según (SENAGUA, 2010) para el año 2022 y se obtuvo un resultado de 7048 habitantes, la infraestructura se diseñó para un tiempo de vida útil de 25 años de la PTAR.

#### **1.4.5.Relieve**

Debido a la interacción de factores endógenos como el movimiento de las placas tectónicas y de factores exógenos como la lluvia, viento y la acción erosiva, se presenta una evolución en su geomorfología, esta puede llegar afectar los recursos naturales (GADMSP, 2020).

#### **1.4.6.Geomorfología**

El cantón Santiago de Píllaro posee una variación altitudinal que va desde los 2240 a 4320 msnm, que aumenta conforme se avanza hacia el este, este proceso se debe a la presencia de rocas aborregadas, valles, superficie volcánica ondulada, afloramientos rocosos, depresión pantanosa, entre otros (GADMSP, 2020).

#### **1.4.7.Geología**

Se encuentra ubicado en el centro de la Cordillera de los Andes, en el sector oriental del Valle Interandino y está formado por ocho depósitos (aluviales, coluviales, coluvio-aluviales, ladera, fluvio lacustres, fluvio-glaciares, glaciares y superficiales) y cuatro formaciones

morfológicas (Cangahua, Cuyuga-Grupo Llanganates, Latacunga y Pisayambo). (GADMSP, 2020).

#### 1.4.8. Uso y Cobertura del Suelo

##### 1.3.8.1. Uso actual del suelo

**Tabla 1**

*Uso actual del suelo*

<b>Uso de suelo</b>	<b>Superficie (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Área poblada</b>	529,58	1,13
<b>Bosque nativo</b>	47,10	0,10
<b>Cuerpo de agua</b>	127,36	0,27
<b>Cultivo</b>	941,42	2,00
<b>Erial</b>	94,95	0,20
<b>Infraestructura antrópica</b>	55,48	0,12
<b>Mosaico agropecuario</b>	2029,67	4,32
<b>Paramo</b>	1147,36	2,44
<b>Pastizal</b>	12406,93	26,40
<b>Plantación forestal</b>	752,93	1,60
<b>Vegetación arbustiva</b>	1806,57	3,84
<b>Vegetación herbácea</b>	2172,38	4,62
<b>Área natural</b>	24889,52	52,96

Elaborado por: El Autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020).

**Nota:** Se presenta el Uso de Suelo

##### 1.3.8.2. Cobertura del suelo

**Tabla 2**

*Cobertura del suelo*

<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Cobertura Vegetal (año/Ha)</b>			
	2008	2014	2016	2018
<b>Zona Antrópica</b>	241,56	293,33	317,15	326,69
<b>Bosque Nativo</b>	1713,15	1697,48	1666,13	1785,43
<b>Cuerpo de Agua</b>	667,27	633,10	593,42	586,64
<b>Mosaico Agropecuario</b>	18491,97	16332,05	16264,16	16268,36
<b>Páramo</b>	23493,56	25385,68	25423,34	28027,25
<b>Plantación Forestal</b>	169,47	234,09	339,03	
<b>Vegetación Arbustiva y Herbácea</b>	2224,39	2384,18	2351,98	28027,25
<b>Otras Tierras</b>		41,35	46,05	6,91

Elaborado por: El autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020).

**Nota:** Se presenta la cobertura vegetal de suelo desde el año 2008 al 2018

## **1.4.9.Clima**

### **1.3.9.1.Temperatura**

La temperatura que se presenta en el cantón aumenta conforme se avanza desde el noreste al suroeste, se registró entre los años 2010 al 2020 una temperatura mínima de 7,98°C y una temperatura máxima de 18,6°C, la temperatura promedio del cantón es de 14,3°C (GADMSP, 2020).

### **1.3.9.2.Precipitación**

Se consideró la información presentada por el INAMHI, la red meteorológica de Tungurahua y la estación Pisayambo la precipitación máxima registrada fue de 471 mm en el año 2019. En el cantón se presenta grandes precipitaciones desde marzo hasta julio, el segundo periodo de precipitaciones se da entre octubre y diciembre y la temporada más baja ocurre en enero, febrero, agosto y septiembre (GADMSP, 2020).

### **1.3.9.3.Humedad Relativa**

Con los datos proporcionados por la Red hidrometeorológica de Tungurahua y la estación meteorológica Píllaro se presentó una humedad relativa promedio de 85,92% entre los años 2015 – 2019 (GADMSP, 2020).

#### 1.3.9.4.Viento y características

Entre el año 2015 y 2019 la velocidad promedio del viento fue de 9,12 km/h, en el cantón se puede clasificar al viento entre aire ligero y brisa suave de acuerdo con la escala de Beaufort (GADMSP, 2020).

#### 1.3.9.5.Evaporación y características

Según el INAMHI la evapotranspiración del cantón Píllaro varía entre 1100 y 1300 mm.

#### 1.4.10.Educación

**Tabla 3**

*Principales Establecimientos Educativos del Cantón*

PARROQUIA	PLANTEL	OFERTA EDUCATIVA	SOSTENIMIENTO
Píllaro	Albert Einstein	Inicial a 10mo EGB	Particular
	Jorge Álvarez	Inicial a 3ro B. Ciencias y BT	Fiscal
	Los Andes	7mo de EGB a 3ro B. Ciencias y BT	Fiscal

Elaborado por: El Autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020)

**Nota:** Listado de escuelas y colegios presentes en los alrededores a la PTAR “El Artezón”.

La presencia de unidades educativas cercanas a la zona de estudio puede influir en el tipo de agua o contaminantes que ingresan a la PTAR, así como las actividades socioeconómicas aledañas.

#### 1.4.11.Salud

**Tabla 4***Centros de Salud presentes en el cantón*

<b>PARROQUIA</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO DE ESTABLECIMIENTO</b>
<b>Ciudad Nueva</b>	Centro de Salud de Píllaro	Centro de salud tipo A
	Hospital básico de Píllaro	Hospital básico
<b>Píllaro</b>	GADM Santiago de Píllaro	Puesto de salud
<b>Píllaro (Urbano)</b>	Centro de Salud A - Píllaro	Centro de salud tipo A

Elaborado por: El Autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020)

**Nota:** Presentación de los centros de salud a los que acude la población del sector “El Artezón”.

#### 1.4.12.Saneamiento

**Tabla 5***Servicio de alcantarillado*

<b>Tipo</b>	<b>Tipo de servicio higiénico en hogares</b>					
	Urbana	Porcentaje (%)	Rural	Porcentaje (%)	Total	Porcentaje (%)
<b>Red Pública</b>	7.053	100,00	2.849	32,66	9.902	62,77
<b>Pozo Séptico</b>	0	0,00	3.635	41,68	3.635	23,04
<b>Pozo Ciego</b>	0	0,00	1.449	16,61	1.449	9,19
<b>No Tiene</b>	0	0,00	789	9,05	789	5,00
<b>Total</b>	7.053	100,00	8.722	100,00	15.775	100,00

Elaborado por: El Autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020).

**Nota:** Representación del servicio de alcantarillado urbano y rural presentes en el cantón, se tiene que en el sector rural hay un déficit en su cobertura.

#### 1.4.13.Principales Actividades Productivas

El cantón Santiago de Píllaro se caracteriza principalmente por el desarrollo económico, familiar y cultural, por lo que recurren a actividades socioeconómicas en pro de la mejora del cantón en las que se encuentran principalmente: la producción pecuaria, producción de leche,

producción porcina, producción avícola, así como de la actividad agrícola, manufactura y artesanías.

**Tabla 6**

*Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción Bovina*

<b>Principales Actividades Productivas del Cantón</b>						
<b>Producción Bovina, 2015 - 2019 Santiago de Píllaro</b>						
<b>Categoría</b>	2015	2016	2017	2018	2019	Proporción (%)
<b>Vacas</b>	17.370	17.795	17.906	18.218	19,098	83,5
<b>Vaonas</b>	7.607	8.303	8.387	8.418	8.797	
<b>Terteras</b>	4.954	4.637	4.336	4.505	4.993	
<b>Toros</b>	1.423	1.490	1.333	1.298	1.611	16,5
<b>Toretas</b>	1.752	1.793	1.939	2.116	2.433	
<b>Terteros</b>	2.216	2.246	2.019	2.101	2.444	
<b>Total</b>	35.322	36.264	35.920	36.656	39.376	100,00
<b>Tasa de Variación</b>		2,7%	-0,9%	2,0%	7,4%	

Elaborado por: El autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020).

**Nota:** En el cantón se posee un registro de las cabezas de ganado en el que se estima que hay alrededor de 37.376 cabezas en el año 2019 de las que el 83,5% son vacas, vaonas y terteras, mientras que el 16,5% son toros, toretas y terteros, donde se demostró que las vacas son el sustento productivo de la localidad.

**Tabla 7**

*Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción de Leche*

La producción de leche es una de las actividades económicas de mayor demanda y de la que mayores ingresos presenta, no solo por la comercialización de la leche cruda sino también por sus derivados y su conexión con la mayor parte de las provincias de la Sierra, así como de la Costa.



