

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA**



**“EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO  
FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS  
HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA  
MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN  
SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO SANITARIO**

**TESISTA:**

**Br. YANAC CHAVEZ YASMIN GERALDINE**

**ASESOR:**

**ING. ARAUJO JAMANCA NINO FRANKLIN**

**HUARAZ - PERU**

**2021**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA**



**“EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO  
FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS  
HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA  
MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN  
SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO SANITARIO**

**TESISTA:**

**Br. YANAC CHAVEZ YASMIN GERALDINE**

**ASESOR:**

**ING. ARAUJO JAMANCA NINO FRANKLIN**

**HUARAZ - PERU**

**2021**



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A  
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

Código de alumno: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

D.N.I. n°: \_\_\_\_\_

*(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)*

**2. Tipo de trabajo de investigación:**

Tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico

Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

**3. Para optar el Título Profesional de:**

\_\_\_\_\_

**4. Título del trabajo de investigación:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**5. Facultad de:** \_\_\_\_\_

**6. Escuela o Carrera:** \_\_\_\_\_

**7. Línea de Investigación (\*):** \_\_\_\_\_

**8. Sub-línea de Investigación (\*):** \_\_\_\_\_

*(\*) Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

**9. Asesor:**

Apellidos y nombres \_\_\_\_\_ D.N.I n°: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ ID ORCID: \_\_\_\_\_

**10. Referencia bibliográfica:** \_\_\_\_\_

**11. Tipo de acceso al Documento:**

Acceso público\* al contenido completo.

Acceso restringido\*\* al contenido completo

*Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.*

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## 12. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

## 13. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

## 14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la  
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



  
Varillas William Eduardo  
Asistente en Informática y Sistemas  
- UNASAM -

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



## ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS, PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANTARIO

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorio Virtual - Plataforma Microsoft Teams de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el **Acto Académico de Sustentación y Defensa virtual** de la Tesis, que presenta la Bachiller: **YASMIN GERALDINE YANAC CHAVEZ**.

Tesis Titulada: **“EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019”**

En seguida, después de haber atendida la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

**APROBADO**

Con el calificativo de:

**DIESISEIS (16)**

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

## INGENIERO SANITARIO

De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Huaraz, .....18.....de.....Febrero.....del 2022.

M.Sc. Carlos Borromeo Poma Villafuerte  
Presidente

M.Sc. Rosario Adriana Polo Salazar  
Primer Miembro

M.Sc. Kiko Félix Depaz Celi  
Segundo Miembro

Ing. Nino Franklin Araujo Jamanca  
Asesor

## INFORME N° 001-2022-UNASAM/EPIS/JE

**AL** : MSc. MARTIN MIGUEL HUAMAN CARRANZA  
Directora(e) de la EPIS – FCAM – UNASAM

**DEL** : Jurado Evaluador de la Tesis denominada “EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019”

**ASUNTO** : INFORME DE REVISIÓN DE LA TESIS

**FECHA** : Huaraz, 01 de junio del 2022

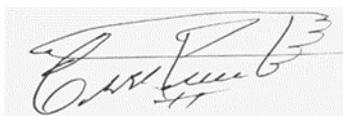
---

Tenemos el agrado de dirigirnos a Usted a efectos de informarle que los Miembros del Jurado Evaluador de la Tesis denominado “**EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019**”; presentado por la Bachiller en Ingeniería Sanitaria *Yasmin Geraldine Yanac Chávez*, hemos realizado la revisión correspondiente verificando el levantamiento de las observaciones realizadas; por tanto el Jurado de tesis lo da por **APROBADO**, pudiendo la tesista proceder con el **EMPASTADO**, y continuar con los trámites para la obtención del título profesional.

En tal sentido, solicitamos a Usted Señor director, se sirva informar a la tesista y continuar con los trámites administrativos correspondientes.

Sin otro particular nos despedimos deseándoles parabienes en su gestión actual.

Atentamente,



---

MSc. CARLOS BORROMEO POMA VILLAFUERTE  
**PRESIDENTE**



---

Blga. ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR  
**PRIMER MIEMBRO**



---

Ing. KIKO FELIX DEPAZ CELI  
**SEGUNDO MIEMBRO**

## JURADO EVALUADOR DE LA TESIS

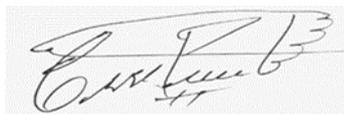
### **“EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019”**

#### **ACTA DE INSTALACIÓN Y REVISIÓN**

Siendo las 15:00 horas del 1 de junio del 2022, se reunieron de manera virtual, los Miembros del Jurado Evaluador de la Tesis denominado **“EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019”**, siendo el MSc. CARLOS BORROMEOPOMA VILLAFUERTE(**Presidente**), Blga. ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR(**Primer miembro**) e Ing. KIKO FELIX DEPAZ CELI(**Segundo miembro**).

Acto seguido se procedió con la Revisión de la Tesis presentado por la Bachiller de Ingeniería Sanitaria **Yasmin Geraldine Yanac Chávez**, hemos realizado la revisión correspondiente verificando el levantamiento de las observaciones realizadas; por tanto, el Jurado de tesis lo da por **APROBADO**, pudiendo la tesista proceder con el **EMPASTADO**, y continuar con los trámites para la obtención del título profesional.

No habiendo otro punto que tratar, se levantó la reunión a las 15:20 hrs. del mismo, para constancia en fé de lo actuado firmamos el presente documento.



MSc. CARLOS BORROMEOPOMA VILLAFUERTE  
**PRESIDENTE**



Blga. ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR  
**PRIMER MIEMBRO**



Ing. KIKO FELIX DEPAZ CELI  
**SEGUNDO MIEMBRO**

## DEDICATORIA

---

*A Dios y a la Virgen, por ser mis padres y guías espirituales, quienes siempre me brindaron su compañía y protección, que me guiaron en cada paso que di a lo largo de este camino profesional que emprendí con mucha ilusión y empeño, me dieron su sabiduría y su fortaleza para enfrentar todas las adversidades y así poder cumplir mis metas.*

*A mi adorada madre: Dolora Francisca, por darme la vida, por ser la persona más importante en mi vida, por ser mi amiga, mi confidente, y sobre todo por brindarme su apoyo, su amor incondicional, y por transmitirme su fortaleza para poder salir adelante.*

*A mi papá, Antonio, por todo su apoyo durante todas las dificultades que atravesé durante la vida universitaria.*

*A mi querido hermano: Brayan Jeremy, por su cariño, su paciencia y comprensión, pero sobre todo por su apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación.*

*A mis adorados abuelitos Máximo y Julia: por enseñarme que a pesar de los tropiezos que uno tiene en la vida, debe de levantarse y seguir caminando, que no importan los obstáculos que se presentan en el camino, al final todo esfuerzo tiene una gran recompensa.*

*A mi compañero de vida, por ser el motor que le dio impulso a mi vida, por sus palabras, por su amor, por todo aquello que me brinda día a día, pero sobre todo por no soltarme la mano en los momentos más complicados.*

---

**Yasmin Geraldine Yánac Chávez**



## AGRADECIMIENTO

---

*A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, quienes fueron parte importante de mi vida universitaria, los cuales nos brindaron sus conocimientos y experiencias para poder ser buenos profesionales en el futuro.*

*Al Ing. Nino Araujo Jamanca, por brindarme su apoyo, sus consejos y recomendaciones, para de esta manera desarrollar adecuadamente esta investigación y poder sustentarla con éxito.*

*Al personal que labora en el Centro de Investigación Experimental de Tuyu Ruri, por brindarme un espacio en la cual pude desarrollar mi investigación.*

---

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Yasmin Geraldine Yánac Chávez**, identificada con DNI N°**72940245** y Código Universitario N°**111.0704.059**, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, declaro que el trabajo académico titulado **“EFECTO DE FILTROS PERCOLADORES USANDO COMO MEDIO FILTRANTE CARBÓN VEGETAL Y DIFERENTES CARGAS HIDRÁULICAS, SOBRE LA REMOCIÓN EN LA CARGA MICROBIANA DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN, EN CLIMAS ANDINOS - 2019”** presentado en 68 folios, para la obtención del título profesional de ingeniero sanitario, es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes de acuerdo a lo establecido por las normas de elaboración de trabajo académico.
- No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
- De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Huaraz, 23 de noviembre de 2021

---

**Yasmin Geraldine Yánac Chávez**  
C.U. N° 111.0704.059  
DNI: 72940245

## RESUMEN

La presente investigación es un aporte importante pues constituye un avance significativo en el arduo trabajo de buscar alternativas de bajo costo y fácil operación y mantenimiento para el tratamiento de las aguas residuales las cuales en un gran porcentaje son vertidas a cuerpos receptores de agua contaminando de esta manera nuestros recursos hídricos; motivo por el cual se ha realizado el presente trabajo de investigación en el que se ha analizado el efecto de filtros percoladores cuyo medio filtrante fue el carbón vegetal, teniendo 6 unidades de análisis con diferentes cargas hidráulicas en las cuales se evaluaron la remoción los parámetros de coliformes fecales y coliformes totales (carga microbiana) de las aguas residuales domésticas de Tuyu Ruri y al cual le aplicamos un sistema de desinfección, en este caso cloración por goteo usando como insumo químico hipoclorito de calcio al 70% en una dosis y concentración determinada.

La investigación se llevó a cabo en cinco etapas, la primera de ellas fue el diseño del prototipo de la Planta de Aguas Residuales (PTAR) y específicamente el de la cámara de contacto para la desinfección, la segunda, la construcción de la PTAR, la tercera, toma de muestras para el análisis respectivo, la cuarta, las pruebas realizadas a las muestras obtenidas de las unidades analizadas (filtros percoladores y la cámara de contacto) y finalmente la lectura de los resultados obtenidos.

Posterior a ello, se realizó el análisis de resultados de los datos obtenidos y la interpretación del análisis estadístico.

Los resultados obtenidos demostraron que los filtros percoladores usando como medio filtrante carbón vegetal con diferentes cargas hidráulicas tienen una baja remoción de la carga microbiana, pues la función principal de un filtro percolador es la de reducir la carga orgánica, pero la diferencia en este porcentaje de remoción aumenta cuando aplicamos un sistema de desinfección, en este caso usando hipoclorito de calcio al 70% como tratamiento terciario, obteniendo de esta manera que el efluente del piloto, cumpla con la normatividad vigente en cuanto se refiere a aguas residuales.

**Palabras claves:** filtros percoladores, carbón vegetal, carga microbiana, cargas hidráulicas y sistema de desinfección.

## ABSTRACT

This research is an important contribution as it constitutes a significant advance in the arduous work of seeking low-cost alternatives and easy operation and maintenance for the treatment of wastewater, which in a large percentage is discharged into receiving bodies of water contaminating it. way our water resources; reason for which the present research work has been carried out in which the effect of trickling filters whose filtering medium was charcoal was analyzed, having 6 analysis units with different hydraulic loads in which the removal parameters were evaluated. fecal coliforms and total coliforms (microbial load) from the domestic wastewater of Tuyu Ruri and to which we apply a disinfection system, in this case drip chlorination using 70% calcium hypochlorite as a chemical input in a determined dose and concentration.

The research was carried out in five stages, the first of which was the design of the prototype of the Wastewater Plant (WWTP) and specifically that of the contact chamber for disinfection, the second, the construction of the WWTP, the third, taking samples for the respective analysis, fourth, the tests carried out on the samples obtained from the units analyzed (trickling filters and the contact chamber) and finally the reading of the results obtained.

After this, the analysis of the results of the data obtained and the interpretation of the statistical analysis were carried out.

The results obtained showed that trickling filters using charcoal with different hydraulic loads as a filter medium have a low removal of the microbial load, since the main function of a trickling filter is to reduce the organic load, but the difference in this percentage of Removal increases when we apply a disinfection system, in this case using 70% calcium hypochlorite as tertiary treatment, thus obtaining that the pilot effluent complies with current regulations regarding wastewater.

**Keywords:** trickling filters, charcoal, microbial load, hydraulic loads and disinfection system.

## INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
INDICE .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	viii
INDICE DE CUADROS .....	viii
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	ix
INDICE DE GRAFICOS .....	ix
CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1. Objetivos .....	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
1.2. Hipótesis .....	3
1.3. Variables .....	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	6
2.1.2. Antecedente Nacional.....	9
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Agua residual.....	11
2.2.2. Carga hidráulica.....	12
2.2.3. Carga microbiana .....	12
2.2.4. Filtración .....	12
2.2.5. Filtros Percoladores.....	13
2.2.6. Carbón vegetal .....	13
2.2.7. Coliforme total:.....	15
2.2.8. Coliforme fecal:.....	16
2.2.9. Desinfección: .....	17
2.2.10. Escherichia coli: .....	20
2.2.11. Fermentación en tubos múltiples para miembros del grupo de los coliformes:.....	21
2.3. Definición de términos básicos.....	21

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1. Tipo de investigación.....	23
3.2. Diseño de investigación .....	24
3.3. Métodos o técnicas .....	25
3.3.1. Diseño de las unidades a analizar .....	25
3.3.2. Construcción de la Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales 26	
3.3.3. Toma de muestras del agua residual.....	26
3.3.4. Pruebas realizadas en el laboratorio .....	28
3.3.5. Lectura de los resultados obtenidos .....	37
3.4. Población y muestra.....	39
3.5. Instrumentos validados de recolección de datos:.....	39
3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información:.....	40
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	41
4.1. Indicadores de los filtros percoladores: .....	41
4.2. Coliformes totales al ingreso de los filtros percoladores: .....	41
4.3. Coliformes fecales al ingreso de los filtros percoladores:.....	42
4.4. Coliformes totales al ingreso de la desinfección: .....	42
4.5. Coliformes fecales al ingreso de la desinfección:.....	43
4.6. Coliformes totales a la salida de la desinfección: .....	43
4.7. Coliformes fecales a la salida de la desinfección: .....	44
4.8. Cloro residual a la salida de la desinfección: .....	44
4.9. Parámetros de pH y Temperatura en los filtros percoladores: .....	45
4.10. Parámetros de pH, Temperatura y turbiedad al ingreso de la desinfección: 45	
4.11. Parámetros de pH, Temperatura y turbiedad a la salida de la desinfección:.....	46
4.12. Determinación del porcentaje de remoción de Coliformes Fecales en los filtros percoladores .....	46
4.13. Determinación de la carga hidráulica: .....	47
4.14. Análisis estadístico de los datos obtenidos: .....	59
CAPITULO V: DISCUSION DE RESULTADOS .....	78
CAPITULO VI: CONCLUSIONES .....	81
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES .....	82
CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Preparación del medio de cultivo .....	30
Figura 2: Preparación del agua de dilución .....	31
Figura 3: Preparación de diluciones previas al sembrado .....	33
Figura 4: Siembra de muestras del afluente.....	34
Figura 5: Preparación de la dilución -1 y -2.....	34
Figura 6: Preparación de la dilución 1 y 0 .....	34

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Operacionalización de variables.....	4
Cuadro 2: Comparación entre desinfectantes .....	18
Cuadro 3: Factores que afectan a la desinfección .....	20
Cuadro 4: <i>Diseño de investigación</i> .....	24
Cuadro 5: <i>Datos para cálculo de dosis de cloro</i> .....	29

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados de CF en la entrada y salida.....	8
Tabla 2: Indicadores de los filtros percoladores .....	41
Tabla 3: Resultados de C.T al ingreso de los filtros percoladores.....	41
Tabla 4: Resultados de C.F al ingreso de los filtros percoladores.....	42
Tabla 5: Resultados de C.T al ingreso de la desinfección.....	42
Tabla 6: Resultados de C.F al ingreso de la desinfección.....	43
Tabla 7: Resultados de C.T a la salida de la desinfección .....	43
Tabla 8: Resultados de C.F a la salida de la desinfección .....	44
Tabla 9: Resultados de cloro residual a la salida de la desinfección.....	44
Tabla 10: Resultados de los parámetros de pH y temperatura .....	45
Tabla 11: Resultados de los parámetros de pH, temperatura y turbiedad .....	45
Tabla 12: Resultados de los parámetros de pH, temperatura y turbiedad .....	46
Tabla 13: Resultados del porcentaje de remoción .....	46
Tabla 14: Resultados de la carga hidráulica en los filtros percoladores.....	47

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Cámaras de contacto con pantallas deflectoras .....	26
Fotografía 2. Toma de muestra en los filtros percoladores .....	27
Fotografía 3. Toma de muestra en las cámaras de contacto .....	28
Fotografía 4. Tubos de ensayo con el medio de cultivo .....	31
Fotografía 5: Agua de dilución preparada .....	32
Fotografía 6. Medio de cultivo con la muestra sembrada .....	36
Fotografía 7: Incubación de las muestras .....	36
Fotografía 8. Tubos de ensayo previos al uso del reactivo .....	37
Fotografía 9. Tubos de ensayo luego de ser incubados .....	38
Fotografía 10. Tubos positivos al Reactivo de Kovacs .....	38

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F1, D1, SD 1. ....	48
Gráfico 2: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F2, D2, SD 2. ....	48
Gráfico 3: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F3, D3, SD 3. ....	49
Gráfico 4: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F4, D4, SD 4. ....	49
Gráfico 5: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F5, D5, SD 5. ....	49
Gráfico 6: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F6, D6, SD 6. ....	50
Gráfico 7: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F1, D1, SD 1. ....	50
Gráfico 8: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F2, D2, SD 2. ....	51
Gráfico 9: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F3, D3, SD 3. ....	51
Gráfico 10: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F4, D4, SD 4. ....	52
Gráfico 11: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F5, D5, SD 5. ....	53
Gráfico 12: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F6, D6, SD 6. ....	53
Gráfico 13: Carga hidráulica vs % de remoción .....	54
Gráfico 14: Resultados de los valores de pH obtenidos .....	55
Gráfico 15: Resultados de los valores de turbiedad obtenidos .....	55
Gráfico 16: Resultados de los valores de temperatura obtenidos .....	56
Gráfico 17: Incidencia de la desinfección (líneas de tendencia) .....	57
Gráfico 18: Incidencia de la desinfección (grafico de barras) .....	57
Gráfico 19: Cloro residual .....	58



## I: INTRODUCCION

El crecimiento acelerado de la población, la contaminación de las fuentes naturales de agua superficial y subterránea causada por las actividades poblaciones (rurales y urbanas) ponen en peligro la disponibilidad del recurso hídrico; el cual se ve más afectado debido a los vertimientos incontrolados de las aguas residuales, muchos de los cuales no cumplen con los Límites Máximos Permisibles para ser vertidos a los cuerpos de agua establecidos en los Estándares de Calidad.

Por razones de protección de la salud pública y consideraciones ambientales, económicas y sociales, las aguas residuales no pueden ser vertidas directamente en fuentes naturales, o reusándolas para fines de riego agrícola; pero esto no se ve reflejada en la realidad; pues según un estudio realizado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) en el año 2008, indica que el 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; asimismo, que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas; este porcentaje se ve reducido aún más en las zonas rurales, donde los servicios de saneamiento son brindados por las Juntas Administradoras (JASS), quienes cubren parcialmente estos servicios mediante una contribución mensual; la cual escasamente cubre los costos de operación y mantenimiento para los sistemas de agua potable; dejando de lado las aguas residuales.

Visto la problemática, surgen las preguntas, ¿cómo podríamos mejorar el tratamiento de las aguas residuales, pero a un bajo costo y una fácil operación y mantenimiento?; pues ante esta interrogante pueden plantearse muchas respuestas, tenemos plantas de aguas residuales desde las más simples, hasta las más complejas; cada una de las cuales tiene un componente diferenciado el cual realiza un determinado tratamiento; ya sea físico, químico o microbiológico; en esta investigación se realizó una planta piloto de aguas residuales en la cual nos centraremos en dos de los componentes los cuales son; los filtros percolares y cámara de contacto de cloro; se plantea la siguiente pregunta; ¿Qué efecto tendrá los filtros percoladores, que emplea como medio filtrante carbón vegetal con diferentes cargas hidráulicas sobre la remoción de la carga microbiana de las aguas residuales aplicando, un sistema de desinfección en climas andinos? se describe

el efecto que tienen los filtros percoladores empleando como medio filtrante carbón vegetal, con diferentes cargas hidráulicas sobre la remoción de la carga microbiana de las aguas residuales, aplicando un sistema de desinfección, para lo cual se hizo uso de una serie de procedimientos en los cuales se tomaron muestras al ingreso y salida de los seis filtros percoladores; así mismo se tomaron muestras al ingreso y salida de las seis cámaras de contacto de cloro; pero en este componente se realizó el tratamiento con hipoclorito de calcio al 70%.

Los resultados obtenidos demostraron que los filtros percoladores usando como medio filtrante carbón vegetal con diferentes cargas hidráulicas tienen una baja remoción de la carga microbiana, pues la función principal de un filtro percolador es la de reducir la carga orgánica, pero la diferencia en este porcentaje de remoción aumenta cuando aplicamos un sistema de desinfección, en este caso usando hipoclorito de calcio al 70% como tratamiento terciario, obteniendo de esta manera que el efluente del piloto, cumpla con la normatividad vigente en cuanto se refiere a aguas residuales. Finalmente se recomienda que la planta opere de forma continua y con un personal capacitado para poder solucionar cualquier inconveniente que se presente durante el día; mejorar el sistema de desinfección, con otros equipos o sistemas que operen de manera continua y la solución de cloro pueda tener un periodo de duración mucho mayor; ya que con el tiempo el caudal de operación irá aumentando y no será suficiente con el sistema actual instalado y realizar una limpieza constante para evitar el ingreso de material particulado que pueda aumentar la turbidez del agua y disminuir la eficiencia del proceso de cloración.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo General

- Determinar el efecto de los filtros percoladores empleando como medio filtrante carbón vegetal, con diferentes cargas hidráulicas sobre la remoción de la carga microbiana de las aguas residuales, aplicando un sistema de desinfección, en climas andinos - 2019.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de los filtros percoladores empleando como medio filtrante el carbón vegetal en la remoción de la carga microbiana.
- Evaluar la relación de dependencia entre los filtros percoladores con diferente carga hidráulica en la remoción de la carga microbiana.
- Estimar la incidencia de un sistema de desinfección en la remoción de la carga microbiana.

## 1.2. Hipótesis

### Hipótesis general

Hi: los filtros percoladores empleando como medio filtrante carbón vegetal con diferentes cargas hidráulicas y aplicando un sistema de desinfección tienen una baja remoción de la carga microbiana de las aguas residuales en climas andinos.

### Hipótesis específicas

He-1: los filtros percoladores empleando carbón vegetal como medio filtrante tienen una baja influencia en la remoción de la carga microbiana de las aguas residuales.

He-2: los filtros percoladores con diferentes cargas hidráulicas no tienen ningún tipo de relación con la remoción de la carga microbiana de las aguas residuales en climas andinos.

He-3: la aplicación de un sistema de desinfección tiene una incidencia alta en la remoción de la carga microbiana en climas andinos.

## 1.3. Variables

Se han definido las siguientes variables: independiente y dependiente.

- **Variables independientes:**

Filtros Percoladores con carbón vegetal como medio filtrante y diferentes cargas hidráulicas.

Sistema de desinfección.

• **Variable dependiente:**

Carga microbiana.

