

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**PROPUESTA DE MEJORAS A LOS SISTEMAS DE AGUA
POTABLE Y SANEAMIENTO DEL CANTÓN CAYAMBE**

**REHABILITACIÓN DEL TANQUE IMHOFF EN BARRIO VÍCTOR
CARTAGENA**

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

MELANIE PAOLA CARRILLO AGUILAR

DIRECTOR: ING.EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES, Msc

DMQ, AGOSTO 2023

CERTIFICACIONES

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

MELANIE CARRILLO

melanie.carrillo@epn.edu.ec

carrillomely7@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Melanie Paola Carrillo Aguilar, bajo mi supervisión.

Eduardo Mauricio Vásquez Falcones

DIRECTOR

eduardo.vasquez@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

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

Melanie Paola Carrillo Aguilar

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi madre, quien nunca dejo de creer en mí y siempre lucho incansablemente por apoyarme en mis estudios, quien me ha dado las mayores enseñanzas de resiliencia, amor y honestidad.

Les dedico a dos personas muy especiales, mis abuelitas, una de ellas ya no se encuentra en este mundo terrenal y desde que partió a una mejor vida dejo un vacío enorme en mi corazón, pero por siempre tengo presente la esencia que la caracterizaba como una mujer única, estricta, trabajadora y sobre todo buena madre. A mi segunda abuelita que me demostró el amor más puro de una abuelita a su nieta y que la bondad aún existe en algunos humanos, ella es el ser de bondad más grande que he podido conocer.

A mi abuelito, a mi papá, a mis hermanos, a mi sobrino quién con una sonrisa inocente alegraba mi día.

A mis amigos que durante todo el tiempo que forjamos nuestra amistad vivimos las más divertidas y locas experiencias, me confiaron sus historias de vida, demostrándome que son personas extraordinarias.

AGRADECIMIENTO

A dios por ser mi mayor fortaleza para afrontar todos los días los retos que se presentan en mi vida.

A mis padres por el gran apoyo, sus consejos y la lucha constante que compartían conmigo en esta etapa de mi vida.

A los ingenieros de la carrera de Agua y Saneamiento ambiental, por compartir sus valiosos conocimientos y apoyarnos en cada uno de nuestros proyectos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	VIII
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	8
1.1 Objetivo General.....	9
1.2 Objetivos Específicos	9
1.3 Alcance.....	9
1.4 Marco teórico.....	10
Composición y características del agua residual.....	10
Sistema de alcantarillado y alcantarillado sanitario	11
Factores importantes en el cálculo del alcantarillado sanitario.....	11
Indicadores del agua residual	13
Fases del tratamiento de aguas residuales.....	15
Plantas de tratamiento para pequeñas poblaciones.....	15
Tanque Imhoff	16
Sedimentación y digestión de lodos.....	17
Ventajas y desventajas del tanque Imhoff.....	17
Zanja de Infiltración	18
Normas de la calidad y muestro del agua residual.....	18
2 METODOLOGÍA.....	20
2.1 Descripción de la zona de estudio.	20
Levantamiento de información y línea base.	20
2.2 Evaluación y características de los sistemas de tratamiento.....	20

Caudales	20
Caudal Teórico	20
Caudal Aforado.....	21
Caudal futuro	22
Dimensionamiento del tanque Imhoff con diferentes caudales.....	23
2.3 Muestreo y caracterización del agua residual	27
Metodología del muestreo	27
2.4 Mejoras de diseño del tratamiento definitivo	30
Manual de operación y mantenimiento del tanque Imhoff	31
3 RESULTADOS	32
3.1 Levantamiento de información y línea base de resultados.....	32
3.2 Resultados de la Evaluación de las características operacionales del sistema de Tratamiento	34
Resultados Caudales teóricos, aforados y futuros	34
Resultados del dimensionamiento del tanque Imhoff con diferentes caudales.....	36
3.3 Resultados de Muestreo y caracterización del agua residual.....	39
3.4 Mejoras de diseño del tratamiento definitivo	46
Resultados del diseño de la Zanja de Infiltración	47
4 CONCLUSIONES	48
5 RECOMENDACIONES.....	49
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
7 ANEXOS.....	44
ANEXO 1: REPORTE DE SIMILITUD GENERADO POR TURNITIN.....	44
ANEXO 2: PLAN DE MUESTREO.....	45
ANEXO 3: TABLA DE TECNICAS GENERALES PARA LA CONSERVACION DE MUESTRAS (NTE INEN, 2169-2013)	48
ANEXO 4: TABLA 8 (TULSMA, 2015).....	49
ANEXO 5: TABLA 9 (TULSMA, 2015).....	50