<b>Principales Actividades Productivas del Cantón</b>							
<b>Producción de leche - Santiago de Píllaro</b>							
<b>Clasificación</b>	<b>Unidad</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Alimentación al balde</b>	Litro/día	8.124	9.427	3.472	8.685	9.248	3,00
<b>Consumo en la UPA</b>	Litro/día	17.972	17.965	17.601	19.213	20.459	6,60
<b>Otros</b>	Litro/día	-	51	792	-	-	0,00
<b>Procesada de la UPA</b>	Litro/día	1.110	76	981	1.186	1.263	0,40
<b>Ventas</b>	Litro/día	246.260	258.812	220.511	263.271	280.346	90,10
<b>Producción de leche</b>	Litro/día	273.466	286.332	243.357	292.356	311.317	100,00
<b>Tasa de variación</b>	Porcentaje		4,70%	-14,1	22,50%	6,90%	
<b>Vacas ordeñadas</b>	Animales	14.862	15.230	13.014	15.387	16.130	84,50

Elaborado por: El autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020).

**Nota:** El comportamiento de producción de leche indica una tendencia de variación anual positiva de 22,50% y 6,90%. Es decir, que en los últimos años la producción de leche ha aumentado en relación con años anteriores.

### **Tabla 8**

*Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción Porcina*

**Principales Actividades Productivas del Cantón**

**Producción Porcina, 2019 - Santiago de Píllaro**

<b>Parroquia</b>	<b>Cerda levante (31 - 250 días de edad)</b>	<b>Cerda madre (&gt;251 días de edad)</b>	<b>Cerdo levante (31-250 días de edad)</b>	<b>Verraco (&gt;251 días de edad)</b>	<b>Total</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Baquerizo Moreno</b>	6	1	4		11	0,00
<b>Ciudad Nueva</b>	360	42	359	5	766	1,70
<b>Emilio María Terán (Rumipamba)</b>	537	92	491	9	1.129	2,50
<b>Marcos Espinel (Chacata)</b>	297	22	242	5	655	1,30
<b>Píllaro</b>	2.461	202	2.417	33	5.113	11,50
<b>Presidente Urbina (Chagrapamba)</b>	642	50	653	11	1.356	3,10
<b>San Andrés</b>	13.699	1.088	13.609	223	28.619	64,60
<b>San José de Poaló</b>	267	26	291	10	594	1,30
<b>San Miguelito</b>	2.733	484	2.953	27	6.197	14,00
<b>Total</b>	21.002	2.007	21.019	323	44.351	100,00

Elaborado por: El autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020)

**Nota:** Clasificación por edades de la producción de ganado porcino por parroquia que ayuda identificar la población y la proveniencia, se tiene que el lugar con mayor población es San Andrés con un 64,60% de producción en el cantón.

**Tabla 9**

*Principales Actividades Productivas del Cantón – Producción avícola*

<b>Principales Actividades Productivas del Cantón</b>						
<b>Actividad y capacidad de granja avícola</b>						
<b>Parroquia</b>	Actividad de la Granja	Tipo Ave Corral	Línea Genética	Capacidad Instalada	Capacidad de Almacenamiento	Estado
<b>Píllaro</b>	Producción de huevos	Ponedoras	LOHMAN N	15.000,00	10.000,00	Activa
<b>Píllaro</b>	Producción de carne	Pollos de engorde	COBB	14.000,00	7.000,00	Activa

Elaborado por: El autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020)

**Nota:** Registro avícola presente en el cantón, que se desarrolla en varias localidades cercanas a la zona de estudio, misma que puede afectar y alterar la calidad del agua por los desechos arrojados por el sistema de alcantarillado que conectan directamente con la PTAR.

**Tabla 10***Principales Actividades Productivas del Cantón – Industrias Manufactureras*

<b>Industrias Manufactureras CIU</b>	<b>N° Industrias</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Elaboración de productos alimenticios</b>	6	3
<b>Fabricación de productos textiles</b>	42	18
<b>Fabricación de prendas de vestir</b>	28	12
<b>Fabricación de productos en base al cuero y productos conexos</b>	49	21
<b>Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales transables</b>	18	8
<b>Fabricación de explosivos, juegos pirotécnicos sustancias y productos químicos (perfumes)</b>	14	6
<b>Fabricación de productos de caucho y plástico</b>	2	1
<b>Fabricación de otros productos minerales (bloqueras)</b>	19	8
<b>Fabricación de metales comunes</b>	6	3
<b>Fabricación de productos elaborados del metal, excepto maquinaria y equipo</b>	25	11
<b>Fabricación de maquinaria y equipo</b>	4	2
<b>Fabricación de equipos automotores, remolques y semiremolques</b>	4	2
<b>Fabricación de muebles</b>	7	3
<b>Otras industrias manufactureras</b>	14	6
<b>Total, general</b>	238	100

Elaborado por: El autor con información proporcionada del (GADMSP, 2020).

**Nota:** Clasificación de las industrias manufactureras del cantón del cantón, en las que existen 238 industrias manufactureras, mismas que apoyan con la economía no solo familiar sino también con la del cantón.

#### **1.4.14. Conectividad**

Al encontrarse ubicada en el centro del país, Píllaro se conecta principalmente con Riobamba, Latacunga y Salcedo a través de la E35 conocido como La Troncal de la Sierra, mientras que por la E30 se conecta con el Oriente pasando por Pelileo, Baños, Puyo siendo los cantones con mayor relación socioeconómica, comercio y turismo intercantonales (GADMSP, 2020).

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar la efectividad del hipoclorito de calcio mediante la variación y optimización de dosis de concentración de cloro para la reducción de la concentración de coliformes fecales de las aguas residuales a la salida de la planta de tratamiento “El Artezón”.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las condiciones y características actuales del agua residual a la salida de la planta de tratamiento, mediante análisis de laboratorio en referencia a la norma ecuatoriana NTE INEN 2169-2013 Agua, Calidad del Agua, Muestreo, Manejo y Conservación de Muestras, Acuerdo Ministerial No. 097-A “Anexo 1, Tabla 9 Limite de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce”, para la identificación del comportamiento operacional y calidad del agua al momento de la descarga.
- Comparar la eficiencia de las diferentes dosis de solución de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , por medio de pruebas de tratabilidad e imitó las condiciones operacionales de la planta, para usarlo como recomendación en la mejora del sistema de tratamiento como medio de desinfección.

- Describir la zona de influencia de actividades que afectan directamente a la PTAR, mediante el PDOT, para la identificación del impacto socioeconómico operacional de la planta de tratamiento.

## 2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1.Marco Teórico

#### 1.4.1. Aguas residuales domésticas

“Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (OEFA, 2014). En el caso de “El Artezón” fue diseñado para tratar aguas residuales domésticas. Esta información se corroboró en el documento **“Descarga de Alcantarillado, sector Playa Grande El Artezón y Planta de Tratamiento”**; donde menciona lo siguiente *“(…) para el mejoramiento de la calidad de vida en la zona urbana (periférica) del Cantón Píllaro; se plantea cubrir el área de aportación de caudales provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas en el sector sur de la ciudad”, (Sector Playa Grande – El Artezón)”*. (S.B.A., 2018)

Por la información antes indicada se concluyó que el agua residual que ingresa es de tipo doméstico.

#### 1.4.2.Composición de las aguas residuales

Según (Rojas, 2002):

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas.

En general el estado de las aguas residuales que desembocan en la PTAR afecta en cierto nivel al resultado del tratamiento preliminar que esta realiza, puesto que su estado influye en que en las siguientes fases de tratamiento se reduzca la carga de materia orgánica presente en el agua.

### **1.4.3. Caracterización de las aguas residuales**

Para la caracterización de las aguas residuales hay que tener en consideración que esta instalación no cuenta con una unidad de desinfección por lo que el muestreo se realizó a la salida de la PTAR, se procedió con la toma de muestras del efluente, las técnicas de análisis se describen a continuación:

Para la medición cuantitativa de los parámetros físicos presentes en el agua tales como pH, temperatura y conductividad eléctrica In situ se usó un instrumento denominado pHmetro.

Para los parámetros químicos, en el caso de la DQO se usó la guía de Standard Methods y para la DBO<sub>5</sub> se usó el método Winkler .

Para el parámetro microbiológico coliformes fecales, se usó el método empleado por Petrifilm 3M.

### **1.4.4. Tratamiento de aguas residuales**

Las aguas que contienen los residuos de la actividad humana pueden clasificarse según su composición y origen, para lograr un tratamiento integral se recurre a procesos físicos, químicos y biológicos en una secuencia de etapas. (Peña et al., 2001).

El tipo de tratamiento utilizado en “El Artezón” se reduce a procesos: físicos y biológicos en su diseño. Como ayuda adicional en mejorar la calidad del agua previo a la descarga, se presentó una alternativa eficiente como lo es la incorporación de una unidad de desinfección que trabaje con



Ca(ClO)<sub>2</sub> mediante dosificaciones que puede apoyar en la reducción de los contaminantes presentes en el agua.