Cuadro 1: Operacionalización de variables

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO DE VARIABLE
Filtros percoladores con carbón vegetal como medio filtrante y diferentes cargas hidráulicas	La carga hidráulica superficial se refiere a la cantidad de agua residual aplicada diariamente al filtro percolador, por unidad de área del medio de soporte	Volúmen de agua a tratar por metro cuadrado de superficie y por unidad de tiempo	Medio filtrante	Tipo de medio filtrante	Sin escala	Descriptivo
				Espesor del medio filtrante	m	Numérica Continua
			Carga hidráulica	Superficie específica del medio filtrante	m <sup>2</sup>	Numérica Continua
				Caudal de operación	m <sup>3</sup> /d	Numérica Continua
			Condiciones fisicoquímicas y bacteriológicos en el AFLUENTE de las aguas residuales	Potencial de Hidrógeno	Unidad	Numérica Continua
				Temperatura	°C	Numérica Continua
				Coliformes fecales	NMP/100 ml	Numérica Continua
				Coliformes totales	NMP/100 ml	Numérica Continua
				Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/lt	Numérica Continua
			Turbiedad	UNT	Numérica Continua	
Sistema de desinfección	Sistema empleado para dosificar desinfectante	Volúmen de agua a tratar por unidad de tiempo	Condiciones químicas en el EFLUENTE de las aguas residuales	Cantidad de Cloro residual	mg/lt	Numérica Continua
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO DE VARIABLE
Carga microbiana en un sistema de desinfección	La carga microbiana se refiere a la cantidad de coliformes fecales por	Cantidad de coliformes fecales medidas luego del proceso de desinfección.	Condiciones bacteriológicas en el EFLUENTE de las aguas residuales	Coliformes fecales	NMP/100 ml	Numérica Continua

	volumen de agua			Coliformes totales	NMP/100 ml	Numérica Continua
--	-----------------	--	--	--------------------	------------	-------------------

Fuente: Elaboración propia

## II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**BERNAL ET AL (2010)**, en su investigación “**Tratamiento de Agua Residual Municipal por un Sistema Fisicoquímico y Oxidación Química En Flujo Continuo**” se plantea como objetivo la remoción de contaminantes de un efluente de aguas residuales municipales, mediante tratamientos fisicoquímicos de coagulación-floculación, sedimentación, filtración, oxidación química y desinfección en un tren de tratamiento en flujo continuo a 1.65 mL/s. Para el proceso de coagulación-floculación se utilizó una dosis de 1 mL/L de  $Al_2(SO_4)_3$  0.01 M, los filtros fueron empacados de arena sílice natural y carbón activado proveniente de concha de coco, en el proceso de oxidación química se aplicó una concentración de 3 mg/L de ozono con un tiempo de contacto de 10 a 15 min, la desinfección se realizó mediante radiación ultravioleta a una longitud de onda de 253-260 nm. La remoción obtenida fue del 98% de color, 94% de turbiedad, 93% de DQO, 93% de DBO<sub>5</sub>, el 84% de SAAMS, el 63% de NH<sub>3</sub>, el 98% de coliformes totales y fecales.

Esta investigación hace énfasis en que el filtro de carbón activado tiene los porcentajes de remoción más altos, esto se debe a que este filtro es un adsorbente que reduce la materia orgánica por su área superficial, lo cual hace que remueva en más del 90% la DBO<sub>5</sub> y DQO, concluyendo que la remoción de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno de aguas residuales son eficientes utilizando los filtros de carbón activado.

Los coliformes fecales, fueron medidos a la salida del tratamiento mediante oxidación química (ozono) en la cual se observó la ausencia de este parámetro.

Finalmente, la desinfección por radiación ultravioleta removió el 98 % de coliformes totales y fecales; antes cabe mencionar que posterior a la ozonización se hizo pasar por otro filtro de carbón activado.

**GODOY (2013)**, en su investigación titulada “**Depuración de aguas residuales domésticas por adsorción química en material reciclado**”, se plantea como objetivo general depurar por adsorción química los contaminantes existentes en aguas residuales domésticas, utilizando un sistema de filtración construida de material reciclado para luego evaluar la calidad del agua residual domestica mediante análisis físico, químico y bacteriológico antes y después de realizar el tratamiento de depuración. Este medio filtrante está constituido de dos capas de arena de acuerdo a su contextura, una capa de carbón vegetal no activado, dos capas de grava.

Se caracterizó el agua residual en el cual se consideraron los parámetros de pH, color, turbiedad, iones sulfato e iones cloruro; y orgánicos: detergente, aceite, grasa y coliformes totales. En la primera prueba realizada se pudo observar que inicialmente se tenían  $9.5 \times 10^9$  FC/100 ml, luego los coliformes que fueron absorbidos por el carbón activado fueron de  $9.31 \times 10^7$  FC/100 ml, teniendo una diferencia de  $1.9 \times 10^8$  que no fueron adsorbidos en el proceso; en el segundo muestreo se obtuvieron resultados erróneos, pues la cantidad de coliformes luego del tratamiento con el carbón activado fueron mayor ( $8.5 \times 10^6$  UFC) a la que inicialmente se tenía ( $9.0 \times 10^4$ ), en la muestra cruda de agua residual, esto se debió a que la muestra no fue analizada de inmediato, siendo un error de procedimiento.

Finalmente se llegó a la conclusión de que el filtro utilizado para esta investigación en el primer muestreo logró remover iones cloruro y pH, las cuales se encuentran dentro de la normativa vigente para Bolivia; no sucede lo mismo con los otros parámetros, como son la turbiedad, grasas y aceites, coliformes; los cuales, si disminuyeron el valor, pero aún no cumplen con la normativa vigente.

Para el segundo muestreo; se logró remover iones sulfato, pH, color y detergentes; pero no se pudo obtener resultados favorables para la turbiedad, grasas y aceites, iones cloruro y coliformes.

**REYES (2016)**, en su investigación “**Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: desinfección y**

**formación de subproductos”** se plantea como objetivo principal; evaluar el proceso de desinfección de las aguas residuales domésticas y determinar subproductos de la cloración, para ello se realizaron las mediciones de diferentes parámetros dentro de los cuales se encuentran la determinación de sólidos totales y sólidos volátiles, determinación de coliformes fecales (CF), determinación de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), determinación de fósforo soluble (PO<sub>4</sub>-3); luego de la cual se evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento la cual es mediante lodos activados, esta evaluación se realizó con el monitoreo de la cantidad de cloro aplicada en la PTAR's sur y oriente, así mismo se cuantificó el cloro total y residual después del proceso de desinfección. Obteniéndose los siguientes resultados: La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el límite máximo permisible de CF es de <1000 UFC/100mL para reuso en riego agrícola y de 240 UFC/100mL para riego de áreas verdes de la ciudad (NOM-003-SEMARNAT-1997), ya que estos lugares puede haber mayor contacto con la población. En la siguiente tabla se muestran los resultados de CF de la entrada y salida de los dos sistemas y la eficiencia de eliminación.

Tabla 1: Resultados de CF en la entrada y salida

Planta	Estación	CF (UFC/100 ml) entrada	CF (UFC/100 ml) salida	Eficiencia de remoción
<b>Sur</b>	Verano	4.19E+07 ± 1.14E+07 c	1 ± 1.4 ab	99.9999
	Otoño	3.25E+07 ± 1.83E+07 c	1 ± 1 ab	99.9999
	Invierno	4.10E+07 ± 2.06E+07 c	1 ± 0.7 a	99.9999
	Primavera	3.14E+07 ± 5.97E+07 c	0 ± 0 a	99.9999
<b>Oriente</b>	Verano	3.65E+07 ± 1.30E+07 c	7 ± 7.9 ab	99.9999
	Otoño	5.80E+07 ± 1.75E+07 c	5460 ± 5980 b	99.9999
	Invierno	5.35E+07 ± 3.25E+07 c	1360 ± 1480 b	99.9999
	Primavera	5.75E+07 ± 3.28E+07 c	2 ± 2 ab	99.9999

Fuente: (Reyes, 2016)

El agua que trata la planta sur cumplió con los límites máximos permisibles de CF en las cuatro temporadas del año por lo que puede reusarse para regar cultivos agrícolas y jardines, mientras tanto que el efluente de la planta oriente sólo cumplió con los límites permisibles en verano y primavera, lo que indica que el proceso de desinfección del



agua tratada no es constante, ya sea por mantenimiento de las instalaciones o por falta de cloro.

La eficiencia de remoción de microorganismos patógenos en las plantas de tratamientos se determinó con base a la cantidad de coliformes fecales eliminados del agua, en las dos plantas fue del 99.9999% excepto en otoño que fue del 99.9905% y en invierno de 99.9974% en la planta oriente.

**CHOQUE (2018)**, en su investigación titulada “**Filtros de carbón vegetal para remoción de virus y bacterias en agua residual doméstica**”, evaluó la eficiencia de remoción de indicadores de microorganismos patógenos en aguas residuales domésticas diluidas, tratadas mediante filtros de carbón vegetal no activado (carbón vegetal) con flujo subsuperficial continuo. En los filtros se probaron tres diámetros efectivos de grano de carbón (4.4, 11.9 y 15.8 mm) y dos cargas orgánicas (0.9 y 1.8 g DBO5 m-2 d-1) durante dos períodos de operación que duraron 78 y 79 días. Los filtros lograron reducir  $0.95 \pm 0.6$  Log10 de coliformes termotolerantes y  $1.11 \pm 0.4$  Log10 de colifagos, que representa una eficiencia de remoción del 89% y 90% respectivamente. En el ANVA solo el diámetro de grano de carbón vegetal tuvo un efecto significativo en la remoción de coliformes termotolerantes; la comparación de promedios demostró que el diámetro de grano más pequeño (4.4 mm) alcanzó mejores remociones. El diámetro de grano y la carga orgánica (con los niveles probados) no fueron estadísticamente significativos en la remoción de colifagos, que pudo alcanzar los valores encontrados de remoción debido a otros factores. La investigación permitió conocer la aplicación del carbón vegetal como medio filtrante bajo régimen de flujo subsuperficial continuo y evaluar su potencial implementación como tratamiento de aguas residuales domésticas, que puede acumular el efecto de reducción de patógenos para el reuso seguro en el riego.

### **2.1.2. Antecedente Nacional**

**CHUCHON y AYBAR, (2005)**, en su investigación titulada “**Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la Planta de Tratamiento de**

**Aguas Residuales “La Tatora”, Ayacucho, Perú”,** Se realizó entre los meses de Marzo a Julio del 2005 para determinar la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales (BCF) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Tatora” de la ciudad de Ayacucho. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Microbiología de la misma planta; donde se analizaron 70 muestras de agua. Para la cuantificación de la población de BCF, se aplicó la técnica de Tubos Múltiples de Fermentación (NMP); y el método respirométrico para determinar la DBO5. Con los resultados obtenidos, se calculó el porcentaje de remoción de BCF y DBO5 aplicando la siguiente fórmula: % Remoción =  $[(C \text{ afluente} - C \text{ efluente}) / C \text{ afluente}] \times 100$ . La capacidad de remoción de BCF de la PTAR “La Tatora” fue del 99.9850%, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de  $1.29 \times 10^5$  NMP/100 ml, siendo deficiente, pues para alcanzar una cantidad promedio de  $<10^3$  NMP/100 ml de BCF (agua de clase III, Ley General de Aguas D.L. 17752) se requiere que la PTAR tenga una capacidad de remoción del orden del 99.9999%; en tanto que la remoción de la DBO5 fue de 86.2%, evacuando efluentes con 46.35 mg/l, proceso deficiente en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas D.L. 17752 para aguas de clase III, que establece una concentración máxima de 15 mg/l que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95.5947%.

**ALMEYDA Y CÓRDOVA (2007)**, en su tesis denominada “**Tratamiento alternativo de aguas residuales domésticas mediante filtros consecutivos para poblaciones rurales**” indica que la filtración biológica mediante carbón vegetal, podría ser considerada una alternativa en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, por tener eficiencias semejantes a filtros biológicos que utilizan medios convencionales. Este trabajo consiste en evaluar el comportamiento del carbón vegetal como medio filtrante en reactores abiertos de flujo ascendente a escala piloto. La investigación se realizó en dos etapas: La Etapa I, encargada de la evaluación de la eficiencia del proceso en función del diámetro con mejor retención de sólidos y mayor remoción de DBO. Una vez obtenido este diámetro e intentando optimizar el

desempeño del sistema, se probó la viabilidad de tratar el carbón vegetal con un agente externo. Posteriormente se compararon las eficiencias del carbón natural frente a un medio convencional (grava) a condiciones similares de carga orgánica y tamaño del medio. La Etapa II, con el desarrollo de una planta piloto de mayores dimensiones, buscando mejorar la remoción de DBO y favorecer el proceso de nitrificación en el reactor. Se utilizó como medio filtrante carbón vegetal de 2" en un recipiente de PVC de 10 cm. de diámetro por 1.60 mts. de altura, en el cual se instalaron tres tomas de muestra cada 0.50 mts. El afluente del filtro provino de un tanque séptico a escala. Se estableció la altura óptima de aireación a 0.50 mts respecto a la base del filtro en relación a los análisis de OD, ensayos de la DBO y mediciones de turbidez. Inicialmente el desempeño del sistema en remoción de DBO fue bajo y no logró una efectiva retención de sólidos, luego de un período de maduración de 15 días seguido por la etapa de aireación del reactor, la eficiencia en remoción de la DBO incrementó de manera progresiva, obteniendo el sistema Tanque séptico - Filtro biológico un 77% de eficiencia en remoción de la DBO. La determinación de nitrógeno como nitratos en el efluente final superó los 24 mg/l.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Agua residual**

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales, por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos, como la arcilla, sedimentos y otros residuos, se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO<sub>2</sub>; es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. (Crites, Tchobanoglous, 2000).

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado secundario ya que está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios. (Crites, Tchobanoglous, 2000).

### **2.2.2. Carga hidráulica**

La carga hidráulica se define como el gasto aplicado por unidad de superficie. Las unidades usuales en el sistema decimal son m<sup>3</sup> de agua aplicados por m<sup>2</sup> de superficie del medio de soporte por día (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d). (CONAGUA, (2015)).

La carga hidráulica es equivalente a la velocidad superficial que tiene el agua residual con la recirculación al pasar por el área plana del corte transversal del filtro. Sin embargo, ya que el flujo por el empaque es en láminas delgadas, la velocidad real es mayor; el incremento de la carga hidráulica es proporcional a la velocidad real. La carga hidráulica afecta el tiempo de residencia del líquido que se filtra a través del empaque y simultáneamente la cantidad del líquido retenido en cualquier momento por el empaque. Es decir, el tiempo de retención disminuye con el aumento de la carga hidráulica. Reyes y Reyes, (2005).

### **2.2.3. Carga microbiana**

La carga microbiana o biocarga, es el número y tipo de microorganismos viables presentes en un elemento determinado (MINSA, (2002)), para el estudio que estamos realizando, vendría a ser la cantidad de materia fecal presente en el efluente de los filtros percoladores y cámara de desinfección.

### **2.2.4. Filtración**

Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.

Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o como proceso final de pulimento en el caso de aguas turbias.

Los medios porosos utilizados además de la arena —que es el más común son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y también el pelo de coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena; no es recomendable el uso de materiales putrescibles. Lidia de Vargas (2004)

### **2.2.5. Filtros Percoladores**

El filtro percolador moderno consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual, fenómeno del que recibe el nombre el proceso. El medio filtrante suele estar formado por piedras, o diferentes materiales plásticos de relleno. Metcalf & Eddy (1997)

Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hallen separados del medio. Este sistema de drenaje inferior es importante, tanto como instalación de recogida como por su estructura discontinua a través de la cual puede circular el aire. Metcalf & Eddy (1997).

La materia orgánica presente en el agua residual se degrada por la acción de la población de microorganismos adherida al medio.

El filtro percolador o biológico es muy usado para reducir la carga orgánica del agua residual. En esta unidad de tratamiento, el agua residual se pone en contacto con la biomasa adherida en el medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica. Los medios de soporte de los microorganismos, generalmente están constituidos de piedras o material sintético.

### **2.2.6. Carbón vegetal**

Al carbón vegetal se le designa con el nombre de “carbón primario”, es decir, que no es activo de por sí, pero que se convierten tal cuando los hidrocarburos retenidos fuertemente por el carbón, son oxidados para producir carbones de alto poder adsorbente. Lutteral (1940)

Earl D. (1975), menciona que las propiedades físico-químicas del carbón vegetal son: densidad aparente, humedad, contenido de cenizas y de material volátil, las cuales son fácilmente influenciadas por la especie utilizada como materia prima y los métodos de obtención de carbón. Según el Manual del Carbón Activo, de la E.U Politécnica de la Universidad de Sevilla, decir que el carbón vegetal es “un combustible sólido de color negro con mayor poder calorífico que la madera”, no es suficiente, ya que esta definición olvida que el carbón vegetal también es un material con una gran superficie específica muy utilizado como filtro. Actualmente la importancia del carbón radica en su uso como combustible o filtro.

## **PROPIEDADES DEL CARBON VEGETAL:**

### **Propiedades físico químicas**

#### **a. Densidad:**

La densidad del carbón vegetal depende del material utilizado para su obtención. La densidad del carbón vegetal aumenta con la densidad del material que se utilice para su obtención.

#### **b. Superficie específica:**

La superficie específica es el cociente entre la superficie y la unidad de masa.

Los materiales con muchos poros tienen una superficie específica alta, mientras que los materiales con pocos poros la tienen baja.

Esta magnitud es especialmente importante a nivel industrial ya que los materiales con alta superficie específica suelen tener un poder de absorción de gases muy alto.

#### **c. Humedad:**

La humedad de la madera influye mucho más en el rendimiento del carbón vegetal obtenido, que la especie de la que se obtiene el mismo.

A mayor humedad, menor rendimiento. Esto es lógico, ya que, si la humedad es grande, la cantidad de materia seca es menor a igualdad de peso y, por lo tanto, la cantidad de carbón obtenido es menor.

### **Propiedades químicas:**

#### **a. Poder calorífico:**

El poder calorífico del carbón es mayor que el de la madera. La razón fundamental de esta diferencia es que en el carbón vegetal el porcentaje de carbono es más alto que en la madera. De hecho, el proceso de carbonización se considera óptimo cuando el carbón vegetal obtenido presenta altos porcentajes de carbono y por tanto alto poder calorífico.

### **USOS DEL CARBÓN VEGETAL**

Según Guardado et al. (2010), El carbón vegetal se usa como:

- Absorbente, el carbón vegetal por ser un material con porosidades y cavidades pequeñas ha sido aplicado como material absorbente. Hay datos históricos que revelan el uso del carbón como material absorbente, este se utilizaba en su mayoría como absorbente médico.

El carbón vegetal no tiene una textura porosa tan fina como la de los carbones activados. Sin embargo, resulta más barata y sencilla de producir, por lo que a pesar de ser un absorbente relativamente de baja eficiencia, se pueden utilizar en determinadas aplicaciones que no necesitan de una gran capacidad de absorción, como, por ejemplo, para absorber moléculas de tamaño relativamente grandes que se encuentren en un rango menor a 50 nm, una de las aplicaciones de este tipo es la clarificación de bebidas alcohólicas como el vino, cerveza, whisky, etc.

#### **2.2.7. Coliforme total:**

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 horas a 35° C. Pertenecen a este grupo los géneros: Escherichia, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella.

Las bacterias de este género se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza,

especialmente en suelos, semillas y vegetales. En general, las bacterias coliformes totales se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre.

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes totales son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal.

Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal. Desde el punto de vista de la salud pública, esta diferenciación es importante, puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal. Cabrera y Hernández (2008).

#### **2.2.8. Coliforme fecal:**

Son bacterias que forman parte del grupo coliforme total y son definidas como bacilos gramnegativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a  $44.5 \pm 0.2$  °C, dentro de las  $48 \pm 2$  horas. Este grupo también es denominado termotolerante y la especie más predominante es la *Escherichia coli*, que constituye una gran proporción de la población intestinal humana. Cabrera y Hernández (2008).



### **2.2.9. Desinfección:**

En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades.

En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

La desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración.

Para diferenciar claramente los conceptos referidos a la destrucción de organismos patógenos del agua, es necesario distinguir los siguientes términos:

- a) Agente esterilizante: es aquel capaz de destruir completamente todos los organismos (patógenos o no).
- b) Desinfectante: es el agente que inactiva los gérmenes patógenos.
- c) Bactericida: agente capaz de inactivar las bacterias.
- d) Cisticida: agente que tiene la capacidad de inactivar los quistes.

#### **Utilidad de la desinfección**

El uso de la desinfección como parte de un proceso de tratamiento del agua puede obedecer a los siguientes objetivos:

- a) Reducir el contenido inicial de contaminantes microbiológicos en el agua cruda (pre desinfección). Este proceso se utiliza solo en casos especiales.
- b) Desinfectar el agua luego de la filtración. Constituye el uso más importante.
- c) Desinfección simple de un agua libre de contaminantes fisicoquímicos que no requiere otro tratamiento.

Para que la desinfección sea efectiva, las aguas sujetas al tratamiento deben encontrarse libres de partículas coloidales causantes de turbiedad y color, las cuales pueden convertirse en obstáculos para la acción del agente desinfectante.

La desinfección alcanza una eficiencia máxima cuando el agua tiene una turbiedad cercana a la unidad. Por ello es indispensable desplegar los

esfuerzos necesarios para que los procesos de tratamiento previos sean efectivos y eficientes. (Barrenechea y Cánepa, 2005)

Los organismos presentes en el agua residual se pueden clasificar en 3 grupos principales: las bacterias, los parásitos eucarióticos y los virus. Las bacterias son los principales causantes de distintas enfermedades como la tifoidea, cólera, paratifoidea, disentería bacilar, entre otras, las cuales han causado un sinnúmero de muertes humanas en el pasado, actualmente la medicina moderna ha permitido combatirlas. Los parásitos son organismos que dependen y se alimentan de otros seres los cuales causan estragos y los vuelven vulnerables al ataque de otros organismos. Los parásitos más comunes que podemos observar en las aguas negras son de clase protozoos y helmintos, residen principalmente en las heces que se evacuan. (Crites & Tchobanoglous, 2000)

El cloro es uno de los desinfectantes más usados a nivel mundial, tanto en plantas de tratamiento como para potabilizar o asegurar agua bebible en domicilios, pero para su uso en plantas debe ser removido mediante métodos por su alta toxicidad al ser humano. El cloro viable por su costo y su fácil obtención y ha demostrado ser eficaz para la inactivación de los microorganismos. La luz ultravioleta genera radiación que destruye a las células y es de igual manera muy usado en el tratamiento secundario de aguas residuales, tiene problemas de disposición posterior de las lámparas, pero por su eficacia no se puede dejar a un lado. El ozono es un agente inestable que se debe mantener mediante energía eléctrica, pero su calidad de desinfección es alta a pesar de su costo de funcionamiento. (Romero Rojas, 2008)

En la siguiente tabla se pueden observar comparaciones entre los distintos agentes desinfectantes:

Cuadro 2: Comparación entre desinfectantes

Características/propiedades-respuesta	Cloro	Hipoclorito de sodio	Radiación UV	Ozono
<b>Disponibilidad:</b> Debe estar disponible en grandes	Bajo costo	Bajo costo Moderado	Moderado Alto costo	Moderado Alto costo

cantidades y a un precio razonable				
<b>Capacidad desodorizante:</b> Debe desodorizar mientras desinfecta	Alta	Moderada	N/A	Alta
<b>Homogeneidad:</b> La solución debe ser uniforme en composición.	Homogénea	Homogénea	Homogénea	N/A
<b>Interacción con material extraño:</b> No debe ser absorbida por materia orgánica o células.	Oxida la materia orgánica	Oxidante activo	Absorbancia de radiación UV	Oxida la materia orgánica
<b>Corrosión y mancha:</b> No debe desfigurar metales ni manchar la ropa.	Altamente corrosivo	Corrosivo	N/A	Altamente corrosivo
<b>No tóxico a las formas de vida:</b> Debe ser no tóxico a humanos y animales	Altamente tóxico a formas de vida	Tóxico	Tóxico	Tóxico
<b>Penetración:</b> Debe tener la capacidad de penetrar por superficies.	Alta	Alta	Moderada	Alta
<b>Seguridad:</b> Debe ser seguro de transportar, almacenar, manipular y usar	Alta	Moderada	Baja	Moderada
<b>Solubilidad:</b> Debe ser soluble en agua	Escasa	Alta	N/A	Alta
<b>Estabilidad:</b> La pérdida de acción germicida debe ser baja.	Estable	Escasamente inestable	Debe ser generada	Inestable, por generar
<b>Toxicidad en diluciones:</b> Debe ser altamente tóxico en altas diluciones.	Alta	Alta	Alta como se usa	Alta como se usa
<b>Toxicidad a temperatura ambiente:</b> Debe ser efectivo a temperaturas ambiente.	Alta	Alta	Alta	Alta

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Cuadro 3: Factores que afectan a la desinfección

Factor	Descripción
Mezcla inicial	Paso decisivo en la desinfección con químicos. El desinfectante debe ser esparcido por todo el líquido que va a ser desinfectado.
Tiempo de contacto	Tiempo durante el cual los organismos del fluido son expuestos directamente al agente químico o a la intensidad (radiación UV)
Concentración y tipo de agente químico	Dosis = concentración X tiempo de agentes químicos
Intensidad y naturaleza del agente químico	Dosis = intensidad X tiempo
Temperatura	La reactividad y las constantes de ionización para los agentes químicos son afectadas
Numero de organismos	Importante en el desarrollo histórico de la cinética de la desinfección. Los organismos que nadan libremente son menos importantes que aquellos escudados en los grupos de partículas o bacterias
Tipo de organismos	Los diferentes organismos tienen resistencias variables a los agentes desinfectantes
Características del agua residual	Influencia significativa en la efectividad de los agentes desinfectantes. Los componentes de aguas residuales pueden reaccionar con químicos desinfectantes o absorber energía

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

### 2.2.10. Escherichia coli:

Es un bacilo gramnegativo, anaerobio facultativo, móvil por flagelos peritricos (que rodean su cuerpo), no forma esporas, es capaz de fermentar la glucosa y la lactosa y descarboxila la lisina generalmente. El aislamiento de esta bacteria en el agua da alto grado de certeza de contaminación de origen fecal, alrededor del 99%. No es absoluta, porque se han aislado cepas de E. coli que no tienen origen fecal, pero es un grado de certeza más que razonable para certificar contaminación con ese origen. Sin embargo, el aislamiento de este microorganismo no permite distinguir si la contaminación proviene de excretas humanas o

animales, debido a que la *Escherichia coli* de origen animal y la de origen humano son idénticas, lo cual puede ser importante. Puesto que la contaminación que se desea habitualmente controlar es la de origen humano. Cabrera y Hernández (2008).