ANEXO 6: DATOS DE POZOS, TUBERIAS DE RED Y COLECTOR DEL SISTEMA	51
ANEXO 7: RESULTADOS ANALISIS DE AGUA RESIDUAL EN EL LABORATORIO CICAM.....	52
ANEXO 8: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS EN LABORATORIO.....	53
ANEXO 9: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS	55
ANEXO 10: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN LABORATORIO.....	60
ANEXO 11: COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.....	61
ANEXO 12: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE IMHOFF.....	62
ANEXO 13 : PLANO DEL TANQUE IMHOFF	66
ANEXO 14: PLANO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN	67

RESUMEN

El actual proyecto de titulación evalúa la rehabilitación del sistema de tratamiento de las aguas residuales que corresponde a un Tanque Imhoff en el Barrio Víctor Cartagena en la ciudad de Cayambe, el mismo que fue implementado años atrás, pero actualmente está deshabilitado. Las aguas residuales son transportadas por el sistema de alcantarillado combinado y se vierten directamente al Río Granobles, generando consecuencias negativas al medio ambiente y a la población.

Para la ejecución del proyecto la información presentada y utilizada en los distintos cálculos de caudales y dimensionamientos fue obtenida de visitas técnicas y gestionada por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Aseo Cayambe (EMAAPAC). Para la evaluación de las características operacionales del sistema de tratamiento se consideró el cálculo y actualización de los caudales teóricos, aforados y futuros. Se determinó que los caudales aforados en la zona de descarga de las aguas residuales superaron en magnitud a los caudales teóricos calculados.

Por otro lado, se realizó el análisis y caracterización del agua residual con los resultados obtenidos en el muestreo en el sitio y en el laboratorio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los resultados de la caracterización no corresponden a las concentraciones típicas de las residuales domésticas ya que exceden los rangos establecidos, ya que industrias descargan sus vertidos sin darles un tratamiento previo.

La eficiencia de tratamiento del tanque Imhoff no es la idónea para las aguas residuales del Barrio Víctor Cartagena, debido a los bajos porcentajes de eficiencia de remoción de contaminantes y un caudal que ingresa al sistema mucho mayor que el caudal para el cual fue diseñado; por lo cual es imprescindible agregar una operación de tratamiento adicional como lo es la zanja de infiltración.

PALABRAS CLAVE: Aguas residuales, caudales actualizados, caracterización de agua residual, eficiencia de remoción, zanja de infiltración.

ABSTRACT

The current titling project evaluates the rehabilitation of the wastewater treatment system that corresponds to an Imhoff Tank in the Víctor Cartagena neighborhood in the city of Cayambe, the same one that was implemented years later, but is currently disabled. Wastewater is transported by the combined sewage system and is discharged directly into the Granobles River, generating negative consequences for the environment and the population.

For the execution of the project, the information presented and used in the different flow and sizing calculations was obtained from technical visits and managed by the Cayambe Municipal Public Drinking Water, Sewerage and Cleaning Company (EMAAPAC). For the evaluation of the operational characteristics of the treatment system, the calculation and updating of the theoretical, measured, and future flows was determined. It was determined that the measured flows in the wastewater discharge area exceeded the calculated theoretical flows in magnitude.

On the other hand, the analysis and characterization of the residual water was carried out with the results obtained in the sampling on the site and in the laboratory of the physical, chemical and microbiological parameters. The results of the characterization carried out to a large extent do not correspond to the typical concentrations of domestic waste, probably they exceed the established ranges since industries discharge their discharges without giving them prior treatment.