#### **1.4.5. Clasificación de los sistemas de tratamiento**

Para lograr una descarga efectiva es necesario que pase por una serie de procesos que dependen del tipo de PTAR, así como de la calidad de agua del efluente y afluente que deben cumplir con los LMP y se clasifican en:

- ✓ Tratamiento Preliminar
- ✓ Tratamiento Primario
- ✓ Tratamiento Secundario
- ✓ Tratamiento Terciario o avanzado
- ✓ Desinfección
- ✓ Disposición de lodos (Rojas, 2002)

Los grados de tratamiento presentados anteriormente ayudó en comprender como es el funcionamiento, propósito y operación de una PTAR de carácter tipo doméstico, a continuación, se presenta el proceso de tratamiento que se realiza en la PTAR “El Artezón”.

#### **1.4.6. Pretratamiento o tratamiento preliminar**

La rejilla, se ubica como unidad de pretratamiento, previo a las unidades de descontaminación primarias y secundarias. Retiene materiales gruesos, que llegan en el afluente.

#### **Figura 2**

*Rejilla o Criba instalada en la PTAR El Artesón*



Elaborado por: El autor con información proporcionada de (S.B.A., 2018).

**Nota:** Se presenta la rejilla o criba que es utilizada en la PTAR como proceso de pretratamiento o tratamiento preliminar.

#### **1.4.7. Tratamiento Primario**

Desarenador: La planta de tratamiento consta de dos unidades físicas de desarenadores, donde, albergan material sedimentable; están dispuestos en paralelo por fines de limpieza, y se ubican después de la unidad de aforo, canaleta Parshall.

#### **Figura 3**

*Desarenador de la PTAR El Artesón*



Elaborado por: El autor con información proporcionada de (S.B.A., 2018)

**Nota:** Se presenta el desarenador que se utiliza como tratamiento primario.

#### **1.4.8. Tratamiento Biológico UASB**

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente en manto de lodos (UASB): Comprende cámaras de decantación y digestión superpuestas con flujo ascendente, se presenta una estratigrafía de los sólidos con más concentración en la parte inferior (lecho de lodos), mezcla completa entre lodo, líquido y gas sobre el lecho.

Existe en la parte superior un sedimentador en el que el lodo recircula a la cámara de digestión en el que provoca una mejor homogenización de las bacterias anaerobias que produce una mezcla uniforme.

#### **Figura 4**

*Reactor biológico UASB*



Elaborado por: El autor con información proporcionada de (S.B.A., 2018).

**Nota:** Se presenta el sistema de tratamiento biológico UASB que se utiliza en la PTAR.

### **1.4.9. Tratamiento Secundario FAFA**

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA): En la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas residuales, se evidencia tres (3) filtros anaerobios de flujo ascendente, dispuestos en paralelo.

#### **Figura 5**

*Tratamiento secundario FAFA*



Elaborado por: El autor con información proporcionada de (S.B.A., 2018)

**Nota:** Se presenta el tratamiento secundario conformado por tres Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) que operan en la PTAR.

### **1.4.10. Propósitos del tratamiento**

El objetivo principal del tratamiento es reducir el nivel de contaminantes presentes en el agua, por ello (Collazos, 2008) dice que “ dependen del destino final y pueden ser, básicamente para:

- ✓ Separar o remover del vertimiento los constituyentes indeseables.
- ✓ Modificar las propiedades fisicoquímicas o biológicas del residuo con el fin de alcanzar niveles compatibles con los requerimientos de la descarga”.

El propósito de tratamiento en este caso de estudio fue reducir el nivel de coliformes fecales presentes en el agua con la ayuda de hipoclorito de calcio y que el resultado de este proceso represente y respete a los objetivos y parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente.

#### **1.4.11. Cloro y su uso como desinfectante**

“Entre los procesos de desinfección que pueden realizarse está primordialmente la cloración, incluidos sus derivados el dióxido de cloro, los hipocloritos y procedimientos como el de la cloraminación”. (Reyes, 2018)

Este es uno de los procesos de desinfección más usados a nivel general, por lo cual se optó por utilizar la cloración como método de tratamiento en este trabajo experimental.

#### **1.4.12. Características Físicoquímicas del cloro**

El cloro es un gas amarillo verdoso, altamente tóxico, de olor penetrante y es más pesado que el aire, por lo que se acumula a nivel del suelo. Está formado por moléculas diatómicas, su fórmula empírica  $\text{Cl}_2$ . (González, 2016)

Conocer las condiciones del agua con la que trabaja la planta, así como su proceso de tratamiento, ayudó a considerar las posibles problemáticas que pueda o no presentar el cloro durante el proceso de desinfección en caso de que se considere incorporar una unidad de desinfección con  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  como tratamiento final previo a la descarga.

#### **1.4.13. Problemas del uso de cloro como desinfectante**

El uso del cloro a nivel general es muy cuestionado en su uso como desinfectante debido a sus características Físico-Químicas que deben ser controladas con mucha seguridad, además que se da la formación de cloro residual en el agua, por ello (González, 2016) dice que “ el cloro es usado como proceso de desinfección de agua”

A pesar de que el cloro sea utilizado para otros fines, en este caso será utilizado como desinfectante en el agua residual.

En lo que concuerda (Ramírez, 2005) “la desinfección del agua, y más concretamente la cloración, está siendo objeto de polémica en los últimos años como consecuencia, principalmente, de los subproductos de la desinfección, que llega a cuestionarse la necesidad de la propia desinfección en muchos casos”.

El problema del cloro como desinfectante en el agua por la posibilidad de que quede remanentes como es el cloro residual, dependen de la concentración y la dosis que se aplique.

#### **1.4.14.Principales derivados del cloro**

El cloro a pesar de encontrarse como cloro molecular  $Cl_2$ , con ayuda de reacciones químicas en combinación con otros compuestos surgen varios derivados del mismo, (González, 2016) dice que “las producciones más frecuentes se presentan a continuación:

- ✓Hipoclorito de calcio
- ✓Hipoclorito de Sodio
- ✓Cloruros o policloruros metálicos y no metálicos
- ✓Cloro metano (cloruro de metilo)
- ✓Diclorometano
- ✓Cloruro de calcio”

Dentro de estos principales derivados del cloro se tiene el hipoclorito de calcio, que debido a su eficiencia en remoción de agentes patógenos se optó por usar en este trabajo experimental.

#### **1.4.15. Características del hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$**

Es ampliamente utilizado en tratamiento de aguas por su alta eficacia contra bacterias, algas, moho, hongos y microorganismos peligrosos para la salud humana. (Couthiño, 2016) citado en (González, 2016).

La finalidad a usar este proceso como desinfectante es reducir los agentes contaminantes presentes en el agua y a su vez reducir la posibilidad de contraer enfermedades derivadas del consumo o uso, con el fin de precautelar el cuidado y salud de la ciudadanía.

#### **1.4.16. Usos del hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$**

El hipoclorito de calcio tiene amplios usos como desinfectante y sanitizante: potabilización de agua, tratamiento de aguas residuales, plantas industriales que tratan aguas de desechos, sanitización de verduras y frutas, sanitización de plantas elaboradoras de alimentos, restaurantes, hospitales, clínicas, colegios. (González, 2016)

Se puede observar que el hipoclorito de calcio tiene una gran variedad de usos, lo importante en este caso es en el tratamiento de aguas residuales, su fin principal ayudar a reducir el nivel en la concentración de DBO5, DQO y coliformes fecales que estén presentes en el agua.

#### **1.4.17. Influencia de la concentración de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$**

La concentración de hipoclorito de calcio a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de remoción para el proceso en mención puesto que este es un agente oxidante. (Flores & Jhostin, 2019)

## 2.2.Marco Legal

**Tabla 11**

*Normativa ambiental y legal sobre Agua Residual en el Ecuador*

<b>NORMATIVA</b>	<b>ARTÍCULO</b>
Constitución de la República del Ecuador, (2018)	14, 264, 318, 411, 412
Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización, (2010)	55, 136, 137
Código Orgánico del Ambiente, (2017)	165, 181, 196
Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua	18, 37, 38, 57, 80, 163
Norma Técnica Ecuatoriana INEN, Acuerdo Ministerial 061, Acuerdo Ministerial 097-A y Acuerdo Ministerial 083-B	

Elaborado por: El autor.

**Nota:** En la tabla 11 se presenta la Normativa Ambiental Vigente indicando la importancia de las aguas residuales.



### **3.MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1.Recopilación de Información**

La información recopilada para este trabajo de investigación tuvo como base documentos proporcionados por el GADM de Santiago de Píllaro, este conocimiento sirvió tanto en el trabajo de campo como en la información bibliográfica, además se utilizó trabajos de investigación relacionados con el tema de estudio.

#### **3.2.Muestreo**

Para la toma de muestras de agua residual, se lo hizo como lo sugiere (Ramos et al., 2018) “se realizó el muestreo de tipo compuesto y de manera manual según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013”, en este caso, el muestreo del agua residual se tomó a la salida de la PTAR, una vez que concluye el proceso de tratamiento establecido por la municipalidad, en pro de mejorar la calidad del agua, se propone la incorporación de una unidad de desinfección, aquella debe ir ubicada después de finalizar el tratamiento biológico, ya que de incorporarla antes, la carga de cloro perjudicaría a las bacterias anaeróbicas provoca su inhibición y muerte, el funcionamiento de la unidad de desinfección se lo realizará a través de dosificaciones de hipoclorito de calcio que ayudará a reducir los niveles de contaminación, tanto en los parámetros químicos (DQO y DBO<sub>5</sub>) como en el parámetro microbiológico (coliformes fecales), es así como se dio inicio con la toma de muestras Insitu a la salida (efluente) de la PTAR y se realizó de la siguiente manera:

- Se recolectó el agua residual en botellas plásticas de 1L, primero se lavó las botellas “contaminándolas” con el agua, esto se realizó por 3 veces.
- Con ayuda de una botella de 650 mL se tomó la muestra de agua de la tubería, que se presenta en el Anexo 1, posteriormente se vertió en un vaso de precipitación la cantidad

de 250 mL en intervalos de 15 minutos durante 1 hora en total hasta completar la botella principal de 1 L.