### **2.2.11. Fermentación en tubos múltiples para miembros del grupo de los coliformes:**

La prueba estándar para el grupo coliforme puede realizarse mediante una técnica de fermentación en tubos múltiples o por la técnica de filtración por membrana. Son aplicables ambos métodos teniendo en cuenta las limitaciones que se especifican y el propósito del estudio. En el caso de la técnica de fermentación en tubos múltiples, los resultados del estudio de los tubos y diluciones replicados se reportan en término de número más probable (NMP) de microorganismos existentes por 100 mL de agua. Este número, basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra.

La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizados. Se obtiene una información más satisfactoria cuando el mayor inóculo de muestra estudiado muestra gas en alguno o en todos los tubos, y el más pequeño muestra gas en ninguno o en la mayoría de los tubos. Cabrera y Hernández (2008).

## **2.3. Definición de términos básicos**

Las siguientes definiciones de los términos, han sido tomadas del Reglamento Nacional de Edificaciones, OS 090 – 2006:

- a) Afluente: Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o Proceso de tratamiento.
- b) Agua residual: Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
- c) Aguas residuales domésticas: Aguas residuales de origen doméstico, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- d) Aguas residuales municipales: Aguas residuales domésticas que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de

- origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.
- e) Cámara de contacto: Tanque alargado en el que el agua residual tratada entra en contacto con el agente desinfectante.
  - f) Coliformes fecales: parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.
  - g) Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentajes.
  - h) Efluente final: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
  - i) Remoción: La cantidad que se logra reducir al valor de un parámetro característico de las aguas residuales luego de ser tratada.
  - j) Reúso: el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

### III: MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de investigación

Según el enfoque de investigación fue cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecieron hipótesis y determinaron variables; se trazó un plan para probarlas (diseño); se midieron las variables en un determinado contexto; se analizaron las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrajeron una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Hernández et al, 2014)

Según el objetivo, fue aplicada ya que buscó la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basó fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto. (Lozada, 2014)

Según el grado de manipulación de las variables: la investigación fue considerada como experimental ya que se pretendió establecer el posible efecto de una causa que se manipula. (Hernández et al, 2014).

Según el grado de manipulación de las variables, la investigación fue considerada como experimental ya que fue un proceso que consistió en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). (Arias, 2012)

Según el periodo temporal en que se realiza fue: longitudinal, pues estos estudios recabaron datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos. (Hernández et al, 2014)

El alcance de investigación: para el presente estudio fue más allá de los conceptos, fenómenos, y del establecimiento de las relaciones entre conceptos; es decir estuvo dirigido a responder por las causas de los eventos, fenómenos hidráulicos y de los procesos biológicos que se darán durante la investigación.

El nivel de investigación fue correlacional, ya que este tipo de estudios tiene como finalidad la asociación de conceptos o variables las cuales permiten hacer predicciones y cuantificar las relaciones entre conceptos o variables. (Hernández et al, 2014)

En este nivel de investigación su objetivo se focalizó en justificar por qué sucede un hecho, bajo qué condiciones se manifiesta y la relación que pudiera existir entre las variables.

### 3.2. Diseño de investigación

Fueron una serie de pruebas, con cambios experimentales en las variables independientes, es decir: filtros percoladores con diferente carga hidráulica y el sistema de desinfección.

Al ser un diseño de investigación para un nivel de investigación correlacional, se desarrolló una hipótesis de correlación, donde el análisis estadístico es el punto de partida y de acuerdo al tipo de objetivo general definido el diseño de investigación se utilizó el método estadístico de diseño de bloques completos al azar.

Los bloques 01, 02, 03, 04, 05 y 06; correspondieron a las diferentes cargas microbianas de las aguas residuales domésticas provenientes del efluente de los filtros percoladores.

En cada bloque, se tuvo 01 unidad de análisis (G). Todas las unidades de análisis tuvieron el tratamiento (X), es decir fue de carbón vegetal con diferentes cargas hidráulicas. La investigación como muestra el cuadro, fue con pre-prueba y post-prueba de forma semanal.

Cuadro 4: *Diseño de investigación*

DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR	BLOQUE 01 (CARGA HIDRAULICA 01) - CARBON VEGETAL	Unidad de análisis (G)	G <sub>1</sub> : M <sub>1</sub> X <sub>1</sub> M <sub>2</sub> ,M <sub>3</sub> ,M <sub>4</sub> , ... , M <sub>n</sub>
		Tratamiento (X)	
		Ausencia de tratamiento (--)	
		Medición (M)	
	BLOQUE 02 (CARGA HIDRAULICA 02) CARBON VEGETAL	Unidad de análisis (G)	G <sub>1</sub> : M <sub>1</sub> X <sub>2</sub> M <sub>2</sub> ,M <sub>3</sub> ,M <sub>4</sub> , ... , M <sub>n</sub>
		Tratamiento (X)	
		Ausencia de tratamiento (--)	
		Medición (M)	
		Unidad de análisis (G)	G <sub>1</sub> : M <sub>1</sub> X <sub>3</sub> M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> ,M <sub>4</sub> , ... , M <sub>n</sub>
		Tratamiento (X)	
		Ausencia de tratamiento (--)	



	BLOQUE 03 (CARGA HIDRAULICA 03) CARBON VEGETAL	Medición (M)	
	BLOQUE 04 (CARGA HIDRAULICA 04) CARBON VEGETAL	Unidad de análisis (G)	G <sub>1</sub> : M <sub>1</sub> -- M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , ... , M <sub>n</sub>
		Ausencia de tratamiento (--)	
		Medición (M)	
	BLOQUE 05 (CARGA HIDRAULICA 05) CARBON VEGETAL	Unidad de análisis (G)	G <sub>1</sub> : M <sub>1</sub> – M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , ... , M <sub>n</sub>
		Ausencia de tratamiento (--)	
		Medición (M)	
	BLOQUE 06 (CARGA HIDRAULICA 06) - CARBON VEGETAL	Unidad de análisis (G)	G <sub>1</sub> : M <sub>1</sub> -- M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , ... , M <sub>n</sub>
		Ausencia de tratamiento (--)	
		Medición (M)	

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Métodos o técnicas

La presente investigación se realizó en cuatro etapas, la primera etapa consistió en el diseño de las unidades de la Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales. La segunda etapa consistió en la construcción de la planta diseñada, la tercera etapa consistió en la puesta en marcha y toma de muestras de las unidades correspondientes, con una serie de procedimientos en el laboratorio, en el cual evaluaremos la cantidad de coliformes fecales y coliformes totales, en este caso, se muestrearon los filtros percoladores y las cámaras de contacto del sistema de desinfección; la última etapa fue la lectura de los resultados obtenidos luego de la toma de muestras realizadas, con estos datos se realizaron los análisis de los datos obtenidos, de acuerdo a la normatividad local, así como también la interpretación de los análisis estadísticos.

#### 3.3.1. Diseño de las unidades a analizar

a. Diseño de las cámaras de contacto

- ✓ Consideraciones de diseño:

$$\text{Caudal} = 0.00183 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Tiempo de retención} = 30 \text{ min}$$

- ✓ Cálculo del volumen teórico:

*Ecuación 1: Volumen teórico*

$$V_t = Q * t$$

$$V_t (\text{m}^3) = 0.00183 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 30 \text{ min}$$

$$Vt (m^3) = 0.0055 m^3$$

✓ Con este volúmen, asumimos:

$$Longitud\ total = 1.00\ m$$

✓ Determinamos las medidas:

*Ecuación 2: Determinación de las medidas*

$$Lt = \frac{Vt}{(b * h)}$$

$$1.00 = \frac{0.0055}{(b * h)}$$

$$Ancho = 0.22\ m$$

$$Altura = 0.25\ m$$

### 3.3.2. Construcción de la Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales

Luego de haber realizado el diseño de las cámaras de contacto y teniendo las medidas de largo, ancho y altura; además del número de unidades de cámaras de contacto. Se procedió a la construcción de las unidades.

El plano de la planta de tratamiento en planta y en cortes, se anexa al final de la tesis.

Fotografía 1: Cámaras de contacto con pantallas deflectoras



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Toma de muestras del agua residual

Las muestras para el análisis de coliformes totales y coliformes fecales se realizaron en dos unidades:

### **a. Filtros percoladores con diferente carga hidráulica**

La toma de muestras para el análisis microbiológico se realizó recolectando el agua residual en un frasco de vidrio ámbar previamente esterilizado.

En esta unidad se identificaron las características del tipo de medio filtrante y el espesor de dicho medio. Así mismo, se midió la superficie específica del medio filtrante y su caudal de operación.

Las condiciones físico químicas del afluente, también fueron medidas en esta unidad, como son el pH, la temperatura, y la DBO.

Fotografía 2. Toma de muestra en los filtros percoladores



Fuente: Elaboración propia

### **b. Cámaras de contacto de cloro**

La toma de muestras para el análisis microbiológico se realizó recolectando el agua residual en un frasco de vidrio ámbar previamente esterilizado. En esta unidad se tomaron muestras al ingreso de la unidad (proveniente de los sedimentadores secundarios) y otra a la salida de la misma.

En esta unidad tomó también la muestra de cloro residual a la salida de la cámara de contacto.

Fotografía 3. Toma de muestra en las cámaras de contacto



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4. Pruebas realizadas en el laboratorio

Las pruebas realizadas en el laboratorio para la determinación de coliformes totales consistieron en la siembra de la muestra tomadas, en los tubos de ensayo que previamente fueron preparados, y los cuales contienen caldo lauril, para el crecimiento microbiano de los microorganismos.

Las diluciones usadas para la determinación de coliformes totales en el ingreso a las unidades fueron  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$ .

Las diluciones usadas para la determinación de coliformes totales a la salida de las cámaras de contacto fueron  $10^1$ ,  $10^0$ ,  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$ .

A continuación, se describen los materiales, equipos, reactivos y procedimientos que fueron seguidos:

#### **Materiales:**

- Botellas de vidrio de 250 ml
- Pipetas automáticas
- Tubos de ensayo de 20 ml
- Tubos o campanas Durham 6 x 50 mm
- Gradillas metálicas para 24 tubos
- Probeta de 100 ml
- Pisceta de 500 ml
- Tips (Puntas) de 1000uL sin filtro azules
- Frascos ámbar

- Baldes de 6 litros
- Material de venoclisis

#### Equipos:

- Autoclave
- Balanza analítica
- Incubadora
- Fotómetro HI96710 portátil de pH, cloro total y cloro libre
- Equipo medidor de turbiedad

#### Reactivos:

- Frascos de caldo lauril sulfato de 500 gr
- Frasco de reactivo del indol Kovacs
- Pastillas de DPD HI 93701-01
- Hipoclorito de calcio al 70%
- Agua de dilución
- Agua destilada
- Solución A (34 g Fosfato de Potasio Monobásico)
- Solución B (Sulfato de Magnesio Heptahidratado)

#### Procedimiento experimental:

##### ➤ Preparación de la solución de cloro para la desinfección

El tratamiento terciario en la planta de tratamiento fue la desinfección, el cual para la presente investigación se realizó en las cámaras de contacto a las cuales llegaban las aguas residuales tratadas en los tratamientos secundarios (filtros percoladores y sedimentador secundario), para ello se determinó la dosis óptima y la concentración necesaria para tratar el agua residual.

Para ello se utilizó la siguiente metodología:

*Cuadro 5: Datos para cálculo de dosis de cloro*

1.1.	Caudal que deseamos clorar:	0.0305	l/s
	Caudal que deseamos clorar:	0.00183	m3/min
1.2.	Volúmen del tanque de cloración	6	lts
1.3.	Concentración deseada (total)	1	mg/lt
1.4.	Tipo de hipoclorito de calcio	70	%
1.5.	Concentración solución madre	2000	ppm
1.6.	Tiempo clorado por día	14	h/d

Fuente: Elaboración propia

- La concentración de cloro usada para la desinfección fue de 2000 ppm.
- El tiempo de duración de la solución madre es de 6 días, teniendo un tiempo clorado de 14 h/d.
- Se determinó la dosis óptima (número de gotas/min)

*Ecuación 3: Dosis de cloro (ml/min)*

$$dosis\ solución \left( \frac{ml}{min} \right) = \frac{vol.\ tanque\ (lt) * 60000}{tiempo\ duración\ (días) * tiempo\ clorado\ x\ día\ (seg)}$$

**dosis solución = 1.19 ml/min**

*Ecuación 4: Dosis de cloro (gotas/min)*

$$dosis\ solución \left( \frac{gotas}{min} \right) = dosis\ solución \left( \frac{ml}{min} \right) * 20$$

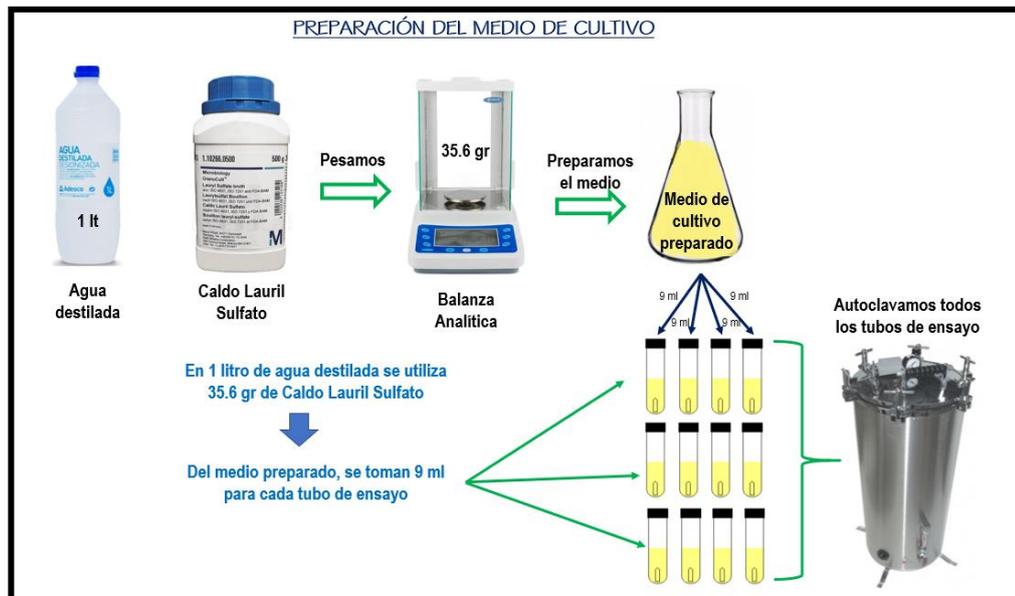
**dosis solución = 23.81 gotas/min**

➤ **Coliformes totales:**

**Preparación del medio de cultivo**

El procedimiento para la preparación del medio de cultivo se muestra en la siguiente figura:

Figura 1. Preparación del medio de cultivo



Fuente: Elaboración propia

Describiré a continuación los pasos:

- Teniendo los reactivos necesarios, los cuales fueron el caldo lauril sulfato y el agua destilada, procedimos a pesar el sustrato.
- Para 1 litro de agua destilada, pesamos 35.6 gr de Caldo Lauril Sulfato.
- En un matraz realizamos la mezcla de ambos, hasta obtener el medio líquido.
- Seguidamente, con el uso de una pipeta vertimos 9 ml en los tubos de ensayo, los cuales deben de tener los tubos o campanas Durham dentro de ellos, boca abajo.
- Preparamos la mezcla nuevamente, hasta que tengamos los 180 tubos de ensayo con el medio de cultivo.
- Finalmente, llevamos a la autoclave todos estos tubos, hasta que llegue a una temperatura de 120 °C.

Fotografía 4. Tubos de ensayo con el medio de cultivo



Fuente: Elaboración propia

➤ **Preparación del agua de dilución**

El procedimiento para la preparación del agua de dilución se muestra en la siguiente figura:

Figura 2: Preparación del agua de dilución



Fuente: Elaboración propia

Describiré a continuación los pasos:

1. Teniendo los reactivos necesarios, los cuales fueron el agua destilada, la Solución A (34 g Fosfato de Potasio Monobásico) y la Solución B (Sulfato de Magnesio Heptahidratado), procedimos a realizar la mezcla.
2. En una probeta de 1000 ml, mezclamos 1.25 ml de solución A, más 5 ml de Sulfato de Magnesio Heptahidratado, esto para 1 litro de agua destilada.
3. Teniendo la solución ya preparada procedimos a repartir 90 ml de esta mezcla, a cada frasco de 250 ml.
4. Repetimos el paso número 2, hasta poder completar todos los frascos necesarios para poder realizar el sembrado.

Fotografía 5: Agua de dilución preparada



Fuente: Elaboración propia



➤ **Sembrado de las muestras del afluyente**

El procedimiento para el sembrado de muestras del afluyente, se muestra en la siguiente figura:

Figura 3: Preparación de diluciones previas al sembrado

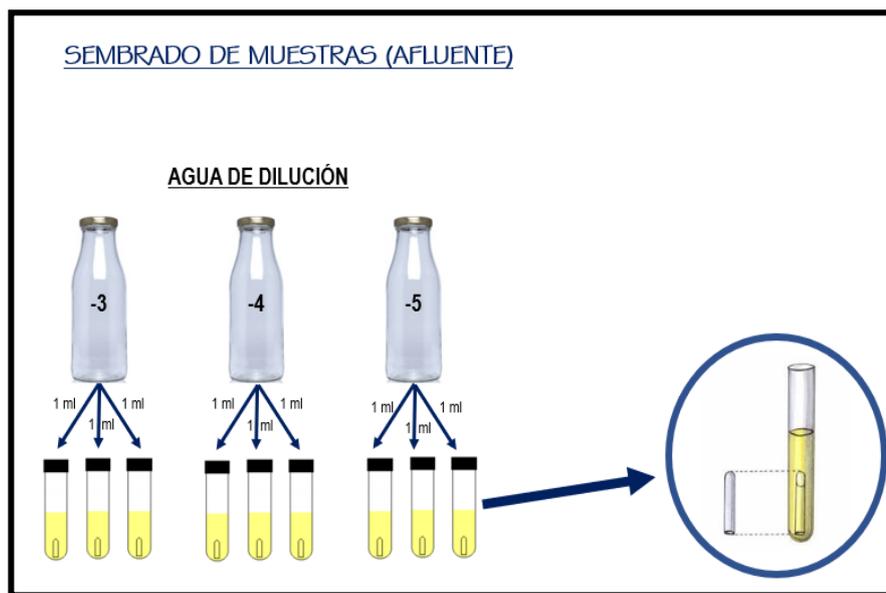


Fuente: Elaboración propia

Describiré a continuación los pasos de la siembra del afluyente:

1. Para este procedimiento se contaban con las muestras de los seis filtros percoladores y las seis cámaras de contacto.
2. Previamente se tomó en cuenta que los tubos Durham que están dentro de los tubos de ensayo no debían contener burbujas en su interior. Esto nos aseguró que no haya errores al momento de realizar la lectura.
3. Es importante también antes de realizar el procedimiento, rotular cada tubo para no tener confusiones.
4. Teniendo nuestra muestra cruda, y los frascos de dilución ya preparados, procedimos a realizar la siembra, para este caso usamos las tres últimas diluciones,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , y  $10^{-5}$ . Como se muestra a continuación:

Figura 4: Siembra de muestras del afluente



Fuente: Elaboración propia

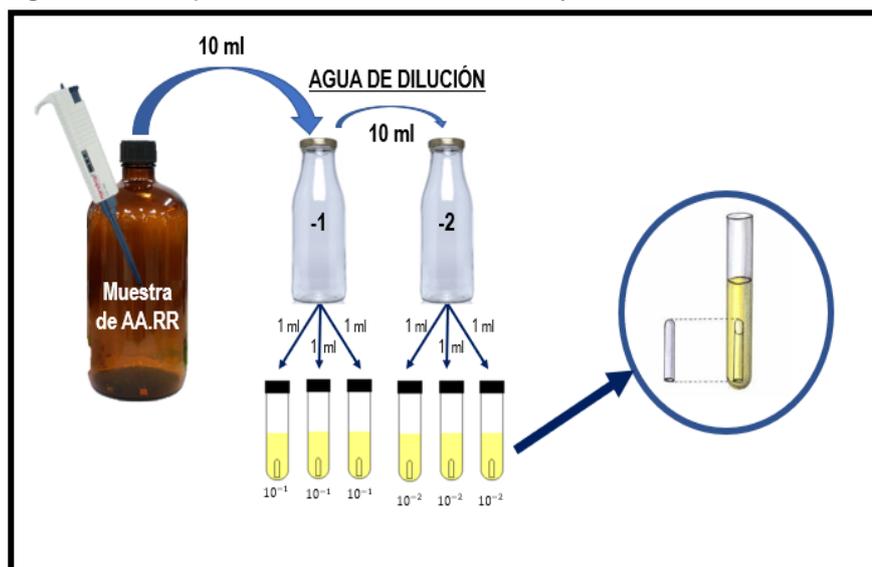
5. De cada frasco de dilución repartimos 1 ml a cada tubo de ensayo, el cual ya contiene el medio de cultivo.