- El tiempo de recolección se ejecutó de la siguiente manera: la primera muestra se tomó en la mañana desde las 7:00 am a 8:00 am, la segunda al mediodía desde las 12:00 pm a 13:00 pm, la tercera muestra en la tarde desde las 17:00 a 18:00 pm para cada periodo de tiempo se tomó en intervalos de 15 minutos, al finalizar el día se obtuvo una muestra compuesta de 4L

### 3.2.1. Número de muestras

Para calcular el número de muestras que se realizó se hizo de acuerdo con la Norma INEN 2226 (2013) “Agua, Calidad del Agua. Diseño de los programas de muestreo”, valor que fue empleado para la recolección de las muestras:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2pq}}$$

Donde:

N= tamaño de la población (8071 Hab)

z= Nivel de confianza 95%, que se encuentra en la Tabla 12

p y q= Probabilidad, valor estándar de 50%

e= error de la muestra 10%

En este caso se aplicó la ecuación estadística de poblaciones finitas, en el que el tamaño de muestra es la población del sector El Artezón que fue de 8071 habitantes proyectados al año 2036, valor que corresponde al tiempo de vida útil de este proyecto, el nivel de confianza escogido fue

del 95% para obtener valores de muestra representativas, se utilizó el valor estándar del 50% para los valores de p y q y finalmente un error de muestra del 10%.

**Tabla 12**

*Valor de K según el nivel de confianza*

<b>Nivel de Confianza (%)</b>	<b>99</b>	<b>98</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>68</b>	<b>50</b>
<b>K</b>	2,58	2,33	1,96	1,64	1,28	1,00	0,67

Fuente: Norma INEN 2226:2013

Elaborado por: El Autor

$$n = \frac{8071}{1 + \frac{0,1^2(8071 - 1)}{1,96^2(0,5)(0,5)}}$$

$$n = 94,9105$$

**Nota:** Debido al alto número de muestras simples a realizar se optó por redondear a 100 y formar muestras compuestas con un valor de 10 en total, esto sirvió para mayor facilidad de recolección y transporte, así como en la eficiencia de resultados.

En el trabajo de campo se realizó la toma de muestras obtenidas en la PTAR en el horario que se dijo previamente.

**Tabla 13**

*Cronograma de muestreo mes de mayo*

Mes de mayo	Hora	Cantidad total por día
<b>08/05/2022 al 12/05/2022</b>	7:00 a 8:00	4L
	12:00 a 13:00	
	17:00 a 18:00	
<b>19/05/2022 al 23/05/2022</b>	7:00 a 8:00	4L
	12:00 a 13:00	
	17:00 a 18:00	

Elaborado por: El autor

**Tabla 14**

*Cronograma de muestreo mes de junio*

Mes de junio	Hora	Cantidad total por día
<b>16/06/2022 al 20/06/2022</b>	7:00 a 8:00	4L
	12:00 a 13:00	
	17:00 a 18:00	
<b>21/06/2022 al 25/06/2022</b>	7:00 a 8:00	4L
	12:00 a 13:00	
	17:00 a 18:00	

Elaborado por: El Autor

## •Muestras Compuestas

Para la elaboración de las muestras compuestas se realizó de la siguiente manera:

✓Al final del día se tomó un total de 10 muestras simples durante los periodos de tiempo presentados anteriormente, estas 10 muestras simples se mezclaron y se formó así las muestras compuestas las cuales estuvieron constituidas por un volumen de 4L.

✓Para probar la capacidad de remoción del  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  se varió en diferentes concentraciones que se describen a continuación: 1L para el tratamiento testigo (sin dosis), 1L para la dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  de 10,59 mg/L, 1L para la dosis de 15mg/L y 1L de 8mg/L. Estas dosis se tomaron según lo sugiere (Romero, 2000) en el que las dosis de cloro para desinfección normal de agua residual doméstica se encuentran entre 6 a 15 mg/L para agua residual no tratada y entre 3 a 15 mg/L para agua residual tomada después del efluente del filtro percolador.

✓Con cada muestra compuesta se determinó la DQO, DBO y coliformes fecales.

### **3.3.Ubicación de los Puntos de Muestreo**

El presente trabajo de investigación se realizó en la PTAR del Sector el Artezón, barrio Jesús del Gran Poder, cantón Píllaro, en donde se recogieron las muestras de aguas residuales tratadas.

#### ***Figura 6***

*Ubicación de la PTAR “El Artezón”*



Fuente: Ortofoto proporcionado por el GADM Santiago de Píllaro

**Tabla 15**

*Ubicación de la PTAR “El Artezón”*

<b>LOCALIZACIÓN:</b>	<b>PROVINCIA:</b> Tungurahua	<b>CANTÓN:</b> Santiago de Píllaro
	<b>PARROQUIA:</b> La Matriz	<b>SECTOR:</b> El Artezón
Coordenadas del proyecto:		
<b>PUNTO</b>	<b>X [m]</b>	<b>Y[m]</b>
<b>P1</b>	771697	9867935
<b>P2</b>	771702	9867903
<b>P3</b>	771745	9867907
<b>P4</b>	771740	9867940
<b>PROMOTOR:</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Santiago de Píllaro	
<b>IMPLANTACIÓN DE PTAR:</b>	1280,71 [m <sup>2</sup> ], aproximadamente.	
<b>INICIO DE OPERACIÓN:</b>	2016	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN:</b> 6 años
<b>VIDA ÚTIL:</b>	20 años, aproximadamente.	

Fuente: Información proporcionada por el GADM Santiago de Píllaro

Elaborado por: El Autor

#### 1.4.1. Consideraciones antes de realizar el muestreo

- ✓Uso obligatorio del equipo de protección personal (mascarilla, guantes, entre otros.)
- ✓Envases de plástico de preferencia nuevos
- ✓Equipo correctamente calibrado
- ✓Rotular correctamente los envases (número de muestra, lugar, fuente de recolección, ubicación, fecha y hora)

#### **1.4.2. Transporte de las muestras**

Para evitar la contaminación de las muestras se las trasladaron dentro de una caja de poliuretano con la ayuda de bolsas de hielo para mantener las condiciones del agua durante el transporte desde la PTAR hasta los laboratorios para su posterior análisis.

#### **1.4.3. Equipos y Materiales para el Muestreo**

**Tabla 16***Equipos y Materiales usados en Campo*

<b>Condición</b>	<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Recolección de muestras	Botellas de 3L	10
	Botella de 650mL	2
Equipos de protección personal	Mascarilla	1 caja
	Guantes de nitrilo	1 caja
Cadena de custodia	Cajas de poliuretano	1
	Hielo	6 fundas
	Marcador indeleble	1
	Registro de toma de muestras	1
Equipos para análisis In situ	GPS	1
	pH metro	1

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Lista de los equipos y materiales usados en el muestreo.



### **3.4.Materiales y Métodos**

#### **Tabla 17**

*Equipos, materiales, reactivos y métodos que se usaron en el laboratorio para los análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.*

Parámetro	Método	Equipos	Materiales	Reactivos
<b>Parámetros Físicos</b>				
<b>Conductividad Eléctrica</b>	SM. 2510-B	pH metro, marca: HANNA	Vaso de precipitación de 150 mL	Muestra de agua
	Método Convencional			Agua destilada
<b>pH</b>	SM. 4500 H+A y 4500 H+B	pH metro, marca: HANNA	Vaso de precipitación de 150 mL	Muestra de agua
	Método Convencional			Agua destilada
<b>Temperatura</b>	SM. 2550-B	pH metro marca: HANNA	Vaso de precipitación de 150 mL	Muestra de agua
	Método Convencional			Agua destilada
<b>Parámetros Químicos</b>				
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Método Winkler	Oxímetro marca: Mettler Toledo	Imán	Muestra de agua
			Sistema de aireación	Agua destilada
			Frascos Winkler de 300 mL	Solución reguladora de fosfato pH 7.2
			Vasos de precipitación de 1000 mL, 400 mL, 150 mL	Cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> )
			Agitador magnético	Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )
		Probeta graduada de 10 mL	Sulfato de magnesio (MgSO <sub>4</sub> )	
<b>DQO</b>	SM. 5220-C y SM. 5220-D	Digestor marca: HATCH	Viales para DQO MR	Muestra de agua
		Espectrofotómetro marca: HANNA	Gradilla de enfriamiento	Agua destilada
			Jeringuilla de 1mL	
			Balanza	
<b>Parámetros Microbiológicos</b>				
<b>Coliformes Fecales</b>	SM. 9222-D Pptrifilm 3M	Ptrifilm 3M	Micropipeta	Muestra de agua
			Balanza	Agua destilada
		Vaso de precipitación de 400 mL		

### 3.4. Variables Para Evaluar en la Investigación

- ✓ Variable Independiente: Dosis de hipoclorito de calcio
- ✓ Variables Dependientes: DBO, DQO, Coliformes fecales

### 3.5. Diseño Metodológico

#### 1.4.1. Cálculo de la dosis óptima de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

➤ Para el cálculo de la dosis óptima de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  se lo realizó en base a (Cáceres et al., 2021) quien sometió a un proceso de cloración en el que adicionó una dosis de cloro (cloro activo) de 3,68 mg/L.