6. Repetimos este paso hasta culminar con los 36 tubos de ensayo.

➤ **Siembra de las muestras del efluente:**

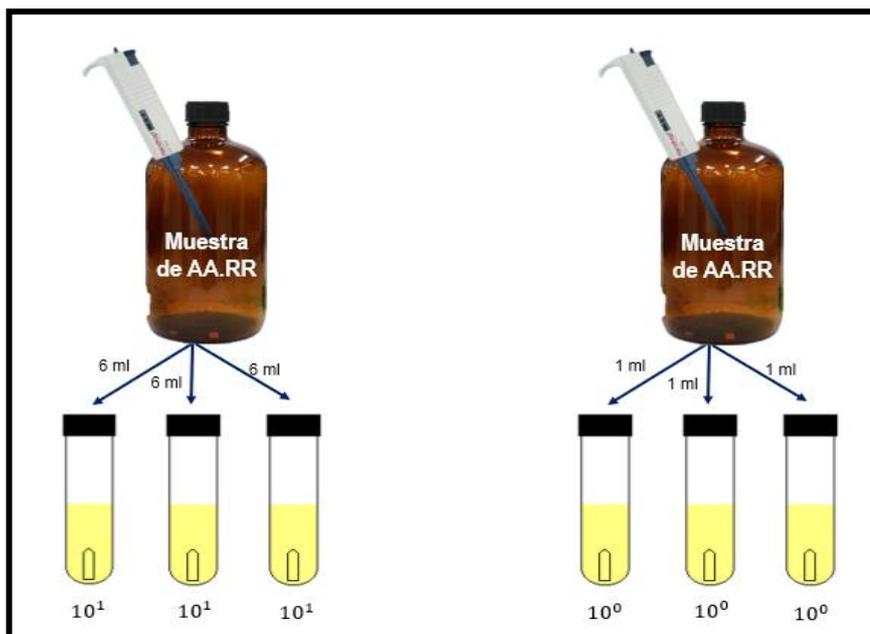
El procedimiento para el sembrado de muestras tanto del efluente, se muestran en las siguientes figuras:

Figura 5: Preparación de la dilución -1 y -2



Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Preparación de la dilución 1 y 0



Fuente: Elaboración propia

Describiremos a continuación los pasos de la siembra del efluente:

1. Para este procedimiento se contó con las muestras de las seis cámaras de contacto.
2. El efluente ya es agua tratada, por lo tanto, el procedimiento difiere de la primera siembra realizada para el afluente.
3. Para las diluciones -1 y -2, tomamos 10 ml de muestra de agua residual de cada punto (S1, S2, S3, S4, S5 y S6), y la vertimos en el frasco de dilución de (-1). Luego de ello vertimos 1 ml a cada tubo de ensayo
4. Para el frasco de dilución (-2), tomamos 10 ml del frasco de dilución (-1). Luego de ello vertimos 1 ml a cada tubo de ensayo.
5. Para la dilución 1, el procedimiento es directo, se vertió 6 ml de muestra de cada punto a los tubos de ensayo, teniendo en cuenta que este no quede al tope del tubo, para poder realizar la lectura.
6. Para la dilución 0, también la siembra se hizo de manera directa, se vertió 1 ml de muestra cruda de cada punto a cada tubo de ensayo.

Fotografía 6. Medio de cultivo con la muestra sembrada



Fuente: Elaboración propia

➤ **Incubación de las muestras a 37 °C**

Una vez sembrada las muestras en todos los tubos de ensayo y a las diluciones anteriormente señaladas, procedimos a incubar las muestras.

Como se muestra en la siguiente fotografía:

Fotografía 7: Incubación de las muestras



Fuente: Elaboración propia

➤ **Coliformes fecales**

Para la determinación de coliformes fecales, se usó el método colorimétrico, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- a. La muestra para este análisis fueron los tubos previamente sembrados e incubados que fueron usados para la determinación de coliformes totales. De acuerdo al procedimiento señalado en el ítem 2.3.4.1.
- b. Luego de haber realizado la lectura de los coliformes totales, se procedió a añadir el Reactivo de Kovacs, el cual produce la coloración rosa en tubos positivos.

Fotografía 8. Tubos de ensayo previos al uso del reactivo



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5. Lectura de los resultados obtenidos

Luego de haber retirado las muestras de la incubadora, se realizó la lectura de los coliformes fecales y coliformes totales para cada punto de muestreo.

#### a. Prueba confirmativa de microorganismos Coliformes Totales

- ✓ Luego de haber retirado los tubos de ensayo de la incubadora, se organizaron de acuerdo a la dilución (-3; -4 y -5) y de acuerdo a la unidad de análisis que corresponda (filtros, ingreso a la desinfección, salida de la desinfección).
- ✓ Se agitaron suavemente los tubos para su homogenización.
- ✓ Se registraron como positivos aquellos tubos en donde se observe turbidez (crecimiento) y producción de gas después de un periodo de incubación de 24 a 48 h.
- ✓ Se consultó la tabla de NMP (Anexo N°05) para conocer el número más probable de organismos coliformes totales/100 mL.

Fotografía 9. Tubos de ensayo luego de ser incubados



Fuente: Elaboración propia

#### b. Prueba confirmativa de microorganismos Coliformes Fecales

- ✓ Luego de haber retirado los tubos de ensayo (usados en la determinación de Coliformes Totales), de la incubadora, los organizamos de acuerdo a la dilución (1; 0; -1 y -2).
- ✓ Añadimos 0.2 a 0.3 mL del Reactivo de Kovacs a cada tubo de ensayo.
- ✓ La presencia de una coloración roja en la superficie del tubo se consideró como prueba positiva para la presencia de indol.
- ✓ Se consultó la tabla de NMP (Anexo N°05) para conocer el número más probable de organismos coliformes fecales/100 mL.

Fotografía 10. Tubos positivos al Reactivo de Kovacs



Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Población y muestra

- **Población:**

La población de la presente investigación fue el caudal, proveniente de las viviendas de la localidad de Tuyu, Distrito de Marcará, Carhuaz.

- **Muestreo:**

El tipo de muestro fue de tipo no probabilístico y el muestreo fue por partes realizado en dieciséis semanas.

- **Muestra:**

La muestra de agua residual fue el caudal de tratamiento, el cual ingresaba a las unidades de tratamiento, filtros percoladores con carbón vegetal y cámaras de contacto de cloro.

### 3.5. Instrumentos validados de recolección de datos:

Los instrumentos de recolección planteados para la recolección de datos fueron los siguientes:

**a. Fichas de recolección de datos:**

Estas fichas fueron llenadas durante las 16 semanas que se realizaron el monitoreo de los parámetros, los cuales se dividieron en 2 tipos de fichas; la primera que contenía datos de parámetros de campo, como son el caudal, la temperatura y el pH; el segundo tipo de ficha, contenía información sobre las dosis, concentración y medición de cloro residual obtenida a la salida de las unidades de desinfección.

**b. Fichas de reporte de laboratorio:**

En estas fichas, se han reportado los datos de coliformes totales y coliformes fecales, medidas en los ingresos a los filtros percoladores, ingreso a las cámaras de contacto de cloro y a la salida del mismo.

**c. Equipos, materiales e instrumentos:**

Los equipos, materiales e instrumentos utilizados para realizar la medición de los parámetros establecidos para esta investigación fueron descritos en el ítem 3.3. métodos o técnicas.

### 3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información:

El procesamiento de los datos se realizó de la siguiente manera:

- a. Una vez recolectado los datos mediante las fichas de recolección y haciendo uso de equipos, instrumentos y materiales validados, procedimos a ordenar los datos.
- b. Los datos se ordenaron y se clasificaron de acuerdo a las unidades analizadas y a las semanas correspondientes.
- c. Se procedió a realizar el análisis estadístico, usando el software estadístico SPSS Versión 26 en su versión demo, en la cual se determinó la normalidad de los datos, y se realizó el análisis correlacional de las variables usando la prueba de correlación de Spearman.



## IV: RESULTADOS

En este capítulo los resultados están presentados en tablas y gráficos

### 4.1. Indicadores de los filtros percoladores:

Los siguientes indicadores de los filtros percoladores fueron los siguientes:

Tabla 2: Indicadores de los filtros percoladores

Indicador	Escala de medición	Filtros percoladores					
		1	2	3	4	5	6
Tipo de medio filtrante	Descriptivo	Carbón vegetal					
Caudal de operación	m <sup>3</sup> /d	0.4752					
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	0.06	0.05	0.03	0.06	0.05	0.03

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2. Coliformes totales al ingreso de los filtros percoladores:

Tabla 3: Resultados de C.T al ingreso de los filtros percoladores

UNIDAD SEMANA	FILTROS PERCOLADORES					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
2	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
3	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
4	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
5	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
6	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
7	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
8	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
9	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
10	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
11	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
12	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
13	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
14	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
15	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000
16	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000	2400000

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Coliformes fecales al ingreso de los filtros percoladores:

Tabla 4: Resultados de C.F al ingreso de los filtros percoladores

UNIDAD SEMANA	FILTROS PERCOLADORES					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
2	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
3	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
4	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
5	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
6	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
7	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
8	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
9	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
10	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
11	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
12	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
13	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
14	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
15	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000
16	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Coliformes totales al ingreso de la desinfección:

Tabla 5: Resultados de C.T al ingreso de la desinfección

UNIDAD SEMANA	INGRESO A LA DESINFECCION					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
2	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
3	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
4	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
5	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
6	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
7	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
8	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
9	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
10	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
11	24000000	11000000	11000000	24000000	11000000	11000000
12	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
13	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
14	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	11000000
15	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000
16	11000000	11000000	11000000	24000000	11000000	24000000

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Coliformes fecales al ingreso de la desinfección:

Tabla 6: Resultados de C.F al ingreso de la desinfección

UNIDAD SEMANA	INGRESO A LA DESINFECCION					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
2	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
3	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
4	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
5	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
6	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
7	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
8	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
9	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
10	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
11	24000000	11000000	11000000	24000000	11000000	11000000
12	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000
13	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	24000000
14	11000000	24000000	11000000	11000000	24000000	11000000
15	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000
16	11000000	11000000	11000000	24000000	11000000	24000000

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. Coliformes totales a la salida de la desinfección:

Tabla 7: Resultados de C.T a la salida de la desinfección

UNIDAD SEMANA	SALIDA DE LA DESINFECCION					
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6
1	750	750	430	750	930	930
2	750	750	430	930	930	930
3	750	430	430	930	930	930
4	750	750	750	930	930	930
5	750	750	750	930	750	930
6	750	750	750	930	930	930
7	930	430	750	930	750	750
8	930	930	750	930	930	930
9	930	430	750	930	930	930
10	750	930	750	750	930	750
11	750	930	750	750	750	750
12	750	930	430	750	930	930
13	430	930	430	750	430	430
14	750	930	430	930	640	750
15	430	750	430	930	930	930
16	750	930	430	750	930	930

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7. Coliformes fecales a la salida de la desinfección:

Tabla 8: Resultados de C.F a la salida de la desinfección

UNIDAD	SALIDA DE LA DESINFECCION					
SEMANA	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6
1	750	750	430	750	930	930
2	750	750	430	930	930	930
3	750	430	430	930	930	930
4	750	750	750	930	930	930
5	750	750	750	930	750	930
6	750	750	750	930	930	930
7	930	430	750	930	750	750
8	930	930	750	930	930	930
9	930	430	750	930	930	930
10	750	930	750	750	930	750
11	750	930	750	750	750	750
12	750	930	430	750	930	930
13	430	930	430	750	430	430
14	750	930	430	930	640	750
15	430	750	430	930	930	930
16	750	930	430	750	930	930

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8. Cloro residual a la salida de la desinfección:

Tabla 9: Resultados de cloro residual a la salida de la desinfección

PARÁMETRO	CLORO RESIDUAL (mg/lit)					
SEMANA	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6
1	0,52	0,56	0,61	0,52	0,49	0,67
2	0,48	0,52	0,68	0,53	0,59	0,62
3	0,66	0,53	0,57	0,64	0,59	0,61
4	0,34	0,42	0,52	0,61	0,69	0,58
5	0,52	0,48	0,39	0,49	0,54	0,57
6	0,51	0,48	0,39	0,53	0,46	0,45
7	0,51	0,54	0,61	0,48	0,53	0,57
8	0,45	0,49	0,4	0,45	0,39	0,3
9	0,5	0,52	0,48	0,47	0,45	0,41
10	0,52	0,54	0,61	0,57	0,63	0,49
11	0,49	0,51	0,52	0,39	0,54	0,57
12	0,48	0,51	0,54	0,52	0,55	0,57
13	0,55	0,61	0,64	0,58	0,53	0,61
14	0,35	0,41	0,45	0,48	0,47	0,51
15	0,48	0,49	0,45	0,39	0,41	0,51
16	0,49	0,45	0,39	0,41	0,44	0,52

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9. Parámetros de pH y Temperatura en los filtros percoladores:

Tabla 10: Resultados de los parámetros de pH y temperatura

Unidad	FILTRO 1		FILTRO 2		FILTRO 3		FILTRO 4		FILTRO 5		FILTRO 6	
	pH	T°	pH	T°	pH	T°	pH	T°	pH	T°	pH	T°
Semana 1	8.00	17.10	7.90	17.00	8.00	17.00	8.10	17.80	8.20	17.90	7.90	17.80
Semana 2	8.10	17.20	8.00	17.10	8.10	17.10	8.20	17.80	8.30	17.70	8.00	18.00
Semana 3	7.00	16.10	7.00	16.00	7.00	15.60	7.00	16.30	7.00	16.30	7.00	16.10
Semana 4	7.10	16.20	7.10	16.40	7.10	16.10	7.10	16.10	7.10	16.30	7.10	16.30
Semana 5	7.00	18.40	7.00	17.10	7.00	17.00	7.00	17.20	7.00	17.30	7.00	17.20
Semana 6	7.00	18.60	7.00	17.90	7.00	17.60	7.00	17.40	7.00	17.60	7.00	17.30
Semana 7	7.50	16.90	7.50	17.10	7.50	17.30	7.40	17.20	7.50	17.40	7.50	17.30
Semana 8	7.70	16.40	7.70	16.50	7.60	16.50	7.60	16.80	7.70	16.80	7.70	17.00
Semana 9	7.60	15.50	7.70	15.50	7.70	15.30	7.70	15.50	7.70	15.60	7.70	15.60
Semana 10	7.50	17.40	7.60	17.20	7.60	17.10	7.50	17.10	7.50	17.00	7.60	16.90
Semana 11	7.70	17.30	7.70	17.10	7.70	17.30	7.70	16.20	7.80	16.10	7.80	16.10
Semana 12	7.70	16.90	7.70	16.40	7.70	16.30	7.70	16.10	7.70	16.20	7.70	16.20
Semana 13	7.80	16.90	7.80	16.80	7.80	16.80	7.80	16.90	7.80	16.90	7.80	16.90
Semana 14	7.80	16.70	7.90	16.60	7.90	16.40	7.90	16.40	7.90	16.40	7.90	16.30
Semana 15	7.80	16.10	7.90	15.90	7.90	15.90	7.90	15.80	7.90	16.00	7.90	16.00
Semana 16	7.90	16.90	7.80	16.80	7.80	17.10	7.80	16.30	8.10	16.20	7.80	16.10

Fuente: Elaboración propia

#### 4.10. Parámetros de pH, Temperatura y turbiedad al ingreso de la desinfección:

Tabla 11: Resultados de los parámetros de pH, temperatura y turbiedad

Unidad	INGRESO DESINF. 1			INGRESO DESINF. 2			INGRESO DESINF. 3			INGRESO DESINF. 4			INGRESO DESINF. 5			INGRESO DESINF. 6		
	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad
Semana 1	7.00	18.40	24.23	7.60	16.50	22.23	7.90	17.80	15.87	7.00	15.90	20.11	7.00	15.90	32.25	7.60	17.10	25.15
Semana 2	7.00	18.60	21.52	7.70	15.30	23.41	8.00	18.00	16.25	7.00	16.10	19.34	7.00	16.00	31.02	7.60	16.70	26.08
Semana 3	7.50	16.90	19.85	7.60	17.10	25.12	7.00	16.10	17.93	7.00	16.00	17.59	7.00	16.30	30.82	7.70	15.40	27.21
Semana 4	7.70	16.40	18.69	7.70	17.30	19.55	7.10	16.30	18.14	7.60	17.00	18.66	7.50	17.20	25.96	7.60	16.30	26.52
Semana 5	7.60	15.50	20.10	7.70	16.30	21.22	7.00	17.20	19.85	7.60	16.50	19.89	7.70	16.60	28.15	7.70	15.50	29.11
Semana 6	7.50	17.30	17.51	7.80	16.80	22.59	7.60	16.90	10.25	7.70	15.50	17.58	7.70	15.40	29.11	7.60	15.90	25.09
Semana 7	7.60	16.60	26.96	7.60	16.20	18.77	7.60	16.20	18.99	7.60	16.20	16.25	7.60	16.30	27.01	7.60	16.20	23.01
Semana 8	7.60	16.90	15.13	7.60	16.50	18.70	7.60	16.20	14.48	7.60	16.10	38.20	7.60	16.00	40.60	7.60	15.90	38.50
Semana 9	7.50	16.30	36.50	7.60	16.20	31.40	7.50	16.40	38.40	7.50	16.30	36.50	7.50	16.30	30.00	7.50	16.20	32.70
Semana 10	7.60	15.80	15.34	7.70	15.80	16.21	7.80	15.90	15.85	7.60	15.90	16.40	7.70	15.70	17.32	7.70	15.70	16.98
Semana 11	7.80	16.00	25.10	7.80	15.80	23.50	7.90	15.70	16.50	7.80	15.50	25.40	7.80	15.60	18.30	7.90	15.60	24.10
Semana 12	7.80	16.20	14.36	7.70	15.90	15.38	7.70	15.90	14.86	7.60	15.90	15.26	7.70	16.00	16.86	7.70	16.10	15.74
Semana 13	7.90	16.60	16.46	7.90	16.40	17.00	7.90	16.30	15.36	7.60	16.20	16.00	7.90	16.20	17.00	7.90	16.20	15.20
Semana 14	7.90	15.50	16.25	8.00	15.50	20.66	8.00	15.30	13.25	7.90	15.40	18.13	7.90	15.40	21.05	7.90	15.40	25.96
Semana 15	7.80	16.40	17.21	7.00	17.60	26.33	7.60	17.10	12.95	7.70	16.80	16.50	7.70	15.80	20.20	7.00	16.40	25.36
Semana 16	7.90	16.20	16.98	7.50	17.40	24.09	7.00	17.60	12.52	7.70	15.50	22.55	7.80	15.80	21.69	7.50	17.00	28.64

Fuente: Elaboración propia

#### 4.11. Parámetros de pH, Temperatura y turbiedad a la salida de la desinfección:

Tabla 12: Resultados de los parámetros de pH, temperatura y turbiedad

Unidad	SALIDA DESINF. 1			SALIDA DESINF. 2			SALIDA DESINF. 3			SALIDA DESINF. 4			SALIDA DESINF. 5			SALIDA DESINF. 6		
	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad	pH	T°	turbiedad
Semana 1	7.90	15.80	18.25	8.00	15.60	20.14	8.00	15.80	11.22	7.90	15.90	15.46	7.90	15.80	25.02	7.80	15.80	16.54
Semana 2	8.00	15.40	19.55	8.20	15.50	21.32	8.00	15.50	13.60	8.00	15.80	16.69	8.00	15.80	23.79	8.00	15.60	17.47
Semana 3	7.00	15.90	17.66	7.00	15.90	23.03	7.00	15.90	15.28	7.00	16.10	14.94	7.00	14.80	23.59	7.00	16.10	18.60
Semana 4	7.00	15.90	15.20	7.00	15.80	17.46	7.00	15.80	15.49	7.00	15.90	16.01	7.00	15.90	18.73	7.10	15.90	17.91
Semana 5	7.00	17.20	18.31	7.00	16.70	19.13	7.00	16.30	17.20	7.00	16.10	17.24	7.00	16.00	20.92	7.00	16.10	20.50
Semana 6	7.00	17.10	15.72	7.00	16.40	20.50	7.00	16.20	7.60	7.00	16.00	14.93	7.00	16.30	21.88	7.00	16.30	16.48
Semana 7	7.60	16.90	25.17	7.50	17.00	16.68	7.50	17.00	16.34	7.60	17.00	13.60	7.50	17.20	19.78	7.60	17.10	14.40
Semana 8	7.80	16.50	13.34	7.70	16.80	16.61	7.60	16.50	11.83	7.60	16.50	35.55	7.70	16.60	33.37	7.60	16.70	29.89
Semana 9	7.70	15.50	34.71	7.70	15.50	29.31	7.70	15.60	35.75	7.70	15.50	33.85	7.70	15.40	22.77	7.70	15.40	24.09
Semana 10	7.70	16.30	13.55	7.60	16.20	14.12	7.70	16.20	13.20	7.60	16.10	13.75	7.60	16.30	10.09	7.60	16.30	8.37
Semana 11	7.70	15.70	23.31	7.80	15.70	21.41	7.70	15.70	13.85	7.70	15.50	22.75	7.70	15.40	11.07	7.70	15.50	15.49
Semana 12	7.80	15.90	12.57	7.80	15.70	13.29	7.80	15.70	12.21	7.90	15.60	12.61	7.80	15.70	9.63	7.80	15.90	7.13
Semana 13	7.80	16.00	14.67	7.70	15.90	14.91	7.80	16.60	12.71	7.80	15.90	13.35	7.80	16.00	9.77	7.80	16.20	6.59
Semana 14	7.90	16.50	14.46	7.90	16.40	18.57	7.80	16.20	10.60	7.80	16.10	15.48	7.80	16.20	13.82	7.90	16.40	17.35
Semana 15	7.80	15.40	15.42	7.90	15.40	24.24	8.00	15.40	10.30	8.00	15.40	13.85	8.00	15.40	12.97	8.00	15.60	16.75
Semana 16	7.90	15.60	15.19	7.50	16.50	22.00	7.70	15.60	9.87	7.80	16.10	19.90	7.80	16.60	14.46	7.90	15.70	20.03

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12. Determinación del porcentaje de remoción de Coliformes Fecales en los filtros percoladores

Tabla 13: Resultados del porcentaje de remoción

UNIDAD	FILTROS PERCOLADORES						INGRESO A LA DESINFECCION						%remoción						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	D1	D2	D3	D4	D5	D6	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
1	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
2	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	54.17	54.17	54.17	0.00	0.00
3	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
4	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
5	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
6	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
7	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	0.00	54.17	54.17	54.17	0.00	0.00
8	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
9	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
10	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	0.00	54.17	54.17	54.17	0.00	0.00
11	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	11000000	11000000	0.00	54.17	54.17	0.00	54.17	54.17
12	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	54.17	54.17	54.17	0.00	0.00
13	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	0.00
14	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	11000000	54.17	0.00	54.17	54.17	0.00	54.17
15	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	24000000	11000000	11000000	11000000	24000000	24000000	54.17	0.00	54.17	54.17	54.17	0.00
16	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	24000000	11000000	11000000	11000000	11000000	24000000	11000000	24000000	54.17	54.17	54.17	0.00	54.17	0.00

Fuente: Elaboración propia

#### 4.13. Determinación de la carga hidráulica:

Tabla 14: Resultados de la carga hidráulica en los filtros percoladores

PARÁMETRO	CARGA HIDRAULICA (m3/m2/d)					
	FILTROS PERCOLADORES					
SEMANA	FP 1	FP 2	FP 3	FP 4	FP 5	FP 6
1	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
2	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
3	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
4	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
5	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
6	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
7	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
8	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
9	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
10	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
11	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
12	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
13	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
14	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
15	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03
16	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03

Fuente: Elaboración propia

## GRÁFICOS ESTADÍSTICOS

Gráfico 1: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F1, D1, SD 1.

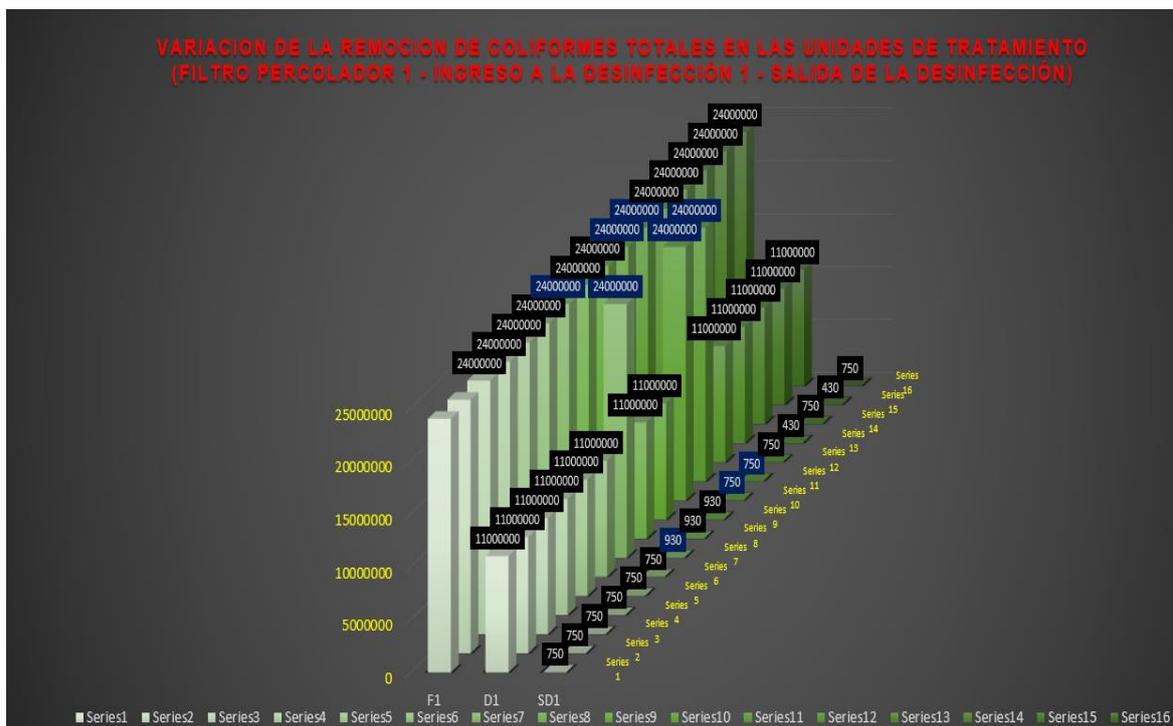
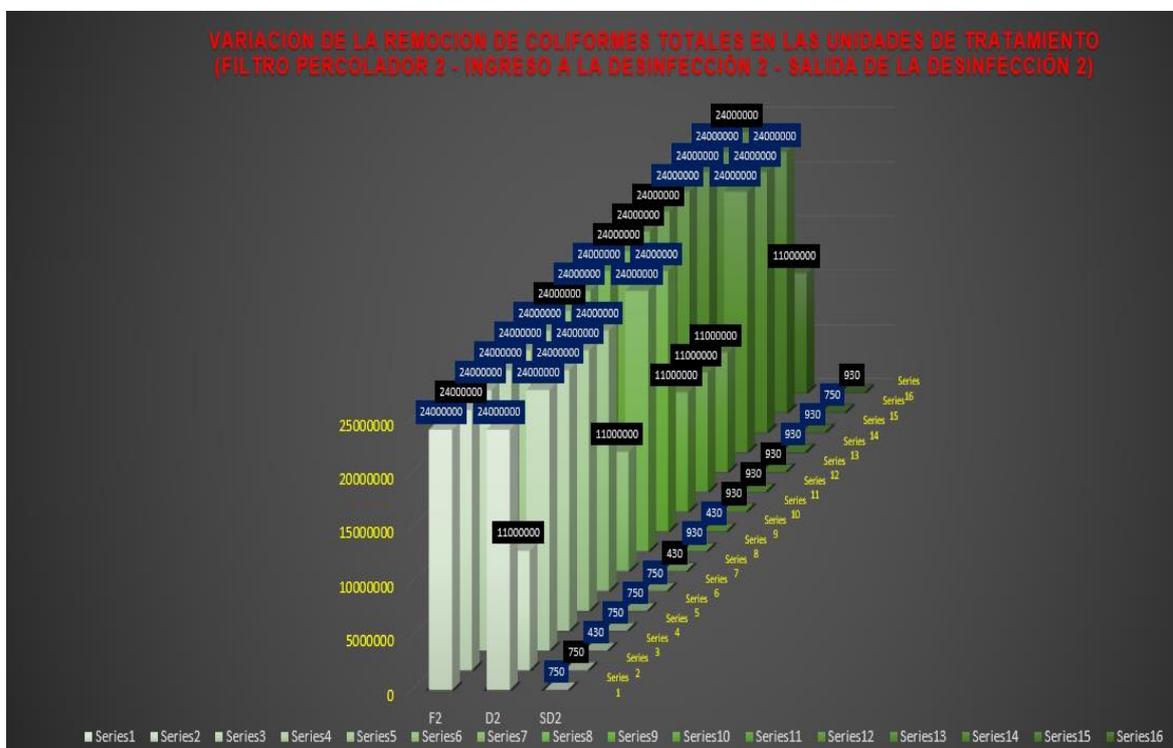


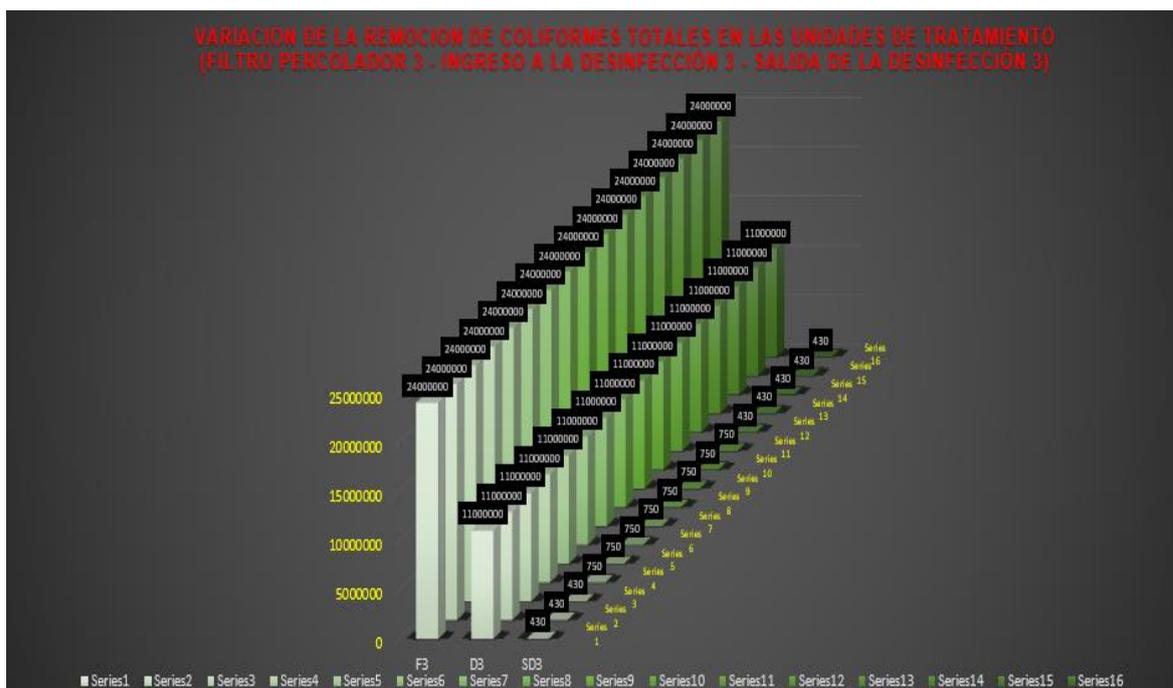
Gráfico 2: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F2, D2, SD 2.



Fuente: Elaboración propia

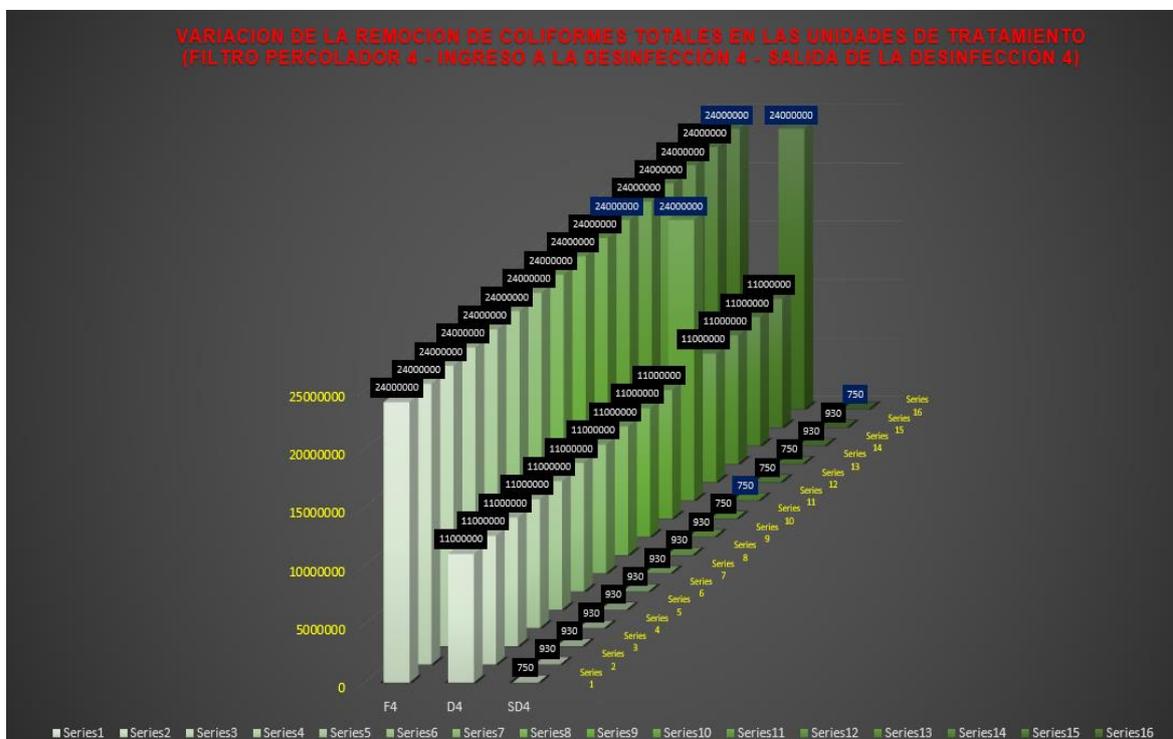


Gráfico 3: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F3, D3, SD 3.



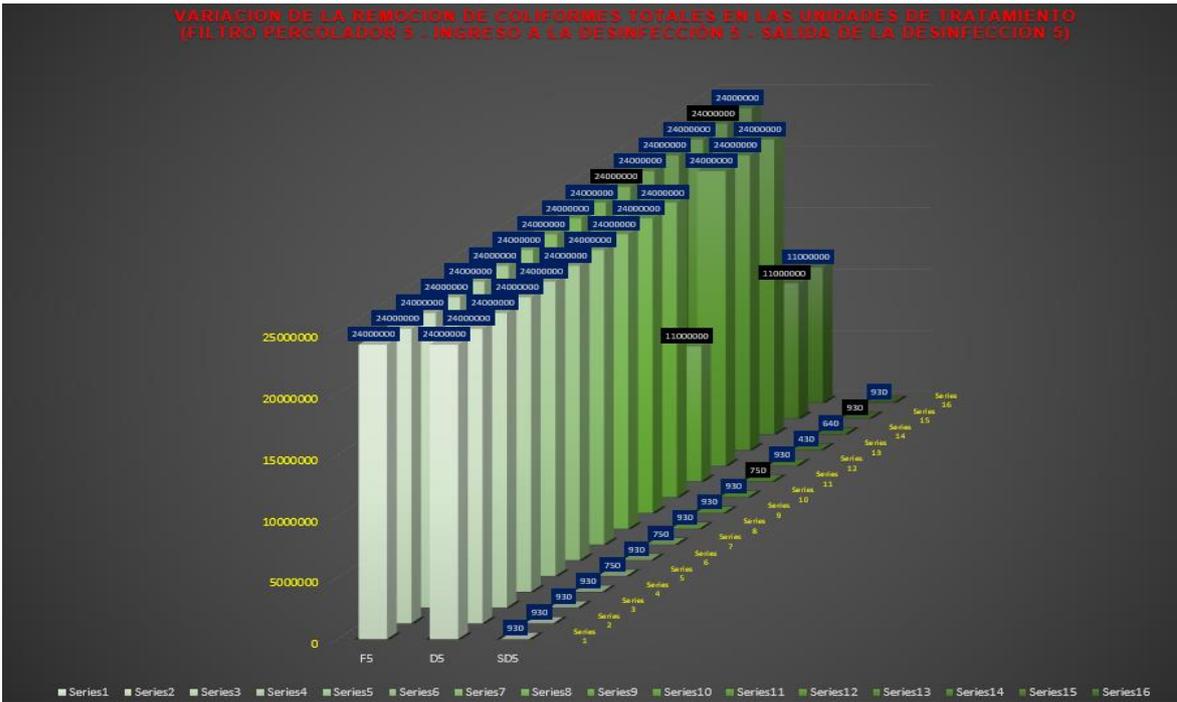
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F4, D4, SD 4.



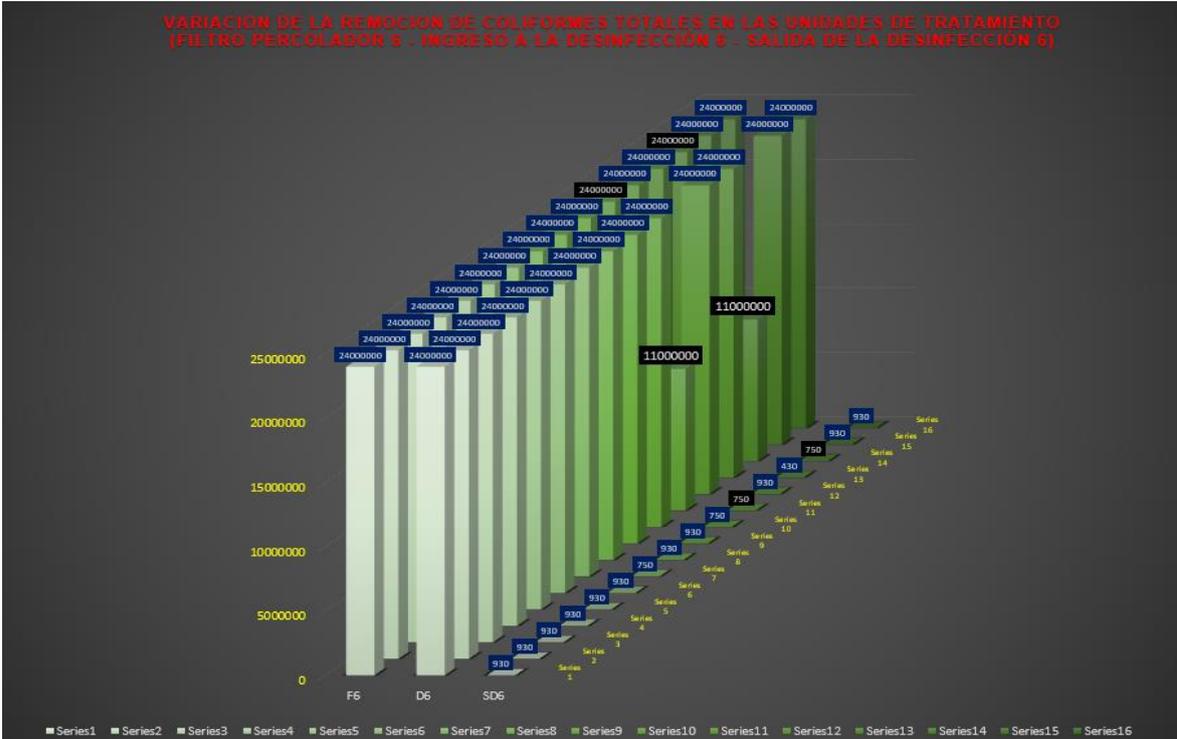
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F5, D5, SD 5.



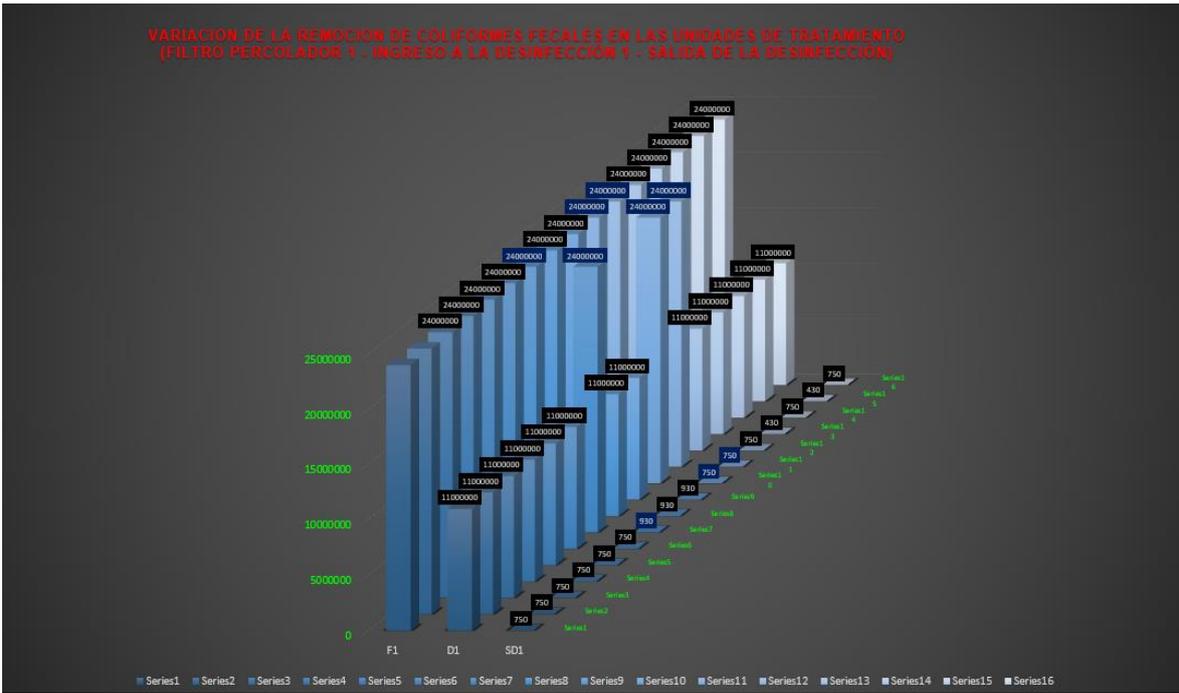
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Remoción de CT en las tres unidades de análisis, F6, D6, SD 6.



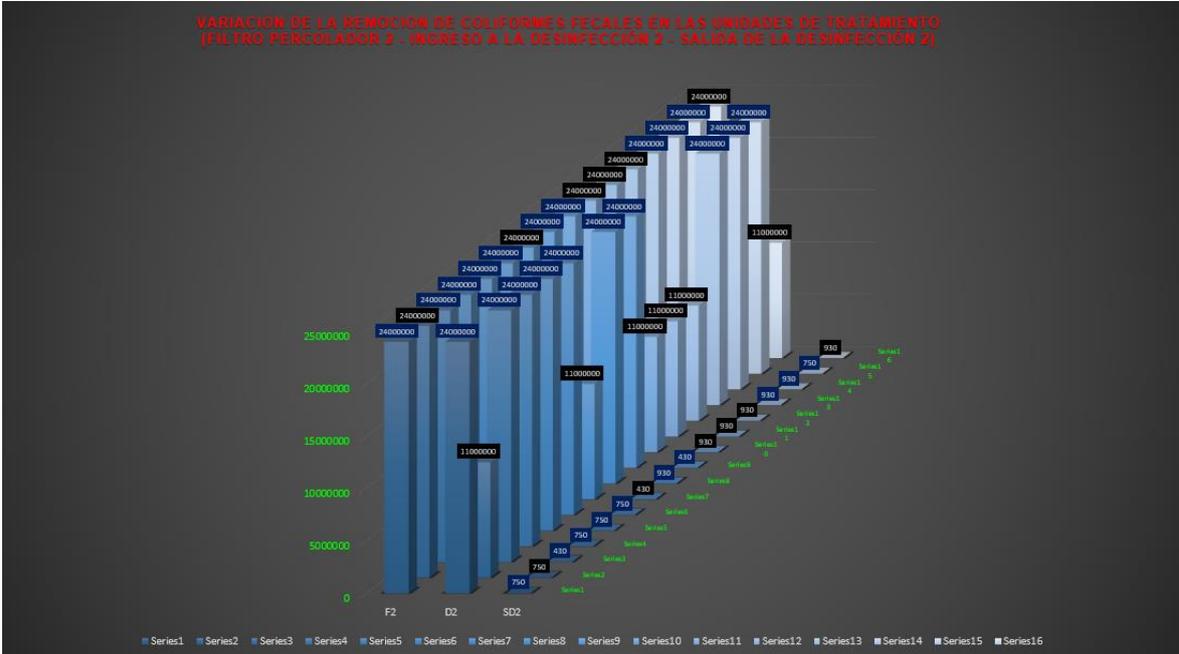
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F1, D1, SD 1.



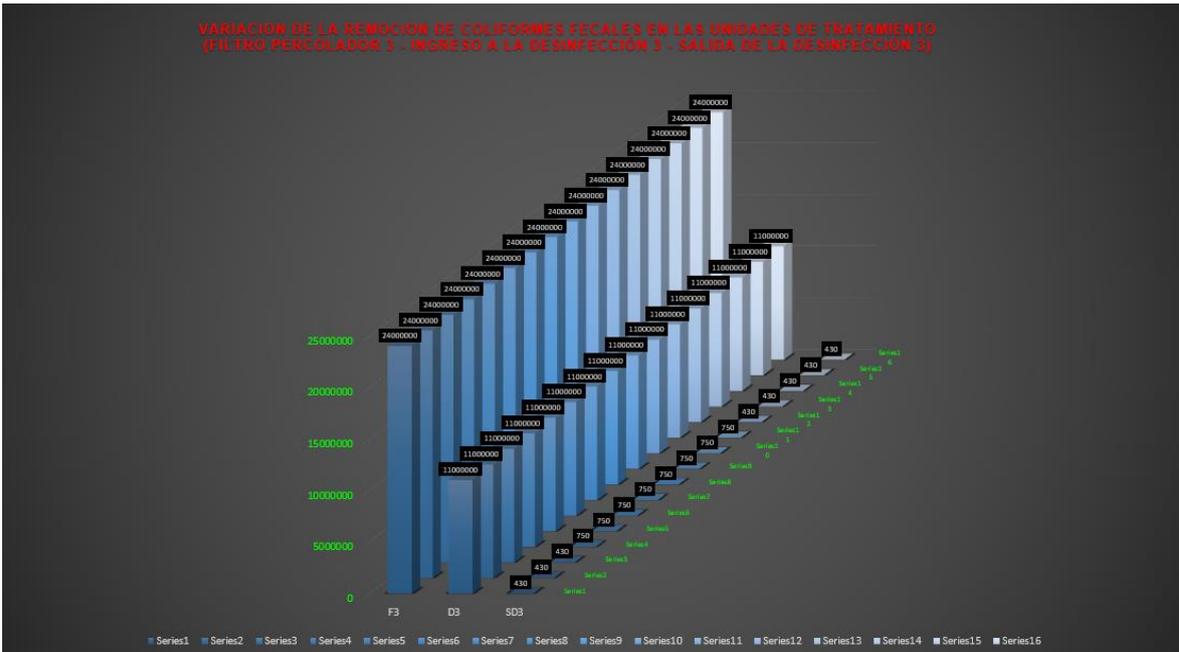
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F2, D2, SD 2.