➤ Con este valor a través de estequiometría se calculó la cantidad de mg/L de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  que se utilizó, la expresión es la siguiente:  $3,68 \frac{\text{mg Cl}_2}{\text{L}} \times \frac{143 \text{ mg Ca}(\text{ClO})_2}{71 \text{ mg Cl}_2} = 7,41 \frac{\text{mg Ca}(\text{ClO})_2}{\text{L}}$

➤ Para realizar el proceso anteriormente descrito, se hizo uso de las masas molares de cada compuesto, para así pasar de una cantidad preestablecida de dosis de  $\text{Cl}_2$  a una dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .

➤ Además, se debe tomar en cuenta el porcentaje de pureza del  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , que fue del 70% y junto con el anterior valor calculado, se obtiene la dosis recomendada, de la siguiente manera:

$$\text{Dosis óptima} = 7,41 \frac{\text{mg Ca}(\text{ClO})_2}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ mg Ca}(\text{ClO})_2}{0,7}$$

$$\text{Dosis óptima} = 10,59 \frac{\text{mg Ca}(\text{ClO})_2}{\text{L}}$$

➤ La cantidad de dosis óptima para este caso de estudio fue de 10,59 mg  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ /L de agua residual.

### 1.4.2.Determinación de DQO

Para la determinación y análisis de la DQO se realizó de la siguiente manera:

- Las muestras compuestas se pasaron a vasos de precipitación de 1000 mL, se usó este volumen para cada tratamiento (dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) que se realizó.
- Los 1000 mL de la MC sirvieron para determinar los valores de dosis a aplicar.
- Se peso en la balanza las cantidades de 8, 10,59 y 15 mg de hipoclorito de calcio (tratamientos) y se adicionaron en cada vaso de precipitación, mezcló durante 30 minutos hasta que se disolvió completamente. Además de incluir el tratamiento denominado testigo, la cual estuvo sin ninguna dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .
- Se programa el digestor a  $150^\circ\text{C}$  a 2 horas
- Para la preparación del blanco y las muestras de los viales de DQO MR, se lo hizo adicionando 2mL de agua destilada y 2mL de muestra, en total se obtuvieron 4 viales (1 blanco y los 3 tratamientos), se agitó varias veces para que se homogenice completamente.
- Se llevo a digestión durante el tiempo y temperatura programados.
- Se retiraron los viales del digestor y se los dejó enfriar por 30 minutos a temperatura ambiente en la gradilla.
- Finalmente se leyó en el espectrofotómetro HANNA el valor de DQO

### 1.4.3.Determinación de DBO<sub>5</sub>

- Para este análisis se utilizó el método Winkler, que consiste en realizar el cálculo de un factor de dilución o de la cantidad de volumen de alícuota a utilizarse, en este caso se lo realizó con el cálculo de factor de dilución de la siguiente manera:

$$fd = \frac{\text{Vol AR (mL)}}{\text{Vol Winkler (mL)}}$$

Donde:

Fd= factor de dilución en base a (IDEAM, 2017)

Vol AR= Volumen de agua residual a utilizarse en dilución (3mL)

Vol Winkler= Volumen del frasco Winkler (300mL)

$$fd = \frac{3 \text{ mL}}{300 \text{ mL}}$$

$$fd = \frac{1}{100}$$

➤Para la preparación de agua de dilución se utilizó una solución reguladora de fosfato de pH 7.2, y soluciones de (FeCl<sub>3</sub>), (CaCl<sub>2</sub>) y (MgSO<sub>4</sub>) preparadas según (APHA, 2005), después se agregó 1 mL de cada una de estas por cada litro de agua de dilución a usarse, finalmente se oxigenan por una hora sobre una plancha de agitación y en la solución de coloca un agitador magnético.

➤Se adicionó agua de dilución hasta la mitad de los frascos Winkler, posteriormente con ayuda de una pipeta se añadió 3 mL de AR y se midió el oxígeno disuelto.

➤Una vez se obtuvo el valor de oxígeno disuelto, se llenó el frasco Winkler hasta el tope, se cerró para evitar que se formen burbujas en el interior.

➤Dejar los frascos en la incubadora durante 5 días a 20°C.

➤Finalmente, pasado los 5 días, se retiró los frascos de la incubadora, se tomó el valor del oxígeno disuelto final y se realizó los cálculos de la siguiente manera:

$$DBO_{5(mg/L)} = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{fd}$$

Siendo:

DBO<sub>5</sub>= La cantidad de materia orgánica consumida en los 5 días en (mg/L).

OD<sub>inicial</sub>= La cantidad de oxígeno disuelto inicial al momento de la incubación.

OD<sub>final</sub>= La cantidad de oxígeno disuelto después de los 5 días de incubación.

fd= factor de dilución utilizado en la prueba

#### **1.4.4.Determinación de Coliformes fecales**

➤ Para la determinación de coliformes fecales se hizo uso de las placas Ptrifilm 3M para recuento de coliformes, estas placas contienen los nutrientes Violeta Rojo Bilis (VRB) modificado, un agente gelificante soluble en agua fría y un indicador de tetrazolio que facilita la enumeración de colonias.

➤ Se realizó este procedimiento para imitar a un tanque de desinfección que contiene una cierta dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  previamente configurado en el que se tiene un tiempo de reacción de aproximadamente 30 minutos previo a su descarga.

➤ Se pesó en la balanza las cantidades de 8, 10,59 y 15 mg de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , se adicionó en cada vaso de precipitación, y se mezcló durante 30 minutos. Además de incluir la muestra denominada testigo, misma que va sin ninguna dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .

➤ Se procedió a usar una placa Ptrifilm 3M por cada tratamiento presentado anteriormente, este procedimiento da la facilidad en la evaluación y determinación del número de colonias (NMP) de coliformes fecales cuyo procedimiento fue el siguiente.

➤ Con la ayuda de una micropipeta se tomó la cantidad de 1000  $\mu\text{L}$  para empezar con el proceso de inoculación, para ello se colocó la placa en una superficie plana y lo más cercano a un mechero Bunsen para mantener un estado de esterilización óptima, después se levantó la capa superior de la placa y de forma perpendicular se colocó los 1000  $\mu\text{l}$  en el centro de la capa inferior donde se encuentran los nutrientes VRB, se bajó la capa superior con cuidado para evitar formar burbujas hasta que la muestra cubra totalmente la parte inferior de la placa.

➤ Para el proceso de incubación se lo dejó en la estufa durante 24 horas a 37°C.

➤ Finalmente, para el recuento del número de colonias formadas se puede realizar de dos formas; la primera, es contar una por una los números de colonias formadas en toda la placa

y la segunda; es contar el número de colonias formadas en una cuadrícula de toda la placa y multiplicarlo por 20. Para este caso se realizó el conteo por la segunda forma, por facilidad y eficiencia en la obtención de los resultados.

## 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.Resultados

#### 1.4.1.Muestreo In Situ

**Tabla 18**

*Resultados In Situ de los muestreos MC1 a MC5*

MUESTREO IN SITU						
PARÁMETRO	UNIDADE S	MC1	MC 2	MC 3	MC 4	MC 5
<b>pH</b>	Unidades de pH	6,85	6,62	6,92	7,02	7,50
<b>Temperatura</b>	°C	17	17,2	17,1	17,5	17,2
<b>Conductividad eléctrica</b>	μS/cm	0,42	0,40	0,40	0,44	0,40

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la medición en campo de parámetros físicos. Se puede identificar que se obtienen valores cercanos entre las diferentes muestras compuestas MC1 a MC5 realizados Insitu.

**Tabla 19**

*Resultados In Situ de los muestreos MC6 a MC10*

MUESTREO IN SITU						
PARÁMETRO	UNIDADES	MC6	MC7	MC8	MC9	MC10
<b>pH</b>	Unidades de pH	6,96	7,12	7,34	7,45	6,67
<b>Temperatura</b>	°C	17,4	17,3	17,5	17,8	18
<b>Conductividad eléctrica</b>	μS/cm	0,48	0,42	0,45	0,45	0,40

Elaborado por: El Autor



**Nota:** Representación de los resultados de la medición en campo de parámetros físicos. Se puede identificar que se obtienen valores cercanos entre las diferentes muestras compuestas MC6 a MC10 realizados Insitu.