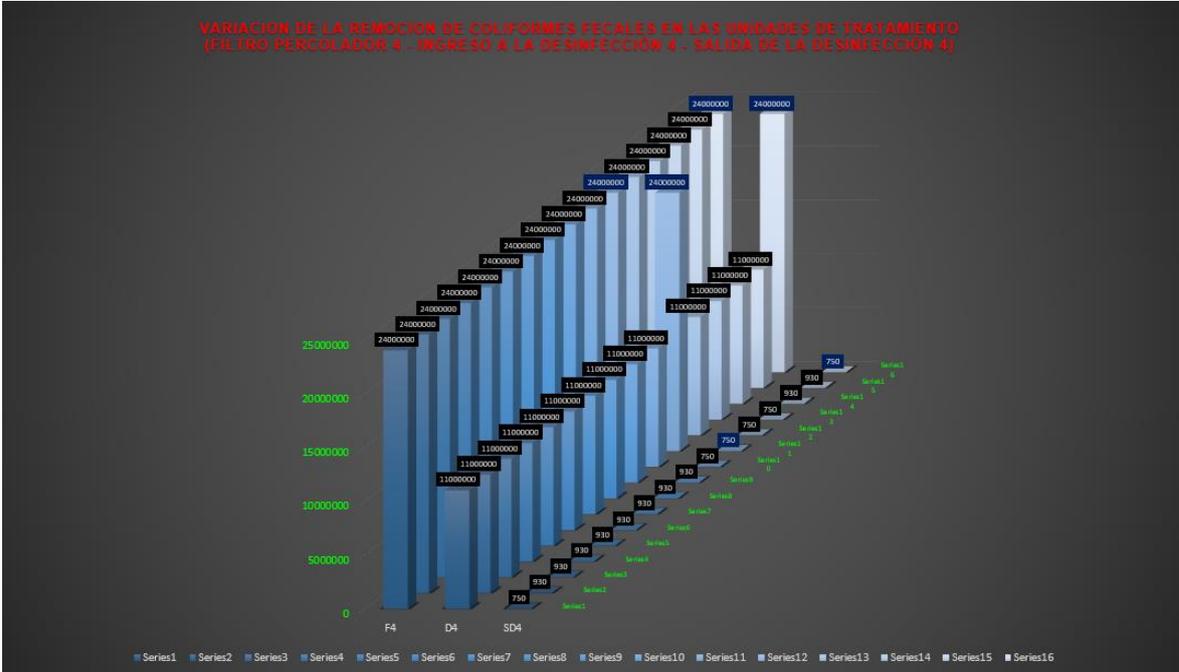
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F3, D3, SD 3.



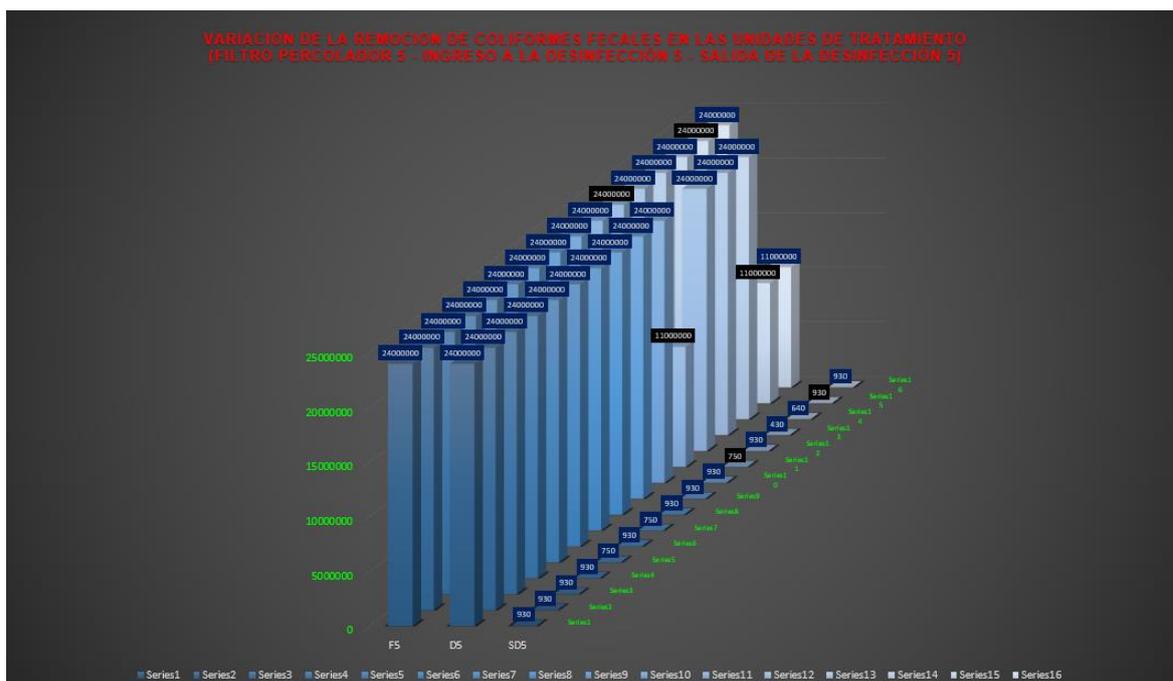
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F4, D4, SD 4.



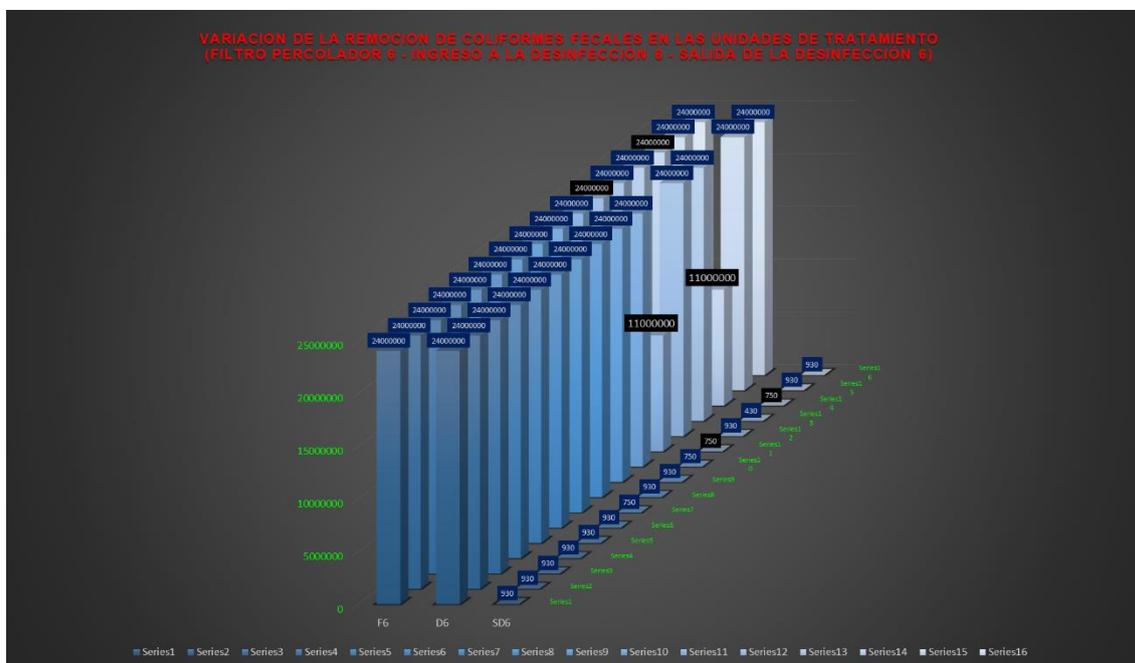
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F5, D5, SD 5.



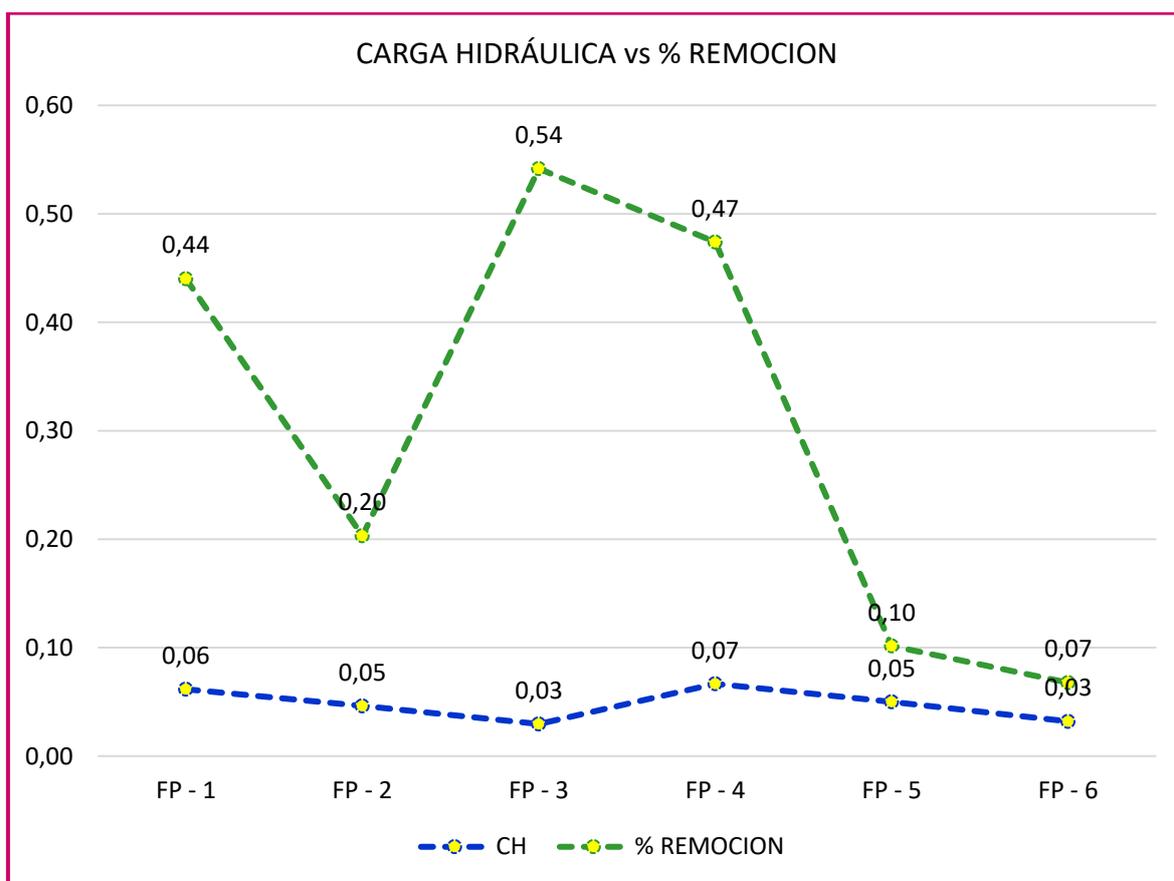
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12: Remoción de CF en las tres unidades de análisis, F6, D6, SD 6.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13: Carga hidráulica vs % de remoción

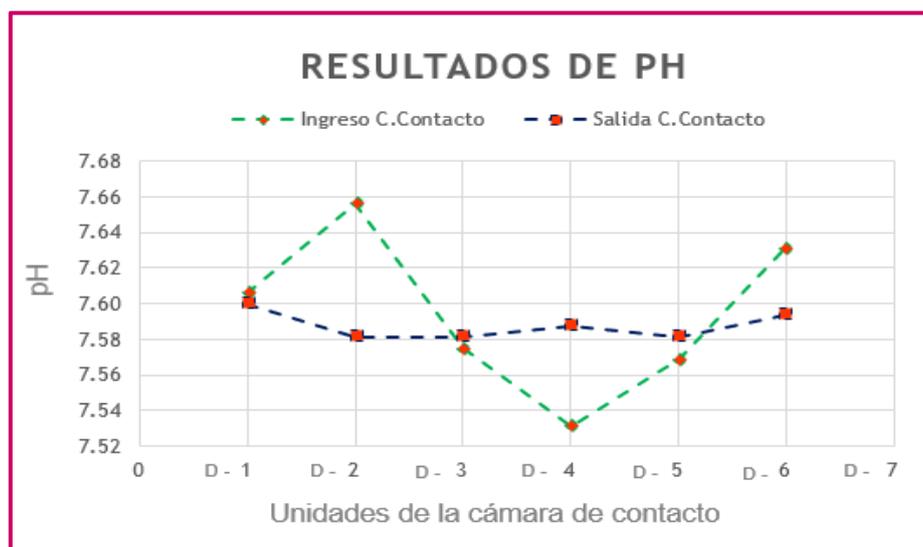


**Interpretación:**

Tal como se muestra en la gráfica N°13, podemos visualizar que la carga hidráulica de los seis filtros percoladores no ha influido de manera significativa en la remoción de la carga microbiana; esto se debe a que la función principal de un filtro percoladores es la de degradar materia orgánica; pero esto no significa que no haya habido cierto % de remoción; pero no se ha encontrado relación alguna, ni directamente proporcional (que sería el caso cuando la CH aumenta, el % de remoción aumenta; o inversamente proporcional cuando la CH aumenta, el % de remoción disminuye)

Por eso, tal como se muestra en la gráfica, ambos trabajan de forma independiente.

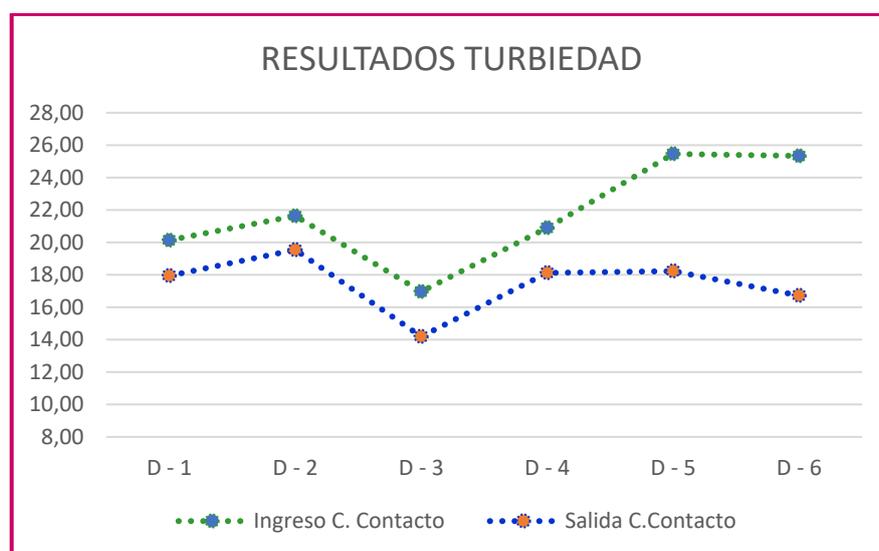
Gráfico 14: Resultados de los valores de pH obtenidos



**Interpretación:**

Tal como se muestra en la gráfica, los valores de pH tanto al ingreso como a la salida de las cámaras de contacto no tienen relación alguna entre sí; es decir no se evidencia que al ingreso de las cámaras los pH tengan valores más altos, o que a la salida los pH tengan valores más bajos; o a la inversa; todos los datos se han mantenido en rangos constantes, teniendo en el ingreso de la cámara de contacto, un valor máximo de 7.66 y un valor mínimo de 7.53; así mismo para la salida de la cámara de contacto, se ha tenido un valor máximo de 7.60 y un valor mínimo de 7.58.

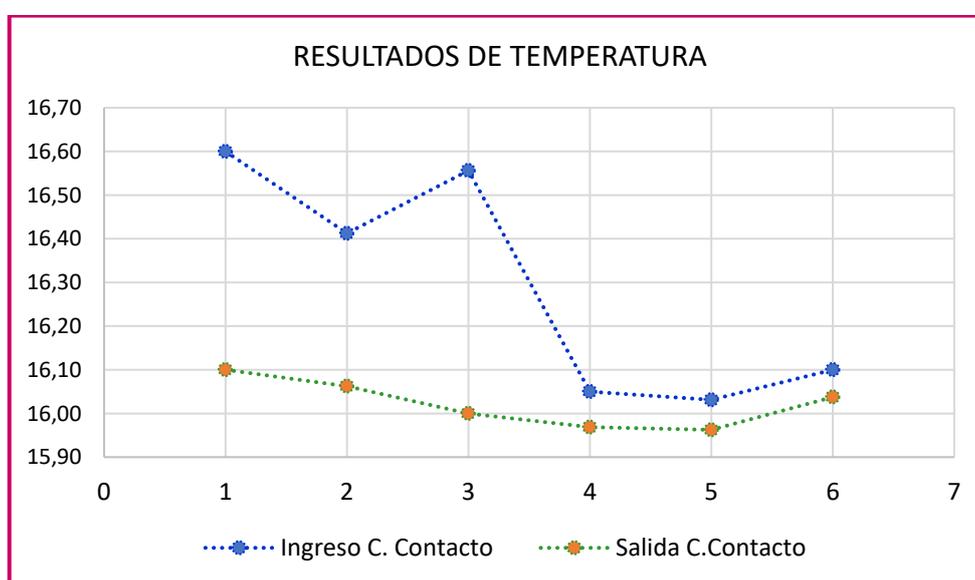
Gráfico 15: Resultados de los valores de turbiedad obtenidos



### Interpretación:

Tal como se observa en el gráfico N°15; se puede ver que la turbiedad ha disminuido con respecto de los valores obtenidos al ingreso de las cámaras de contacto, esto se debe a la unidad anterior a esta cámara, como lo es el sedimentador secundario; dentro de esto podemos decir que el valor máximo que se ha obtenido al ingreso de las cámaras de contacto es de 25.46 UNT y el valor mínimo es de 19.55 UNT; y en cuanto a la salida de las cámaras de contacto el valor máximo es de 16.97 UNT y el valor mínimo es de 14.19 UNT.

Gráfico 16: Resultados de los valores de temperatura obtenidos



### Interpretación:

Tal como se muestra en la gráfica N°16 , los valores de temperatura tanto al ingreso como a la salida de las cámaras de contacto no tienen relación alguna entre sí; es decir no se evidencia que al ingreso de las cámaras las temperaturas tengan valores más altos, o que a la salida las temperaturas tengan valores más bajos; o a la inversa; todos los datos se han mantenido en rangos constantes, teniendo en el ingreso de la cámara de contacto, un valor máximo de 16.60 y un valor mínimo de 16.10; así mismo para la salida de la cámara de contacto, se ha tenido un valor máximo de 16.03 y un valor mínimo de 15.96.



Gráfico 17: Incidencia de la desinfección (líneas de tendencia)

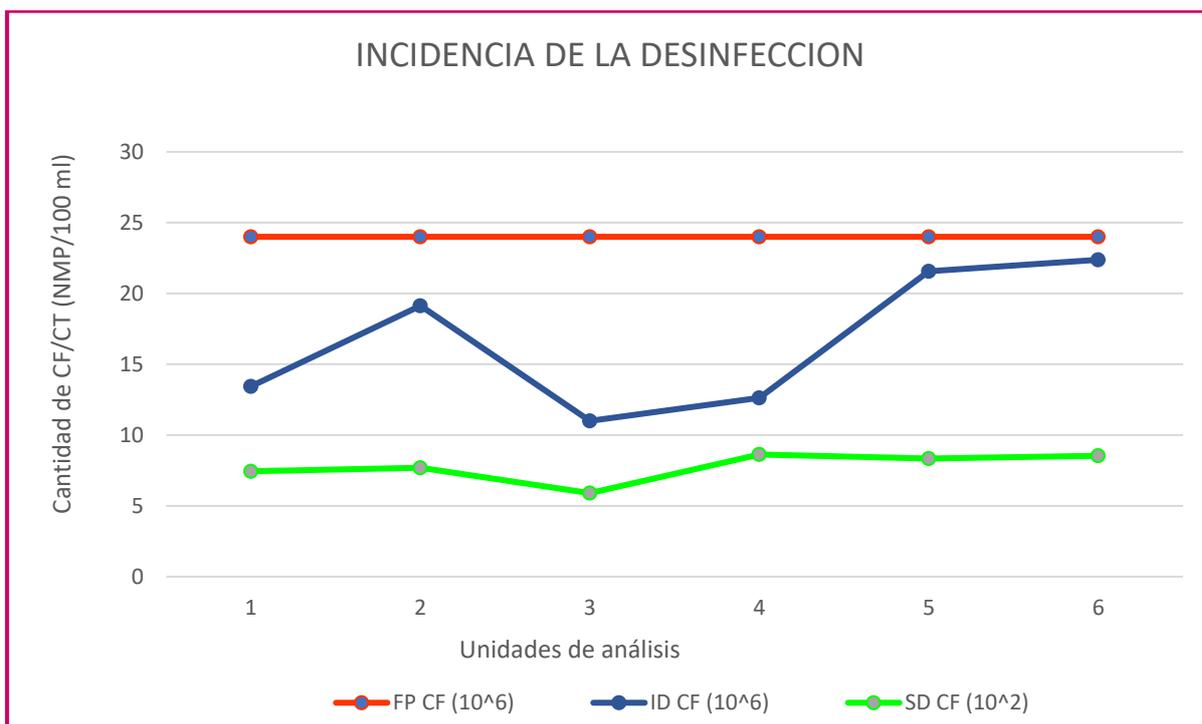
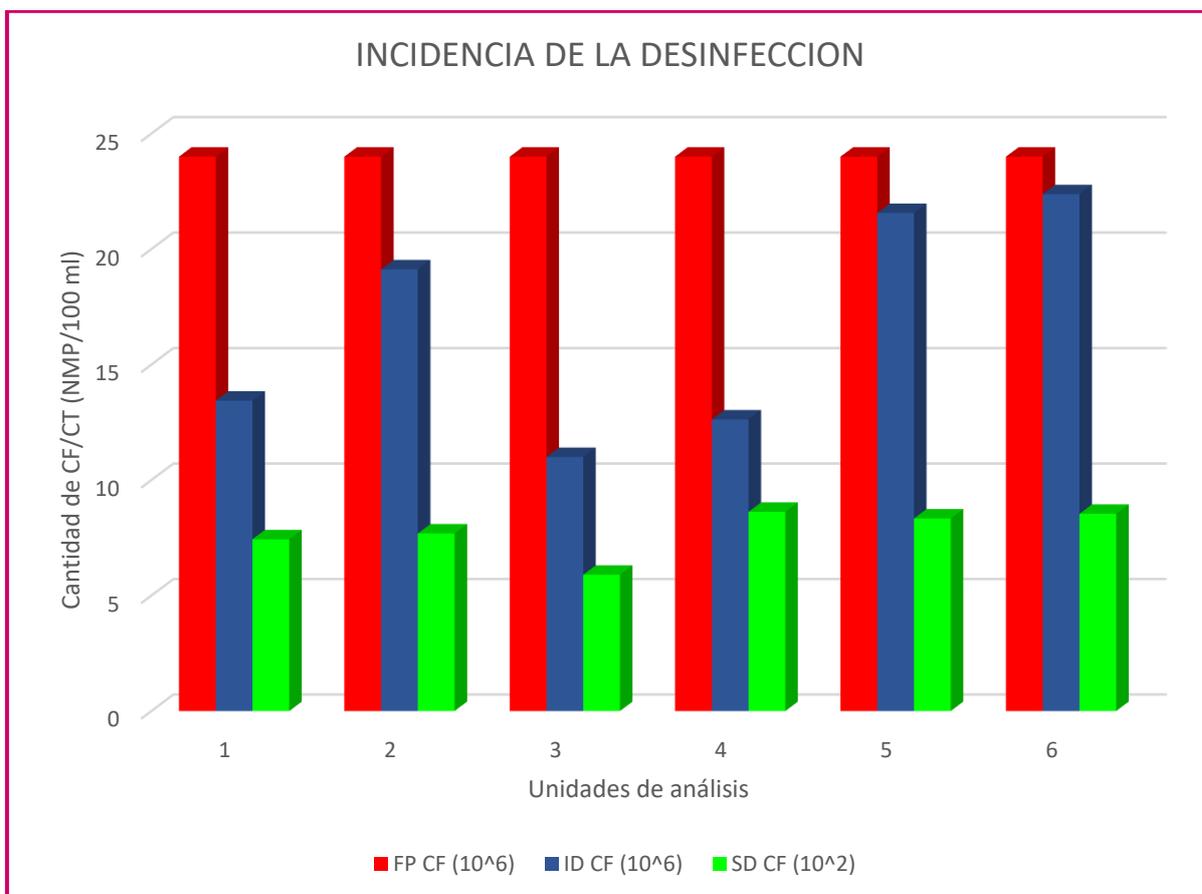


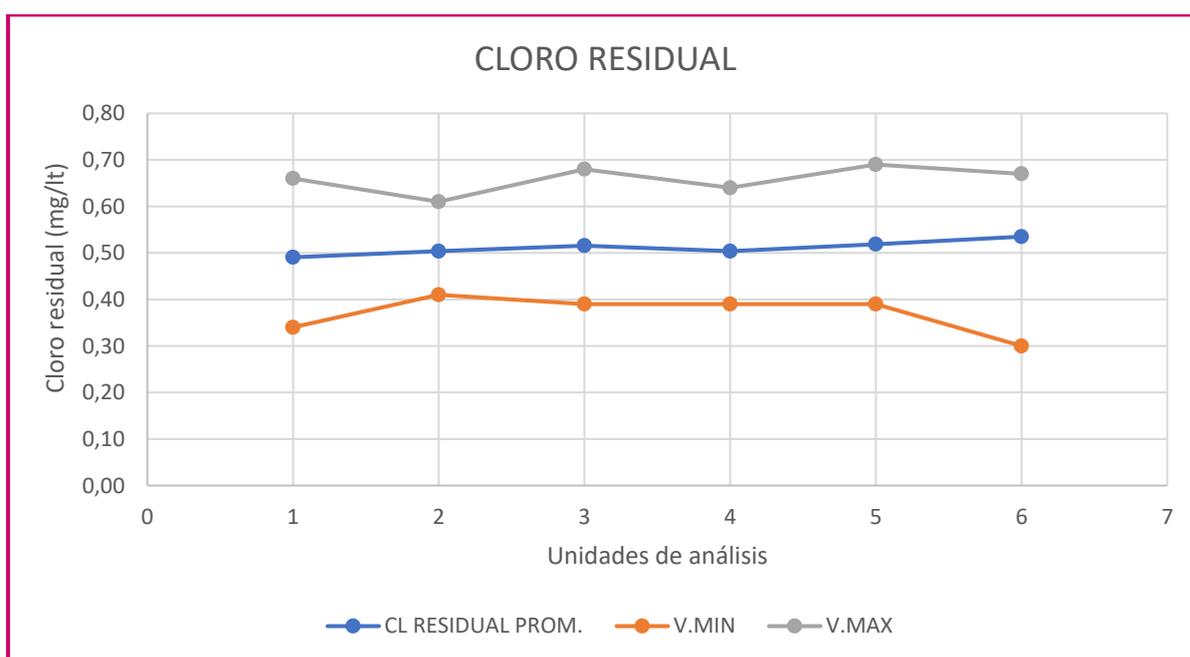
Gráfico 18: Incidencia de la desinfección (grafico de barras)



### **Interpretación:**

De acuerdo a los gráficos N°17 y 18, podemos observar que añadir un desinfectante influye altamente en la remoción de la carga microbiana, esto se debe a la exposición al cloro que causa alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de la célula. De esa manera destruye la barrera protectora de la célula, con lo que concluyen las funciones vitales y se produce la muerte del microorganismo

Gráfico 19: Cloro residual

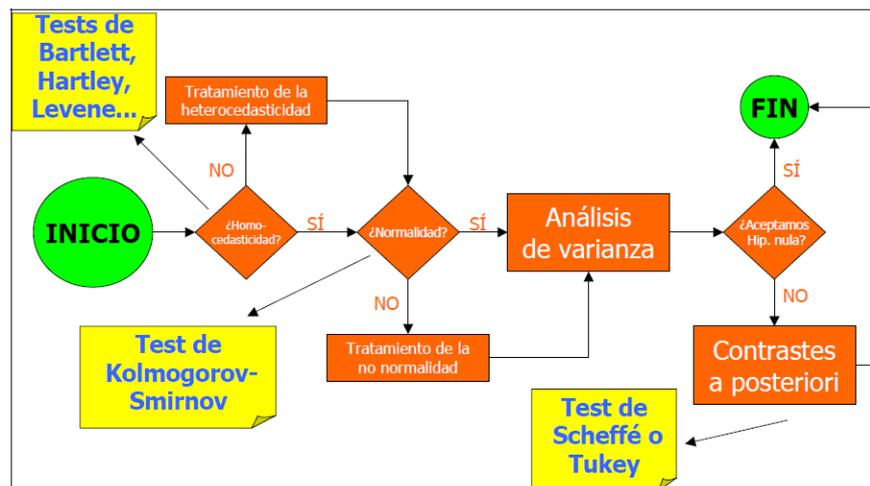


### **Interpretación:**

De acuerdo al gráfico N°19, se observan los valores de cloro residual obtenidos a la salida de la desinfección, dentro de los cuales todos se mantuvieron en un rango constante, no se presentaron variaciones significativas ya que todo el proceso de cloración se llevó a cabo de manera constante; de esta manera obtuvimos valores máximos y mínimos, como fueron 0.69 mg/lit y 0.30 mg/lit respectivamente.

#### 4.14. Análisis estadístico de los datos obtenidos:

En el presente trabajo de investigación, después del trabajo de campo, para los resultados se aplicó el análisis de varianza asumiendo que los datos son valores continuos siguiendo el siguiente flujograma:



En el análisis de los supuestos del análisis de varianza (ANOVA), en algunos casos no se cumplieron, por lo que se usó la alternativa a esta técnica estadística, denominado método estadístico no paramétrico Kruskal Wallis.

A continuación, se muestran los resultados siguiendo los pasos de contrastación de hipótesis estadística para todos los datos recopilados dentro de la investigación.

#### Resultados de los Coliformes totales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)

Coliformes totales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	n	Rango promedio
D1	16	36,50
D2	16	57,50
D3	16	27,50
D4	16	33,50
D5	16	66,50
D6	16	69,50
Total	96	

<i>Estadísticos de prueba</i>	Coliformes totales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)
H de Kruskal-Wallis	46,243
gl	5
Sig. asintótica	0,000

**Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es menor a 0.05, rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que en promedio los coliformes totales en el ingreso de la desinfección son distintos que en los filtros percoladores, esto se debe a que el medio filtrante usado ha retenido cierto porcentaje de carga microbiana, el cual se debe a las propiedades del mismo, como son su porosidad y capacidad de adsorción; esto ha influido para que se pueda remover en mínima cantidad dicho parámetro; aún no se obtienen los resultados esperados, pero esto ayuda a que la carga microbiana disminuya y el proceso de desinfección se realice de forma más eficiente; este proceso ha variado en las diferentes semanas de muestreo, pues hubieron semanas en las cuales no se registró ninguna variación (Véase tabla 6); esto puede haberse debido a la colmatación del filtro u otros motivos; esto es a un nivel de confianza de 95%.

**Resultados de los Coliformes fecales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)**

*Rangos*

Coliformes fecales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	N	Rango promedio
D1	16	36,50
D2	16	57,50
D3	16	27,50
D4	16	33,50
D5	16	66,50
D6	16	69,50
Total	96	

### Estadísticos de prueba

Coliformes fecales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	
H de Kruskal-Wallis	46,243
gl	5
Sig. asintótica	0,000

#### **Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es menor a 0.05, rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que en promedio los coliformes fecales en el ingreso de la desinfección son distintos que en los filtros percoladores, esto se debe a que el medio filtrante usado ha retenido cierto porcentaje de carga microbiana, el cual se debe a las propiedades del mismo, como son su porosidad y capacidad de adsorción; esto ha influido para que se pueda remover en mínima cantidad dicho parámetro; aún no se obtienen los resultados esperados, pero esto ayuda a que la carga microbiana disminuya y el proceso de desinfección se realice de forma más eficiente; este proceso ha variado en las diferentes semanas de muestreo, pues hubieron semanas en las cuales no se registró ninguna variación (Véase tabla 6); esto puede haberse debido a la colmatación del filtro u otros motivos; esto es a un nivel de confianza de 95%.

#### **Resultados del pH en el ingreso de desinfección**

##### *Rangos*

pH en el ingreso de desinfección	N	Rango promedio
D1	16	48,59
D2	16	53,94
D3	16	49,84
D4	16	41,19
D5	16	48,31
D6	16	49,13
Total	96	

### Estadísticos de prueba

pH en el ingreso de desinfección	
H de Kruskal-Wallis	1,830
gl	5
Sig. asintótica	0,872

#### **Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es mayor a 0.05, no rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que en promedio los pH en el ingreso de la desinfección son similares en los filtros percoladores, esto se debe a que el tipo de agua que ingresa a las unidades de tratamiento es del mismo tipo, doméstico, lo cual hace que este pH se mantenga constante, se hubieran observado cambios significativos, si en algún momento hubiera ingresado agua residual combinada, de tipo doméstico, lluvia, industrial u otro, esto a un nivel de confianza de 95%.

### Resultados de los T<sup>o</sup> en el ingreso a la desinfección

ANOVA					
T <sup>o</sup> en el ingreso de desinfección					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5,482	5	1,096	2,553	0,033
Dentro de grupos	38,651	90	0,429		
Total	44,133	95			

#### **Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es menor a 0.05, rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que los promedios de los T<sup>o</sup> en el ingreso de la desinfección difieren en los filtros percoladores, la mayor diferencia observada entre ambas unidades es de 2.9 °C; y la menor diferencia es de 0.20 °C; el cual puede deberse grado de exposición en el que se encuentra el punto de muestreo de los filtros percoladores; ya que a diferencia de las unidades de desinfección, estas se encuentran menos expuestas a las radiaciones solares, las

cuales pueden influir en dichas variaciones. Esta oscilación de la temperatura hace que el proceso biológico se vea afectado, ya que se inhibe el crecimiento microbiano, esto a un nivel de confianza del 95%.

### **Resultados de turbiedad el ingreso a la desinfección**

ANOVA					
Turbiedad en el ingreso de la desinfección					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	845,346	5	169,069	4,623	0,001
Dentro de grupos	3291,219	90	36,569		
Total	4136,565	95			

#### **Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es menor a 0.05, rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que los promedios de la turbiedad en el ingreso de la desinfección son distintos en los filtros percoladores, esto se debe a que las unidades de tratamiento se encuentran descubiertas, si bien es cierto la PTAR cuenta con techo, esto no limita a que los vientos arrastren partículas que ingresan y caen a la cámara de contacto, además de que la turbiedad influye directamente en el proceso de desinfección, aún así, se tuvieron los cuidados necesarios para evitar que esta turbidez se acumule al interior de las unidades e interfiera con los procesos necesarios para que el agua sea tratada de manera eficiente, esto a un nivel de confianza de 95%.

### **Resultados de los Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)**

#### *Rangos*

Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	N	Rango promedio
SD1	16	39,56
SD2	16	47,84
SD3	16	21,75
SD4	16	60,50
SD5	16	60,06
SD6	16	61,28
Total	96	

*Estadísticos de prueba*

Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	
H de Kruskal-Wallis	29,986
gl	5
Sig. asintótica	0,000

**Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es menor a 0.05, rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que en promedio los coliformes fecales en la salida de la desinfección son distintos en los filtros percoladores, esto debido a que cada unidad recibió las aguas residuales de diferentes filtros percoladores, la eficiencia de estos fue diferente y esto hizo que al llegar a las cámaras de contacto, y ser desinfectadas mediante el proceso de cloración, los resultados obtenidos sean diferentes, todas las muestras en las salidas de la desinfección cumplen con la normativa, pero hay unidades donde se realizó una mayor remoción el cual también varió a lo largo de las semanas de muestreo; a un nivel de confianza de 95%.

**Resultados del pH en la salida de desinfección**

<i>Rangos</i>		
pH en la salida de desinfección	N	Rango promedio
SD1	16	50,69
SD2	16	46,91
SD3	16	47,56
SD4	16	48,53
SD5	16	48,03
SD6	16	49,28
Total	96	

*Estadísticos de prueba*

pH en la salida de desinfección	
H de Kruskal-Wallis	0,192
gl	5
Sig. asintótica	0,999

**Interpretación:**



Como el Sig. Asintótica es mayor a 0.05, no rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que en promedio los pH en el ingreso de la desinfección son similares, esto se debe a que el tipo de agua que ingresa a las unidades de tratamiento es del mismo tipo, doméstico, lo cual hace que este pH se mantenga constante, se hubieran observado cambios significativos, si en algún momento hubiera ingresado agua residual combinada, de tipo doméstico, lluvia, industrial u otro, además la dosificación de la cloración fue la misma para las seis unidades de tratamiento; esto a un nivel de confianza de 95%.

### Resultados de los T<sup>o</sup> en la salida de la desinfección

ANOVA					
T <sup>o</sup> en la salida de desinfección					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,237	5	0,047	0,188	0,967
Dentro de grupos	22,727	90	0,253		
Total	22,964	95			

### Interpretación:

Como el Sig. Asintótica es mayor a 0.05, no rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que los promedios de los T<sup>o</sup> en la salida de la desinfección son similares entre sí, esto se debe a que en estas unidades el tratamiento se realiza de manera constante y aquí hay una menor exposición a rayos solares, además de que hay un tiempo mínimo de contacto del agua con el desinfectante, el cual hace que el agua residual se homogenice y no se presenten variaciones significativas; esto a un nivel de confianza de 95%.

### Resultados de DBO en los filtros

ANOVA					
BDO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	15998,833	5	3199,767	1,625	0,161

Dentro de grupos	177208,500	90	1968,983
Total	193207,333	95	

**Interpretación:**

Como el Sig. es mayor a 0.05, no rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que los promedios de DBO obtenido en los filtros percoladores son similares entre sí, esto se debe a que una de las funciones principales de este filtro es remover carga orgánica, el cual se ve representado en este parámetro; en estos resultados también ha influido la carga hidráulica que cada unidad tiene y para el cual fue diseñado; esto a un nivel de confianza de 95%.

**Resultados de pH en los filtros**

ANOVA					
pH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,041	5	0,008	0,057	0,998
Dentro de grupos	12,824	90	0,142		
Total	12,865	95			

**Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es mayor a 0.05, no rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que en promedio los pH en los filtros percoladores son similares, esto se debe a que como se mencionó líneas arriba; el tipo de agua que ingresa a las unidades de tratamiento es del mismo tipo, doméstico, lo cual hace que este pH se mantenga constante, se hubieran observado cambios significativos, si en algún momento hubiera ingresado agua residual combinada, de tipo doméstico, lluvia, industrial u otro, esto a un nivel de confianza de 95%.

**Resultados de T° en los filtros**

ANOVA					
T°					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.

Entre grupos	0,699	5	0,140	0,290	0,917
Dentro de grupos	43,383	90	0,482		
Total	44,082	95			

**Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es mayor a 0.05, no rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que los promedios de los T° en los filtros percoladores son similares entre sí, esto se debe a que en estas unidades están ubicadas en serie y la exposición a las radiaciones solares es uniforme, lo mismo sucede en caso, la temperatura de ambiente se vea afectada por lluvias u otros; esto hace que no se presenten variaciones significativas; esto a un nivel de confianza de 95%.

**Resultados el Cloro Residual (mg/lit) en la salida de la desinfección**

ANOVA					
Cloro Residual (mg/lit)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,019	5	0,004	0,596	0,703
Dentro de grupos	0,569	90	0,006		
Total	0,588	95			

**Interpretación:**

Como el Sig. Asintótica es mayor a 0.05, no rechazamos la Hipótesis nula, entonces concluimos estadísticamente que los promedios de cloro residual (mg/lit) en la salida de la desinfección son similares entre sí, esto se debe a que la dosis de cloro fue uniforme para las seis unidades de tratamiento, aunque a cada unidad llegó una cantidad diferente de coliformes fecales y totales, el efecto residual no se vio muy afectado, pues en todas las mediciones realizadas se encontró cloro residual, el cual garantiza que el agua tratada que sale de estas unidades pueden ser dispuestas sin riesgo a contaminar cuerpos de agua, cultivos, entre otros.

## Análisis Correlacional De Las Variables

### 1) Análisis correlacional coliformes totales (ingreso a la desinfección) con pH (ingreso filtros), temperatura (ingreso filtros) y DBO (ingreso filtros)

Para realizar el análisis correlacional, lo primero que se hizo fue verificar los puestos de normalidad de los datos, para lo cual tenemos el siguiente resultado:

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Coliformes totales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	0,372	96	0,000
pH	0,208	96	0,000
T°	0,103	96	0,014
BDO	0,096	96	0,028

La hipótesis nula que plantea la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es que la distribución de los datos es normal.

Observando el Sig. (P-Valor) tienen valor Sig. superior a 0.05, lo cual afirma que los datos no provienen de una distribución normal a una confianza de 95%.

Nosotros concluimos que los datos no tienen distribución normal.

Para el análisis correlacional usamos la prueba de correlación de Spearman, obtenido los siguientes resultados:

*Correlaciones*

			Coliformes totales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	pH	T°	BDO
Rho de Spearman	Coliformes totales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	Coeficiente de correlación	1,000	-,102	,049	-,069
		Sig. (bilateral)	.	,322	,636	,504
		N	96	96	96	96
	pH	Coeficiente de correlación	-,102	1,000	-,064	,033
		Sig. (bilateral)	,322	.	,533	,748
		N	96	96	96	96
	T°	Coeficiente de correlación	,049	-,064	1,000	-,214
		Sig. (bilateral)	,636	,533	.	,037
		N	96	96	96	96
	BDO	Coeficiente de correlación	-,069	,033	-,214	1,000
		Sig. (bilateral)	,504	,748	,037	.
		N	96	96	96	96

Observando el Sig. (bilateral) de todos los pares, concluimos que todos son mayores a 0.05, lo que significa que ningún par tiene una correlación significativa a una confianza de 95%.

Esto se interpreta que el pH, T°, DBO (denominados pares) medidos al ingreso de la desinfección no tienen influencia directa en el proceso de tratamiento biológico para la remoción de coliformes totales.

## 2) Análisis correlacional coliformes fecales (ingreso a la desinfección) con pH (ingreso filtros), temperatura (ingreso filtros) y DBO (ingreso filtros)

Para realizar el análisis correlacional, lo primero que se hizo fue verificar los puestos de normalidad de los datos, para lo cual tenemos el siguiente resultado:

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Coliformes fecales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	0,372	96	0,000
pH	0,208	96	0,000
T°	0,103	96	0,014
BDO	0,096	96	0,028

La hipótesis nula que plantea la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es que la distribución de los datos es normal.

Observando el Sig. (P-Valor) tienen valor Sig. superior a 0.05, lo cual afirma que los datos no provienen de una distribución normal a una confianza de 95%.

Nosotros concluimos que los datos no tienen distribución normal.

Para el análisis correlacional usamos la prueba de correlación de Spearman, obtenido los siguientes resultados:

Correlaciones

		Coliformes fecales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	pH	T°	DBO	
Rho de Spearman	Coliformes fecales en el ingreso a la desinfección (tabla NMP)	Coeficiente de correlación	1,000	-,102	,049	-,069
		Sig. (bilateral)	.	,322	,636	,504
		N	96	96	96	96
	pH	Coeficiente de correlación	-,102	1,000	-,064	,033
		Sig. (bilateral)	,322	.	,533	,748
		N	96	96	96	96
	T°	Coeficiente de correlación	,049	-,064	1,000	-,214
		Sig. (bilateral)	,636	,533	.	,037
		N	96	96	96	96
	DBO	Coeficiente de correlación	-,069	,033	-,214	1,000
		Sig. (bilateral)	,504	,748	,037	.
		N	96	96	96	96

Observando el Sig. (bilateral) de todos los pares, concluimos que casi todos son mayores a 0.05, lo que significa que algunos pares (coliformes fecales, pH, T° y DBO) tiene una correlación significativa a una confianza de 95%.

Observando la matriz de correlación observamos que existe una correlación significativa de manera negativa (-0.217 con Sig igual a 0.037 menor a 0.05) de la variable DBO con la T°, a una confianza de 95%. Esto significa que la DBO y la T° están relacionadas de manera inversa, si la T° aumenta, la DBO disminuye o viceversa.

### 3) Análisis correlacional coliformes totales en la salida de la desinfección con pH (ingreso a la desinfección), temperatura (ingreso a la desinfección) y Turbiedad (ingreso a la desinfección)

Para realizar el análisis correlacional, lo primero que se hizo fue verificar los puestos de normalidad de los datos, para lo cual tenemos el siguiente resultado:

#### Pruebas de normalidad

Variables	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Coliformes totales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	0,270	96	0,000
pH en el ingreso de desinfección	0,258	96	0,000
Tº en el ingreso de desinfección	0,151	96	0,000
Turbiedad en el ingreso de la desinfección	0,134	96	0,000

La hipótesis nula que plantea la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es que la distribución de los datos es normal.

Observando el Sig. (P-Valor) tienen valor Sig. superior a 0.05, lo cual afirma que los datos no provienen de una distribución normal a una confianza de 95%. Nosotros concluimos que los datos no tienen distribución normal.

Para el análisis correlacional usamos la prueba de correlación de Spearman, obteniendo los siguientes resultados:

*Correlaciones*

			Coliformes totales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	pH en el ingreso de desinfección	Tº en el ingreso de desinfección	Turbiedad en el ingreso de la desinfección
Rho de Spearman	Coliformes totales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	Coefficiente de correlación	1,000	-,248	-,126	,407
		Sig. (bilateral)	.	,015	,220	,000
		N	96	96	96	96
		<hr/>				
	pH en el ingreso de desinfección	Coefficiente de correlación	-,248	1,000	-,413	-,353
		Sig. (bilateral)	,015	.	,000	,000
		N	96	96	96	96
		<hr/>				
	Tº en el ingreso de desinfección	Coefficiente de correlación	-,126	-,413	1,000	-,002
		Sig. (bilateral)	,220	,000	.	,982
		N	96	96	96	96
		<hr/>				
	Turbiedad en el ingreso de la desinfección	Coefficiente de correlación	,407	-,353	-,002	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	,000	,982	.
		N	96	96	96	96
		<hr/>				

Observando el Sig. (bilateral) de todos los pares, concluimos que algunos son menores a 0.05, lo que significa que algunos pares tienen una correlación significativa a una confianza de 95%.

Observando la matriz de correlación observamos que existe una correlación significativa de manera negativa (-0.248 con Sig. igual a 0.015 menor a 0.05) de la variable pH en el ingreso a la desinfección con coliformes totales en la salida de la desinfección; además se observa una relación positiva (r=0.407) entre la variable turbiedad en el ingreso a la desinfección con los coliformes totales en la

salida de la desinfección, y finalmente una relación negativa entre el pH en el ingreso a la desinfección con la turbiedad en el ingreso de la desinfección, todos con una confianza de 95%.