## 1.4.2.Resultados Muestras Compuestas

### 4.1.2.1.Resultados Primera Muestra Compuesta

**Tabla 20**

*Resultados de la primera muestra compuesta*

Aplicación de Ca(ClO) <sub>2</sub> MC1												
PARÁMETRO	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	245	234	236	203	213	216	198	191	202	181	177	169
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	120	117	118	100	106	108	95	94	94	90	90	84
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	22204	22180	22166	10640	10536	10015	2694	2318	2084	1978	1926	1890

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la primera muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

### 4.1.2.2.Resultados Segunda Muestra Compuesta

**Tabla 21**

*Resultados de la segunda muestra compuesta*

<b>Aplicación de Ca(ClO)<sub>2</sub> MC2</b>												
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Dosis de Ca(ClO)<sub>2</sub></b>											
	<b>T<sub>1</sub> Testigo</b>			<b>T<sub>2</sub>(8 mg/L)</b>			<b>T<sub>3</sub>(10,59 mg/L)</b>			<b>T<sub>4</sub> (15 mg/L)</b>		
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
<b>DQO (mg/L)</b>	209	217	232	171	170	168	176	176	161	166	164	164
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	102	108	116	84	85	84	88	88	80	82	82	81
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	21297	21276	21270	9843	9302	9072	2168	2114	2038	2125	2098	2054

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la segunda muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

**4.1.2.3.Resultados Tercera Muestra Compuesta**

**Tabla 22**

*Resultados de la tercera muestra compuesta*

Aplicación de Ca(ClO) <sub>2</sub> MC3												
PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	240	242	240	206	204	200	192	189	188	176	172	170
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	125	118	222	109	108	99	93	95	95	90	86	85
<b>COLIFORMES FECALES (NMP(100mL))</b>	24256	24198	24174	10766	10370	10072	2690	2204	2020	1990	1922	1898

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la tercera muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

#### 4.1.2.4.Resultados Cuarta Muestra Compuesta

##### Tabla 23

*Resultados de la cuarta muestra compuesta*

**Aplicación de Ca(ClO)<sub>2</sub> MC4**

PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	238	221	213	210	207	201	204	192	180	195	193	188
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	120	115	105	108	105	100	104	98	92	99	96	94
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	19220	19176	19122	9033	9004	8720	1992	1980	1960	2242	2818	2068

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la cuarta muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

**4.1.2.5.Resultados Quinta Muestra Compuesta**

**Tabla 24**

*Resultados de la quinta muestra compuesta*

**Aplicación de Ca(ClO)<sub>2</sub> MC5**

PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	242	238	230	206	200	197	201	195	193	186	180	178
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	125	120	117	110	102	98	105	98	92	96	94	90
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	22264	22210	22188	10019	9854	9328	2170	2142	2106	2114	2078	2004

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la quinta muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

**4.1.2.6.Resultados Sexta Muestra Compuesta**

**Tabla 25**

*Resultados de la sexta muestra compuesta*

**Aplicación de Ca(ClO)<sub>2</sub> MC6**

PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	331	331	292	232	282	284	209	185	162	270	267	259
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	180	174	156	131	108	95	102	93	81	135	133	133
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	21410	21352	21302	9870	9338	8794	2288	2220	2154	2202	2188	2160

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la sexta muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

#### 4.1.2.7.Resultados Séptima Muestra Compuesta

##### Tabla 26

*Resultados de la séptima muestra compuesta*

**Aplicación de Ca(ClO)<sub>2</sub> MC7**

PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	253	248	240	225	220	213	197	185	163	200	188	170
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	128	124	120	110	110	103	98	95	84	102	94	87
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	20128	20056	19812	11024	10638	10100	1950	1914	1898	1974	1936	1900

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la séptima muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

**4.1.2.8.Resultados Octava Muestra Compuesta**

**Tabla 27**

*Resultados de la octava muestra compuesta*



Aplicación de Ca(ClO) <sub>2</sub> MC8												
PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	232	230	230	213	216	214	188	182	179	184	180	180
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	126	125	121	115	112	109	101	95	90	96	95	92
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	18354	18110	17764	10298	10044	9788	2232	2186	2080	2198	2126	2090

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la octava muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

#### 4.1.2.9.Resultados Novena Muestra Compuesta

**Tabla 28**

*Resultados de la novena muestra compuesta*

**Aplicación de Ca(ClO)<sub>2</sub> MC9**

PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	190	187	185	178	175	172	174	173	170	173	171	175
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	98	95	95	90	89	86	88	86	82	87	85	83
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/10mL)</b>	16634	16202	16076	7088	6830	6214	1524	1484	1416	1506	1466	1432

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la novena muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

**4.1.2.10.Resultados Décima Muestra Compuesta**

**Tabla 29**

*Resultados de la décima muestra compuesta*

**Aplicación de Ca(ClO)<sub>2</sub> MC10**

PARÁMETRO	Dosis de Ca(ClO) <sub>2</sub>											
	T <sub>1</sub> Testigo			T <sub>2</sub> (8 mg/L)			T <sub>3</sub> (10,59 mg/L)			T <sub>4</sub> (15 mg/L)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>DQO (mg/L)</b>	169	165	160	149	134	141	149	133	122	153	146	133
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	86	82	80	77	75	72	72	69	65	70	70	68
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	13672	13624	13580	6152	6040	5616	1532	1500	1464	1544	1502	1472

Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de los resultados de la décima muestra compuesta del análisis de la DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales realizados en el laboratorio.

La parte sombreada de color amarillo indica el mejor resultado, el cual se acerca a los LMP presentados en la normativa ambiental vigente.

### 1.4.3.Resultados Promediados Muestras Compuestas

**Tabla 30**

*Resultados promedio análisis MC1 a MC5*

PARÁMETRO	PROMEDIO				
	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
<b>DQO (mg/L)</b>	175,67	171,00	172,67	192,00	181,33
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	88	85,33	87,00	98,00	93,33
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	1931,33	2106,67	1936,67	1977,33	2065,33

Elaborado por: El Autor

**Nota:** La Tabla 33 representa los valores promediados del mejor tratamiento con dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ . Se puede observar que solo en la MC1, MC3 y MC4 los valores de coliformes fecales están dentro de los LMP. Mientras que en la MC2 y MC5, aunque se encuentran relativamente cerca de los valores permitidos no se podrían contemplar como un proceso de desinfección completamente eficiente, por otro lado, los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> de la MC1 a la MC5 están dentro de los LMP.

**Tabla 31**

*Resultados promedio análisis MC6 a MC10*

PARÁMETRO	PROMEDIO				
	MC6	MC7	MC8	MC9	MC10
<b>DQO (mg/L)</b>	185,33	181,67	183	172,33	134,67
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	92,00	92,33	95,33	85,33	68,67
<b>COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)</b>	2220,67	1920,67	2166	1474,67	1498,67

Elaborado por: El Autor

**Nota:** La Tabla 34 representa los valores promediados del mejor tratamiento con dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ . Se puede observar que solo en la MC7, MC9 y MC10 los valores de coliformes fecales están dentro de los LMP. Mientras que en la MC6 y MC8, aunque se encuentran relativamente cerca de los valores permitidos no se podrían contemplar como un proceso de

desinfección completamente eficiente, por otro lado, los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> de la MC6 a la MC10 están dentro de los LMP.

#### **1.4.4. Porcentaje de Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales**

Para determinar la eficiencia de remoción de microorganismos presentes en el agua, en este caso, los Coliformes Fecales en base a los mejores resultados presentados anteriormente, se lo realizó de la siguiente manera:

$$\%Ef. Rem. = \frac{Coliformes_{entrada} - Coliformes_{salida}}{Coliformes_{entrada}} * 100$$

**Tabla 32**

*Resultados más eficientes en base al porcentaje de Ef. Rem para coliformes fecales con referencia a la dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  aplicada en las MC1 a MC10*

<b>Muestra Compuesta</b>	<b>Dosis de <math>\text{Ca}(\text{ClO})_2</math> aplicada</b>	<b>% Ef. Rem CF</b>
<b>MC1</b>	15mg/L	91,47%
<b>MC2</b>	10,59mg/L	90,42%
<b>MC3</b>	15mg/L	92,15%
<b>MC4</b>	10,59mg/L	89,75%
<b>MC5</b>	15mg/L	90,97%
<b>MC6</b>	10,59mg/L	89,89%
<b>MC7</b>	10,59mg/L	90,42%
<b>MC8</b>	10,59mg/L	88,29%
<b>MC9</b>	10,59mg/L	91,19%
<b>MC10</b>	10,59mg/L	89,22%

Elaborado por: El autor.

**Nota:** Representación del porcentaje de eficiencia de remoción para coliformes fecales de la MC1 a la MC10.

### 1.4.5. Resultados del Análisis Estadístico con el programa InfoStat para coliformes fecales

El método estadístico utilizado fue el análisis de varianza (ANOVA) y su respectiva prueba de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5% como lo propuso (Cáceres et al., 2021), solo que en este caso de estudio se lo realizó con el software estadístico InfoStat.

**Tabla 33**

*Cuadro de análisis de varianza ANOVA para el indicador Ca(ClO)<sub>2</sub>*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	2127131442	3	709043814	219,827277	0
<b>Dosis Ca(ClO)<sub>2</sub> [mg/L]</b>	2127131442	3	709043814	219,827277	0
<b>Error</b>	116116514,9	36	3225458,75		
<b>Total</b>	2243247957	39			

**Elaborado por: El autor**

**Nota:** Descripción del análisis de varianza (ANOVA) para el nivel de significancia

La Tabla 33 demuestra la representación en función al análisis ANOVA aplicado para el parámetro microbiológico coliformes fecales, este es el factor más importante de control de la calidad del agua del efluente de una PTAR, que permitió observar la diferencia de medias y se demostró que fue altamente significativa. Con esto se procedió a realizar la prueba Tukey al 5% que se presenta a continuación.

**Tabla 34**

*Prueba de Tukey (0,05) para el indicador de remoción de coliformes fecales*

Tratamientos	Coliformes fecales			
	Medias	n	E.E.	Sistemas
<b>T1 (Sin dosis)</b>	19745,4	10	567,93122	A
<b>T2 (8)</b>	8771,9	10	567,93122	B
<b>T3 (10,59)</b>	1922	10	567,93122	C
<b>T4 (15)</b>	1896,80	10	567,93122	C

(p > 0,05)

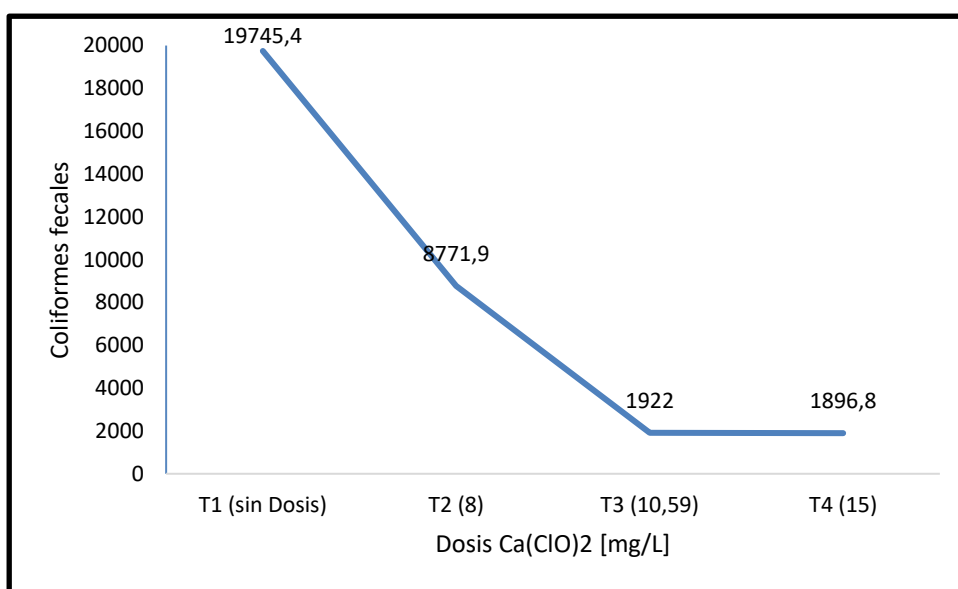


Elaborado por: El Autor

Los resultados de la prueba Tukey, mostrados en la Tabla 34, expresaron que existió variación estadística entre los tratamientos, se alcanzó valores más efectivos en la reducción de coliformes fecales tanto en el tratamiento T3 como en el tratamiento T4 con una media de 1922 y 1896,80 respectivamente; seguido de los tratamientos T2 y T1 que mostraron una deficiencia de remoción, por lo que se recomienda de entre los dos mejores tratamientos elegir el de menor dosificación de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , la relación de la disminución de coliformes fecales en base a la dosis aplicadas se ve reflejado en la Figura 7.

**Figura 7**

*Dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  con relación a la disminución de coliformes fecales*



Elaborado por: El Autor

**Nota:** Representación de la disminución de coliformes fecales con relación a la dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  aplicada en base a la prueba Tukey.

#### 4.2. Discusión

El trabajo de titulación se realizó en la Parroquia “El Artezón” del Cantón Santiago de Pillaro; este tenía como finalidad la posible incorporación de un sistema de cloración que uso

Ca(ClO)<sub>2</sub> antes de la descarga de la PTAR en base al cálculo de dosis recomendada de 10,59 mg/l con el que se puede mejorar la calidad del agua que se descarga y que llegará a un cuerpo de agua dulce como es el caso del Río Ambato.

En base a los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos, se observó un promedio de DBO<sub>5</sub> de 88,53 mg/L; de DQO de 174,97 mg/L y de coliformes fecales de 1927,80 NMP/100mL en el caso de la DBO<sub>5</sub> así como de la DQO los valores se encuentran dentro de los LMP establecidos en el (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015) a excepción de los coliformes fecales ya que en la MC2, MC5, MC6 y MC8 se encuentran fuera de los LMP. La presencia de carga orgánica presente en el agua residual se debe a varios factores externos como es el caso de las actividades socioeconómicas presentes en la zona de estudio como es la intervención de ganado bovino, porcino y avícola, cuyos residuos son desechados por el sistema de alcantarillado que está conectado directamente con la planta y factores internos, como la falta de mantenimiento, falta de experiencia de los operadores, todos estos componentes llegan a afectar el desempeño y la eficiencia de la PTAR.

Estudios demostraron el potencial de las soluciones de Ca(ClO)<sub>2</sub> para disolver tejidos y acción antimicrobiana. (Iglesias et al., 2019) sus resultados demostraron que la actividad microbiana mejoró gracias a la incorporación del hipoclorito de calcio en una dosis calculada de 3,8461 g de Ca(ClO)<sub>2</sub> al 65% de pureza con una muestra de 500 mL. En relación a la dosis aplicada y efectividad en remoción de la actividad microbiana, se obtuvo valores muy parecidos, en referencia a las dosis, se planteó concentraciones de 8; 10,59 y 15 mg de Ca(ClO)<sub>2</sub> con muestras de 1000 mL, estos valores se tomaron en base a rangos establecidos por (Romero, 2000), por lo que los valores usados tanto en esta investigación como en la de (Iglesias et al., 2019) cumplieron con su objetivo, que fue mejorar la calidad del agua gracias a la incorporación de este desinfectante.

Según estudios realizados por (Yu et al., 2021) en el que prueba la efectividad de la incorporación de varias dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  como estrategia de pretratamiento de lodos activados para conseguir reducir la carga de fosfato y carga microbiana; aplico dosis de 0%, 5%, 10%, 20%, y 50% o lo mismo que (0, 0.05, 0.1, 0.2, y 0.5 g  $\text{Ca}(\text{ClO})_2/\text{g}$  SST en lodo). Cuyos resultados presentaron que el pretratamiento con dosis elevadas de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  (mayor al 20%) redujeron la actividad microbiana, lo que condujo a una lenta liberación de compuestos orgánicos disueltos y a una prolongada fase de retardo en la producción de metano. En la presente investigación que tuvo como objetivo la remoción de la carga microbiana (coliformes fecales) se aplicó la dosis recomendada de 10,59 mg  $\text{Ca}(\text{ClO})_2/\text{L}$  de agua residual y en base a este cálculo se variaron a sin dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , 8 mg  $\text{Ca}(\text{ClO})_2/\text{L}$  de agua residual y 15 mg  $\text{Ca}(\text{ClO})_2/\text{L}$  de agua residual, por lo que obtuvo una mejor eficiencia en su mayoría con la dosis recomendada, que logro remover la presencia de coliformes en 6 de las 10 muestras compuestas analizadas mismas que llegaron a los LMP.

No obstante lo realizado por (Cáceres et al., 2021) en donde incorporó una dosis de cloro activo de 3,68 mg/L, y obtuvo como resultados con la aplicación final de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  una eficiencia de remoción de prácticamente del 100% de coliformes termotolerantes (coliformes fecales), con estos antecedentes, se tomó este valor como referencia y se lo transformo a dosis de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , se obtuvo así la dosis utilizada en este trabajo de investigación, que presentó una eficiencia de remoción de entre 88,29% al 92,15% por lo que se podría emplear como método de desinfección previo a la descarga de la PTAR.

Sin embargo, investigaciones realizadas por (Valdés et al., 2019) quienes propusieron utilizaron compuestos clorados entre ellos el  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  como control de los coliformes fecales, en el que realizaron análisis de regresión para relacionar el cloro residual con la dosis y así determinar la dosificación óptima a usar. Con datos provistos por (CONAGUA, 2015) (esta

investigación se basó de la versión de 2007) una concentración de cloro residual de 2 ppm es suficiente para la desinfección del residual con un tiempo de contacto de al menos 30 min. Con esto como referencia se realizó un experimento aleatorizado de dosis de cloro de 4,6,8,10 y 12 ppm con el hipoclorito de calcio al 65% obteniéndose resultados favorables con la ayuda del coeficiente de determinación  $R^2$  superior al 99% por lo que fue satisfactorio y con una dosis recomendada de 7,427 ppm de hipoclorito de calcio por lo que se recomienda usar el  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  como desinfectante. Con ayuda de estos antecedentes propuestos por los anteriores autores expuestos, en comparación con la variación de dosis y los resultados obtenidos en esta presente investigación se debe mencionar la aproximación en cuanto al grado de eficiencia de remoción y que se garantizó que los valores obtenidos posterior a la incorporación del  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  cumplen con los LMP establecidos en la normativa ambiental vigente.