**4) Análisis correlacional coliformes fecales en la salida de la desinfección con pH (ingreso a la desinfección), temperatura (ingreso a la desinfección) y Turbiedad (ingreso a la desinfección)**

Para realizar el análisis correlacional, lo primero que se hizo fue verificar los puestos de normalidad de los datos, para lo cual tenemos el siguiente resultado:

*Pruebas de normalidad*

Variables	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Coliformes totales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	0,270	96	0,000
pH en el ingreso de desinfección	0,258	96	0,000
Tº en el ingreso de desinfección	0,151	96	0,000
Turbiedad en el ingreso de la desinfección	0,134	96	0,000

La hipótesis nula que plantea la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es que la distribución de los datos es normal.

Observando el Sig. (P-Valor) tienen valor Sig. superior a 0.05, lo cual afirma que los datos no provienen de una distribución normal a una confianza de 95%. Nosotros concluimos que los datos no tienen distribución normal.

Para el análisis correlacional usamos la prueba de correlación de Spearman, obtenido los siguientes resultados:



Correlaciones

			Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	pH en el ingreso de desinfección	Tº en el ingreso de desinfección	Turbiedad en el ingreso de la desinfección
Rho de Spearman	Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	Coefficiente de correlación	1,000	-,248	-,126	,407
		Sig. (bilateral)	.	,015	,220	,000
		N	96	96	96	96
pH en el ingreso de desinfección		Coefficiente de correlación	-,248	1,000	-,413	-,353
		Sig. (bilateral)	,015	.	,000	,000
		N	96	96	96	96
Tº en el ingreso de desinfección		Coefficiente de correlación	-,126	-,413	1,000	-,002
		Sig. (bilateral)	,220	,000	.	,982
		N	96	96	96	96
Turbiedad en el ingreso de la desinfección		Coefficiente de correlación	,407	-,353	-,002	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	,000	,982	.
		N	96	96	96	96

Observando el Sig. (bilateral) de todos los pares, concluimos que algunos son menores a 0.05, lo que significa que algunos pares tiene una correlación significativa a una confianza de 95%.

Observando la matriz de correlación observamos que existe una correlación significativa de manera negativa ( -0.248 con Sig. igual a 0.015 menor a 0.05) de la variable pH en el ingreso a la desinfección con coliformes fecales en la salida de la desinfección; además se observa una relación positiva ( $r=0.407$ ) entre la variable turbiedad en el ingreso a la desinfección con los coliformes fecales en la salida de la desinfección, y finalmente una relación negativa entre el pH en el ingreso a la desinfección con la turbiedad en el ingreso de la desinfección, todos con una confianza de 95%.

**5) Análisis correlacional de cloro residual con pH (ingreso a la desinfección), temperatura (ingreso a la desinfección) y Turbiedad (ingreso a la desinfección)**

Para realizar el análisis correlacional, lo primero que se hizo fue verificar los puestos de normalidad de los datos, para lo cual tenemos el siguiente resultado:

Pruebas de normalidad

Variables	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Cloro Residual (mg/Lt)	0,075	96	0,200
pH en el ingreso de desinfección	0,258	96	0,000
Tº en el ingreso de desinfección	0,151	96	0,000
Turbiedad en el ingreso de la desinfección	0,134	96	0,000

La hipótesis nula que plantea la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es que la distribución de los datos es normal.

Observando el Sig. (P-Valor) tienen valor Sig. superior a 0.05, lo cual afirma que los datos no provienen de una distribución normal a una confianza de 95%.

Nosotros concluimos que los datos no tienen distribución normal.

Para el análisis correlacional usamos la prueba de correlación de Spearman, obtenido los siguientes resultados:

Correlaciones

		Cloro Residual (mg/Lt)	pH en el ingreso de desinfección	Tº en el ingreso de desinfección	Turbiedad en el ingreso de la desinfección
Rho de Spearman	Cloro Residual (mg/Lt)	1,000	,007	,065	-,073
			,946	,531	,478
		96	96	96	96
pH en el ingreso de desinfección	Cloro Residual (mg/Lt)	,007	1,000	-,413	-,353
		,946		,000	,000
		96	96	96	96
Tº en el ingreso de desinfección	Cloro Residual (mg/Lt)	,065	-,413	1,000	-,002
		,531	,000		,982
		96	96	96	96
Turbiedad en el ingreso de la desinfección	Cloro Residual (mg/Lt)	-,073	-,353	-,002	1,000
		,478	,000	,982	
		96	96	96	96

Observando el Sig. (bilateral) de todos los pares, concluimos que algunos son menores a 0.05, lo que significa que algunos pares tiene una correlación significativa a una confianza de 95%.

Observando la matriz de correlación observamos que existe una correlación significativa de manera negativa ( -0.413 con Sig. igual a 0.015 menor a 0.05) de la variable T° en el ingreso a la desinfección pH en el ingreso, con una confianza de 95%.

**6) Análisis correlacional de cloro residual con coliformes fecales (en la salida a la desinfección) y coliformes totales (salida a la desinfección)**

Para realizar el análisis correlacional, lo primero que se hizo fue verificar los puestos de normalidad de los datos, para lo cual tenemos el siguiente resultado:

*Pruebas de normalidad*

Variables	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Cloro Residual (mg/lit)	0,075	96	0,200
Coliformes totales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	0,270	96	0,000
Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	0,270	96	0,000

La hipótesis nula que plantea la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es que la distribución de los datos es normal.

Observando el Sig. (P-Valor) tienen valor Sig. superior a 0.05, lo cual afirma que los datos no provienen de una distribución normal a una confianza de 95%. Nosotros concluimos que los datos no tienen distribución normal.

Para el análisis correlacional usamos la prueba de correlación de Spearman, obtenido los siguientes resultados:

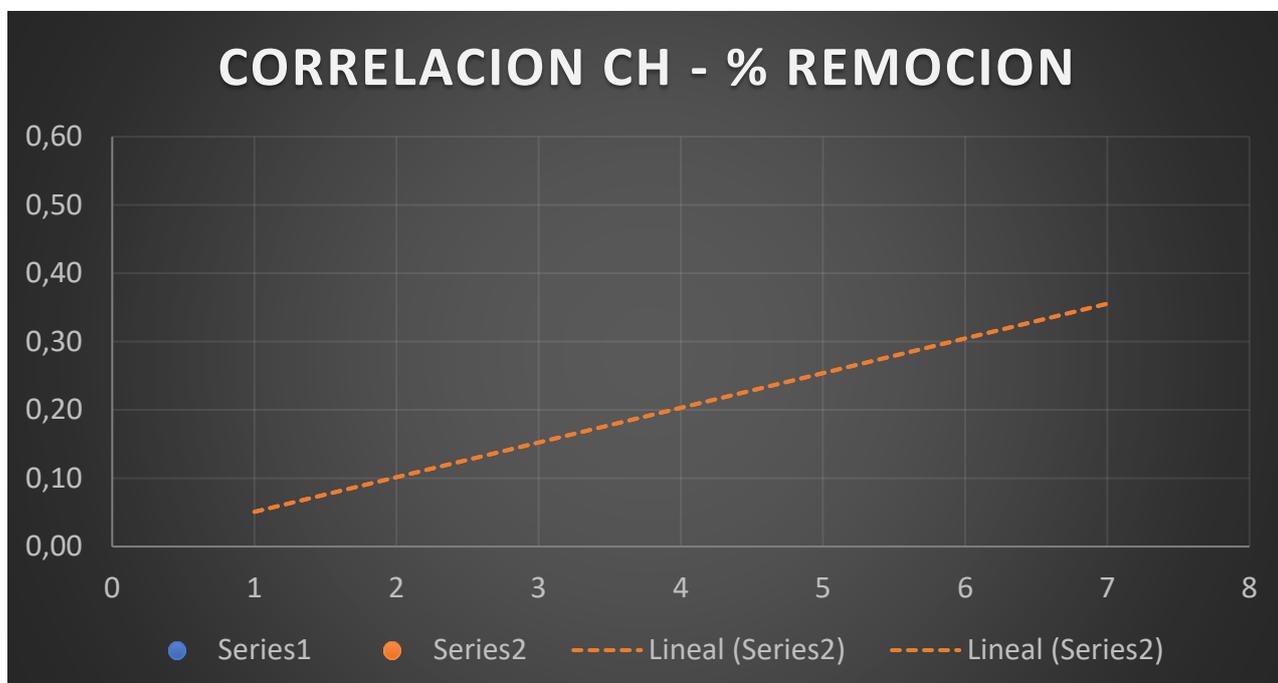
Correlaciones

			Cloro Residual (mg/l)	Coliformes totales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)
Rho de Spearman	Cloro Residual (mg/l)	Coeficiente de correlación	1,000	-,061	-,061
		Sig. (bilateral)	.	,556	,556
		N	96	96	96
	Coliformes totales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	Coeficiente de correlación	-,061	1,000	1,000
		Sig. (bilateral)	,556	.	.
		N	96	96	96
	Coliformes fecales en la salida de la desinfección (tabla NMP)	Coeficiente de correlación	-,061	1,000	1,000
		Sig. (bilateral)	,556	.	.
		N	96	96	96

Observando el Sig. (bilateral) de todos los pares, concluimos que todos son mayores a 0.05, lo que significa que ningún par tiene una correlación significativa a una confianza de 95%.

## 7) Análisis correlacional de filtros percoladores con diferentes cargas hidráulicas y el porcentaje de remoción:

Para este análisis se realizó el análisis de correlación usando el programa Excel, con lo cual obtuvimos lo siguiente:



Unidad	CH	% remoción
FP - 1	0.06	0.44
FP - 2	0.05	0.20
FP - 3	0.03	0.54
FP - 4	0.07	0.47
FP - 5	0.05	0.10
FP - 6	0.03	0.07

**Interpretación:** El coeficiente de correlación es de 0.272; valor que no se acerca ni a la unidad; por lo que podemos indicar que no existe una relación significativa entre estas variables.

## V: DISCUSION DE RESULTADOS

Visto los resultados obtenidos y mostrados en el capítulo anterior, a continuación, presento la discusión de estos resultados con los antecedentes relacionados a esta investigación:

Según la investigación realizada por Choque (2018), en su investigación titulada “Filtros de carbón vegetal para remoción de virus y bacterias en agua residual doméstica”, demostraron que los filtros lograron reducir  $0.95 \pm 0.6$  Log10 de coliformes termotolerantes y  $1.11 \pm 0.4$  Log10 de colifagos, que representa una eficiencia de remoción del 89% y 90% respectivamente, teniendo que el diámetro de grano más pequeño (4.4 mm) tiene un mejor porcentaje de remoción.

Así mismo, Cuchón y Aybar (2005), en su investigación titulada “Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “La Totorá”, Ayacucho, Perú”, demostraron que el agua residual que trata esta PTAR no está cumpliendo con la Ley General de Aguas D.L. 17752 (agua de clase III), para los parámetros de bacterias coliformes fecales (BCF) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

En los ensayos realizados en esta investigación, se ha podido determinar que los filtros percoladores tienen una eficiencia de remoción de 54.2 %, no cumpliendo aun con la normativa, y en consecuencia requiriendo un tratamiento adicional para alcanzar un mayor porcentaje de remoción. Siendo necesario mejorar este proceso para cumplir con la normatividad.

Según la investigación realizada por Reyes (2016), en su investigación titulada “Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: desinfección y formación de subproductos”, demostró que al usar el cloro para la remoción de coliformes fecales se obtiene una eficiencia de remoción de 99.9999 %, cumpliendo de esta manera con los límites máximos permisibles (normas mexicanas); en las cuatro temporadas del año en las cuales realizó su muestreo, sólo en verano y primavera; pudiendo ser reutilizada este efluente para riego de áreas verdes.

Tal como se ha podido observar en los resultados obtenidos, se evidencia que los filtros percoladores usando como medio filtrante carbón vegetal y con diferentes cargas hidráulicas no remueven de manera significativa la carga microbiana (coliformes fecales y coliformes totales); esto se debe a que los filtros percoladores tienen una mayor eficiencia en la remoción de carga orgánica (DBO y DQO); esto

se refleja en diversas investigaciones, entre ellas se puede mencionar a Bernal et al (2010), el cual usó como medio filtrante arena de sílice natural y carbón activado proveniente de concha de coco; este medio filtrante sólo removi6 en más del 90% DBO5 y DQO y sobre ello se aplic6 desinfección mediante radiación ultravioleta; este último proceso elimin6 en un 98% coliformes totales y fecales; hecho que se asemeja a nuestros resultados obtenidos en la investigación, en la cual se alcanz6 una mayor eficiencia de remoci6n cuando se aplic6 la desinfección haciendo uso del cloro.

Otra investigación en la cual se pueden sustentar los resultados obtenidos en esta investigación fue la realizada por Godoy (2013); el cual us6 como medio filtrante dos capas de arena de acuerdo a su contextura, una capa de carb6n vegetal no activado y dos capas de grava; analiz6 parámetros tales como pH, color, turbiedad, iones sulfato y iones cloruro; y orgánicos: detergente, aceite, grasa y coliformes totales; los resultados obtenidos en el primer y segundo muestreo, dan a conocer que dicho filtro no removi6 la carga microbiana (coliformes fecales y totales) presente en el agua residual; esto no quiere decir que no se removi6 ni un mínimo porcentaje de estos parámetros, sí se obtuvo eficiencia de remoci6n, pero no fue suficiente para que cumpla con la normatividad boliviana.

Finalmente en los ensayos realizados en esta investigación, se ha podido determinar que la aplicaci6n de un sistema de desinfección, suministrando hipoclorito de calcio tiene una eficiencia del 99.9 % para coliformes fecales y coliformes totales, con estos resultados contrastamos los obtenidos por Reyes (2016) en su investigación, donde indica que el agua tratada de la PTAR sur ubicada en Durango - México; cumpli6 con los límites máximos permisibles de CF en las cuatro temporadas del ańo, y por lo tanto se puede reusar para regar cultivos agrícolas y jardines; sin embargo, la PTAR oriente, sólo cumpli6 con los límites máximos permisibles en verano y primavera, lo que indica que este proceso de desinfección no es constante, esto puede deberse al mantenimiento de la planta o por la falta de cloro en las unidades; también indica que la eficiencia de remoci6n de microorganismos pat6genos en las plantas de tratamientos se determin6 en base a la cantidad de coliformes fecales eliminados en el agua; contrastando con las bases te6ricas mencionadas en esta investigación confirmamos que el cloro es uno de los desinfectantes más eficaces en la inactivaci6n de microorganismos; claro est6 que también pudo haberse utilizado la luz ultravioleta u ozono pero el

costo de operación hubiera sido más elevado, y lo que se pretende, es buscar alternativas de tratamiento, de fácil operación y mantenimiento y bajo costo; el mecanismo bajo el cual el cloro llega a matar patógenos es el siguiente; al agregar cloro al agua residual en cantidad suficiente para que reaccione con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y el amoníaco, forman compuestos orgánicos de cloro y de cloraminas. Si a partir de aquí se sigue añadiendo cloro, se irán destruyendo las cloraminas y compuestos orgánicos de cloro hasta que llegue el punto de ruptura o “break point”, donde el cloro residual empieza a quedar libre o disponible. Es ahí, donde se pudo medir el efecto residual a las salidas de las cámaras de contacto de cloro, el cual fue medido con el fotómetro Hanna HI96710, corroborando de esta manera que se cumpla con los Estándares de Calidad (ECAs) vigentes según las normas peruanas.

Finalmente, dentro de la investigación se está considerando la **evaluación económica del proyecto de tesis**; dentro de la cual se ha analizado el costo/beneficio de esta investigación, para lo cual se ha obtenido lo siguiente:

El costo que involucra el poder realizar la implementación de todos los equipos, materiales, reactivos, entre otros para poder analizar los parámetros necesarios indicados en las normativas peruanas para vertimiento de aguas residuales, tiene un costo promedio de 80 mil soles; el cual trae un gran beneficio, que viene a ser, el agua residual vertida cumpliendo con todos los Límites Máximos Permisibles siendo apto para su vertimiento en el cuerpo receptor. Esto trae consigo que en cualquier inspección realizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se pueda verificar ello, de esta manera se estaría cumpliendo con las normativas y no sería causal de sanciones administrativas ni penales, por parte del ente rector. Además, que este proyecto piloto se puede llevar a mayores escalas, y se puede aplicar donde los servicios de saneamiento sean sostenibles; pues implica constante operación y mantenimiento, además de contar con personales capacitados.



## VI: CONCLUSIONES

- El efecto de los filtros percoladores empleando como medio filtrante carbón vegetal, con diferentes cargas hidráulicas sobre la remoción de la carga microbiana de las aguas residuales y aplicando un sistema de desinfección es bajo, es decir, tiene un bajo porcentaje de remoción; debido a que los filtros percoladores remueven o tratan de manera más eficiente la carga orgánica, esto ha sido presentado en la discusión de resultados, donde se contrastan los resultados obtenidos en esta investigación, con otras realizadas en otros países; sin embargo, esto no indica que no se haya removido carga microbiana en estas unidades, porque tal como se indica en la tabla N°5 y tabla N°6 se ha determinado que todos los filtros han removido esta carga microbiana cuyos indicadores en este caso son coliformes totales y coliformes fecales, pero no en una eficiencia mayor a la ya mencionada; haciéndose necesario un tratamiento adicional.
- Los filtros percoladores con diferentes cargas hidráulicas no tienen relación con la remoción de la carga microbiana de las aguas residuales (Coef. Correlación=0.27), esto ha sido corroborado con los resultados obtenidos del muestreo en cada filtro percolador, y según los análisis de coliformes fecales y coliformes totales.
- Finalmente, al haber aplicado hipoclorito de calcio en las seis cámaras de contacto de cloro, en una dosis de 1.19 ml/min o 23.81 gotas/min, podemos estimar en base a los resultados obtenidos a la salida de las cámaras de contacto, que, este sistema tiene una incidencia alta en la remoción de la carga microbiana, pues de acuerdo a los resultados mostrados en las tablas N°7 y N°8 se puede ver que hay una eficiencia del 99.9 % para coliformes fecales y coliformes totales. Además de que según la tabla N°9 hay cloro residual en el efluente.

## VII: RECOMENDACIONES

- La presente investigación constituye un aporte importante para las comunidades que presten servicios de saneamiento en sus localidades, ya que ha quedado comprobado que el uso de un sistema de desinfección presenta un alto porcentaje de remoción en lo que respecta a carga microbiana, siendo este insumo químico, en este caso Hipoclorito de calcio al 70%, de bajo costo y fácil operación y mantenimiento, además de que no se requiere una infraestructura y/o tecnología de vanguardia, pues es de fácil implementación.
- Se recomienda operar la planta de forma continua y con un personal capacitado para poder solucionar cualquier inconveniente que se presente durante el día, pues suelen suceder atoros en el ingreso a la PTAR y como consecuencia colmataciones en las unidades de tratamiento, esto debido a que la tecnología en el pre tratamiento no es muy óptima, esto hace que no se retengan todos los sólidos; a la vez esto puede traer consigo errores al momento de realizar la desinfección.
- Mejorar el sistema de desinfección, con otros equipos o sistemas que operen de manera continua y la solución de cloro pueda tener un periodo de duración mucho mayor; ya que con el tiempo el caudal de operación irá aumentando y no será suficiente con el sistema actual instalado.
- Realizar la limpieza constante de la cámara de contacto, o colocarle una tapa, de tal manera que no pueda ingresar elementos extraños; pues al estar expuesto al ambiente, se llena de arena y tierra producto de los vientos que ocurren en la zona, lo cual hace que la turbiedad aumente y el efecto de la desinfección disminuya su eficiencia.
- Realizar un cronograma de limpieza por cada unidad de tratamiento que compone la PTAR, pues para que el tratamiento se realice de manera eficiente es necesario que todos los componentes operen adecuadamente en todos los niveles de tratamiento; y de esta manera podamos obtener un efluente que cumpla con los estándares de calidad en cuanto se refiere a tratamiento de aguas residuales.
- Realizar investigaciones o monitoreo del agua a la salida de la desinfección para poder evaluar si hay sub productos formados de la cloración, los cuales

puedan afectar campos de cultivo, ya que el área de investigación es una zona agrícola, y de esta manera podamos saber qué efectos puedan causar estos productos en el suelo.

## VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. Editorial Episteme C.A. Caracas, Republica Bolivariana de Venezuela.
- Almeyda, C. y Córdova, R. (2007). Tratamiento alternativo de aguas residuales domesticas mediante filtros consecutivos para poblaciones rurales. Tesis de pre grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/510>
- Barrenechea, A. y Cánepa, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I. Lima, Perú.
- Bernal et al. (2010) Tratamiento de agua residual municipal por un sistema fisicoquímico y oxidación química en flujo continuo. Avances en Ciencias e Ingeniería. vol. 2, núm. 2, 2011, pp. 69-81. Executive Business School. La Serena, Chile.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627682007.pdf>
- Cabrera, J. y Hernández, M. (2008). Validación de la prueba de coliformes totales y fecales por la técnica de tubos múltiples utilizando un medio fluorogénico. San Salvador, El Salvador, Centro América.
- CONAGUA (2015). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Procesos de oxidación bioquímica con biomasa fija. Tlalpan. México, D.F.
- Choque, M. (2018). Filtros de carbón vegetal para remoción de virus y bacterias en agua residual doméstica. Trabajos de grado de maestrías. Universidad Mayor de San Simón, Jordan, Cochabamba, Bolivia. Recuperada de <http://hdl.handle.net/123456789/11058>
- Chuchón, S., y Aybar, C., (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, Ayacucho, Perú. Ecología aplicada, 7 (1,2).
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 1. Santa Fe de Bogotá: Editorial McGraw-Hill.

- Crites, R. y Tchobanoglous, G. sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santa Fe de Bogotá: Editorial McGraw-Hill.
- Diaz, M., Gonzales, A., Sifuentes, D. y Gonzáles, E. (2010). El carbón vegetal: alternativa de energía y productos químicos. Xilema Vol.23.
- Earl, D. (1975), Informe sobre el carbón vegetal. Roma. Estudio Montes. FAO.
- Godoy, S. (2013). Depuración de aguas residuales domesticas por adsorción química en material reciclado, La Paz, Bolivia.
- Guardado, B., Rodríguez, A. y Monge E. (2010). Evaluación de la calidad del carbón vegetal producido en hornos de retorta y hornos metálicos portátiles en el Salvador. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. La Libertad, El Salvador.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. México D.F. McGraw Hill.
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Cienciamérica, N°3. (34-39)
- Lutteral, E. (1940). Carbones activos. Círculo Militar. Biblioteca del oficial. Volúmen 265. Buenos Aires, Argentina.
- Manual del Carbón activo. Master en Ingeniería del Agua. E.U Politécnica. Universidad de Sevilla – España.
- Metcalf y Eddy (1997). Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición. México, D.F. McGraw-Hill.
- MINSA (2002). Glosario de términos. Colombia.  
Recuperado de  
<http://www.saludcapital.gov.co/sitios/SectorBelleza/Paginas/GlosariodeTerminos.aspx>
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). OS 090 Plantas de tratamiento de aguas residuales. El Peruano. Lima, Perú.
- Reyes, M. (2016). Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: desinfección y formación de subproductos. Tesis para el grado de maestro. Instituto politécnico Nacional Centro de Investigación Interdisciplinario para el desarrollo integral regional unidad Durango. Ciudad de México. México.

- Reyes, S. y Reyes, R. (2009). Efecto de las cargas hidráulica y orgánica sobre la remoción másica de un empaque estructurado en un filtro percolador.
- Romero, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales – Teoría y principios de diseño. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.