En la presente investigación se trabajó con hipoclorito de calcio con una dosis recomendada de 10,59 mg/L y variaciones, , de 8mg/L y 15mg/L el reactivo utilizado tuvo una pureza del compuesto al 70% . Se alcanzó una eficiencia de remoción del 90,38% en promedio en la remoción de coliformes fecales presentes en el agua.

## **5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1.Conclusiones**

✓La dosis determinada como óptima de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  consiguió valores de remoción desde 88,29% hasta 92,15% con concentraciones de 10,59mg/L y 15mg/L respectivamente con un tiempo de reacción de 30 minutos en ambos casos y con un pH promedio de 6,85, por lo que se redujo la contaminación presente en el agua residual y se alcanzó los LMP establecidos en la normativa ambiental vigente.

✓A través de análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de agua residual, se pudo determinar que las mejores dosis en comparación fueron de 10,59 mg/L y 15 mg/l de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  mismas que presentaron una reducción significativa en los valores de DBO y DQO, en cuanto a los coliformes fecales, se determinó que hubo un porcentaje de eficiencia de remoción de 90,38%, que cumplen con los LMP. Además, que de acuerdo con el índice de biodegradabilidad (DBO/DQO) se obtuvo un valor de 0,5086; lo que indica que posee un alto grado de biodegradabilidad, por lo que la calidad del agua es buena para su descarga en un cuerpo de agua dulce, siendo este caso, el río Ambato.

✓Las actividades socioeconómicas presentadas en el PDOT como son, la producción de ganado bovino, porcino, avícola, las condiciones climáticas, falta de mantenimiento, limpieza, entre otros factores, incurren en que parámetros como los coliformes fecales presenten altos valores según se observó en los análisis.

✓La incorporación del  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  como tratamiento presentó una eficiencia de remoción que alcanza valores de hasta el 92,15% por lo que sería una buena alternativa para controlar la cantidad de contaminantes que se descargan de la PTAR.

### **5.2.Recomendaciones**

- ✓ Se recomienda la inclusión de una unidad de desinfección previo a la descarga de la planta se debe considerar que con ayuda de la desinfección se obtienen valores dentro de los LMP contemplados en la normativa ambiental vigente.
- ✓ Realizar posteriores estudios en los que se analice la remoción de coliformes fecales al incluir variables como pH y tiempo de reacción.
- ✓ Se recomienda que el GADM Santiago de Píllaro, con ayuda de sus técnicos, personal especializado y en conjunto con los moradores de la zona, realicen actividades de limpieza, mingas y educación ambiental relacionadas con el tema de un buen manejo y control de la calidad del agua.
- ✓ Planificar el mantenimiento de la PTAR, ya que de este se puede garantizar el correcto funcionamiento de la planta, con lo que alcanza parámetros adecuados para la una descarga hacia el cuerpo de agua dulce, que en este caso es el río Ambato;
- ✓ Realizar charlas de socialización con la comunidad para dar a conocer el proceso de tratamiento que se ejecuta en su zona, así como las formas de evitar algún tipo de malfuncionamiento y ayudar a proteger el medioambiente local misma que está en sus manos;
- ✓ Realizar el análisis de cloro residual presente en el agua residual una vez se realizó las pruebas de tratabilidad.

## 6.BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. In *Libro VI, Anexo 4*.  
[http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/norma\\_ecuato\\_calidad.pdf](http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf)
- APHA. (2005). *Standard Methods "Examination of Water and Wastewater."*
- Cáceres, D., Calisaya, G., & Bedoya, E. (2021). Eficiencia de *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes* e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú. *Ecología Aplicada*, 20(1), 83.  
<https://doi.org/10.21704/rea.v20i1.1692>
- Collazos, C. J. (2008). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas e Industriales. *Universidad Nacional De Colombia*, 1–49.  
[https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-09-07\\_10-54-35TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_DOMESTICAS\\_E\\_INDUSTRIALES.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-09-07_10-54-35TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMESTICAS_E_INDUSTRIALES.pdf)
- CONAGUA. (2015). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable. In *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Libro 4*. [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Flores, E., & Jhostin, J. (2019). *Adsorción de arsénico de aguas subterráneas utilizando óxido de hierro a diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio* [Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo].  
[https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8102/BC-4503\\_FLORES\\_GONZALES-JIMENEZ\\_REQUEJO.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8102/BC-4503_FLORES_GONZALES-JIMENEZ_REQUEJO.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- GADMSP. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del*

*Cantón Santiago de Píllaro 2020 - 2032*. <https://www.pillaro.gob.ec/wp-content/uploads/2022/05/pdot.pdf>

González, N. (2016). *Estudio de posibilidad de obtención de hipoclorito de calcio y cloruro de calcio a partir de cloro*. 79.

[https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7416/González Quintero Noel Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7416/González%20Quintero%20Noel%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

IDEAM. (2017). *Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, Incubación y Electrometría. SM 5210B* (Vol. 1).

<http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I025+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACIÓN+DE+DEMANDA+BIQUÍMICA.pdf/83b1f3aa-cfab-417b-b6d7-b576fec54e61?version=1.0>

Iglesias, J., Pinheiro, L., Weibel, D., Montagner, F., & Grecca, F. (2019). Influence of surfactants addition on the properties of calcium hypochlorite solutions. *Journal of Applied Oral Science*, 27, 1–9. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0157>

Marín, D. (2019). Propuesta de Aprovechamiento de lodos Residuales Provenientes de una PTAR del Municipio de Sopó Cundinamarca para la Producción de un Fertilizante Organo-Mineral [Fundación Universidad de América]. In *Αγαη*. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7393/1/6122932-2019-1-IQ.pdf>

Moreno, S. (2017). Tratamiento de Aguas Residuales en el Tanque Imhoff para Disminuir la Contaminación en la Quebrada Sicacate del Distrito de Montero [Universidad Nacional de Piura]. In *Tesis con grado de titulo, UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA*. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1154/IND-MOR-JAB-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. In *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental* (p. 36). [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Peña, L., Martínez, M., & Correa, A. (2001). Tratamientos de aguas residuales municipales y su impacto ambiental sobre un ecosistema. *Tecnura*, 5(9), 37–45.  
<https://doi.org/10.14483/22487638.6116>
- Ramírez, F. (2005). Desinfección del agua con cloro y cloraminas. *Tecnica Lindustrial*, 55–63. <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/20/42/a42.pdf>
- Ramos, K., Parada, M., & Godoy, S. (2018). Evaluación Y Diseño De Un Sistema De Tratamiento De Agua Residual Para La Fábrica Textil Hilario. *Perfiles*, 1(19), 3–13.  
<https://doi.org/10.47187/perf.v1i19.13>
- Reyes, T. (2018). Diagnóstico De La Operación De La Planta De Tratamiento De Agua Residual (Ptar), Del Municipio De Madrid - Cundinamarca. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.  
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22811/1/Proyecto PTAR Madrid Cundinamarca.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22811/1/Proyecto%20PTAR%20Madrid%20Cundinamarca.pdf)
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales* (p. 19). CEPIS/OPS-OMS.  
[http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION INTEGRAL DEL TRATAMIENTO AR.pdf](http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf)
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales teoria y principios*. 1248.  
[https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)
- S.B.A. (2018). *Informe Técnico de Eficiencia Hidráulica Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas-Sector Playa Grande el Artezón* (pp. 1–70).

SENAGUA. (2010). *Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable,*

*Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural.*

[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_05\\_Abastecimiento\\_de\\_Agua\\_Potable.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_05_Abastecimiento_de_Agua_Potable.pdf)

Valdés, A., Castro, N., & Ramírez, Y. (2019). Propuesta Tecnológica Para La Desinfección De Las Aguas Residuales Sanitarias De La Termoeléctrica De Cienfuegos. *Centro Azúcar*, 46(4), 60–67.

Yu, N., Sun, H., Mou, A., & Liu, Y. (2021). Calcium hypochlorite enhances the digestibility of and the phosphorus recovery from waste activated sludge. *Bioresource Technology*, 340, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125658>

## 7.ANEXOS

### Anexo 1

*Registro fotográfico – Lugar de muestreo*



**Nota:** La imagen representa el lugar de donde se extrajeron las muestras, dicha tubería es la descarga final de la PTAR. Fuente: El autor

### Anexo 2

*Registro fotográfico – Materiales usados Insitu*



**Nota:** La imagen representa los materiales que se utilizaron para el muestreo Insitu, tales como vasos de precipitación de 150mL y 1000mL.

### Anexo 3

*Registro fotográfico – Análisis de DQO en laboratorio*



**Nota:** La imagen representa la realización de la DQO en laboratorio. Fuente: El autor

### Anexo 4

*Registro fotográfico – Análisis DBO<sub>5</sub> en laboratorio*



**Nota:** La imagen representa la realización de la DBO, junto con sus materiales y reactivos en laboratorio. Fuente: El autor

### Anexo 5

*Registro fotográfico – Análisis coliformes fecales en laboratorio*



**Nota:** La imagen representa la realización de los coliformes fecales, así como sus materiales, equipos y reactivos en laboratorio. Fuente: El autor