The treatment efficiency of the Imhoff tank is not ideal for the wastewater from the Víctor Cartagena neighborhood, due to the low percentages of pollutant removal efficiency and a flow that enters the system much higher than the flow for which it was designed; for which it is essential to add an additional treatment operation such as the infiltration ditch.

KEY WORDS: Wastewater, updated flows, wastewater characterization, removal efficiency, infiltration ditch.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

DESARROLLADO

En la ciudad de Cayambe el servicio de Agua potable, Alcantarillado y Aseo es gestionado por la EMAPAAC. El sistema de tratamiento de aguas residuales del Barrio Víctor Cartagena en Cayambe consta de un Tanque Imhoff que se ha visto rezagado debido a que no se encuentra en funcionamiento ya que la red de tuberías de alcantarillado descarga directamente los vertidos al cuerpo hídrico Río Granobles a través de una tubería emergente.

El tanque Imhoff es una operación unitaria de tratamiento que funciona con digestión anaerobia, la misma que posee dos cámaras sobrepuestas: la cámara de sedimentación y la cámara de almacenamiento y digestión de lodos. Este sistema otorga un tratamiento de aguas residuales para pequeños conglomerados. (Muñoz & Aldás, 2017)

Dentro del proyecto se levantó información a partir de visitas técnicas para determinar el estado actual del Tanque Imhoff, sus dimensiones y coordenadas geográficas. Además, fue proporcionada información técnica utilizada en el proyecto por parte de la EMAPAAC como: cotas y diámetros de tuberías, numeración de pozos en la red de alcantarillado, información de áreas y poblaciones estimadas de servicio en el Sistema de alcantarillado.

La evaluación de las características operacionales del sistema se basó en el cálculo de los caudales teóricos, aforados y futuros, para la actualización de las dimensiones del diseño del sistema a partir de dichos caudales.

No obstante, se realizó el análisis y caracterización del agua residual en base a una comparativa de los resultados del muestreo y análisis de las concentraciones de los parámetros físicos químicos y microbiológicos con tablas de la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) y una tabla de composición típica de agua residual domestica obtenida de bibliografía.

Finalmente, se evaluaron las concentraciones removidas por el sistema de tratamiento para verificar si la eficiencia de este era adecuada para efectuar las descargas hacia el Río Granobles de acuerdo con la normativa ambiental del Ecuador, por lo cual se estableció la factibilidad de agregar una segunda operación de tratamiento llamada zanja de infiltración como postratamiento para eliminar patógenos y carga orgánica restante no removida por el tratamiento previo.

1.1 Objetivo General

Evaluar la rehabilitación de un tanque Imhoff en el barrio Víctor Cartagena de la ciudad de Cayambe.

1.2 Objetivos Específicos

2. Levantar información de los tanques Imhoff deshabilitados y caracterizar el agua residual que se descarga actualmente a cauces naturales.
3. Evaluar las características operacionales de los sistemas de tratamiento con caudales actualizados mediante el establecimiento de nuevos periodos de diseño.
4. Proponer mejoras a los sistemas de tratamiento actuales

1.3 Alcance

El presente proyecto se realizará para evaluar la rehabilitación de un Tanque Imhoff en el Barrio Víctor Cartagena ubicado en la ciudad de Cayambe en Ecuador, el levantamiento de la información será adquirido por medio de visitas técnicas y datos proporcionados por la EMMAPAC.

Se evaluará las características operacionales del sistema de tratamiento con el cálculo y actualización de los caudales teóricos, aforados y futuros. Además, se realizará el análisis y caracterización del agua residual, comparándolos con tablas del TULSMA y bibliografía de concentraciones típicas de agua residual. No obstante, se evaluará la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema de tratamiento y, si no son adecuados, se establecerán alternativas de postratamiento.

Los resultados del proyecto se entregarán a la EMAPAAC y permitirán que las autoridades pertinentes, en caso favorable, tomen una decisión para la rehabilitación del Tanque Imhoff en el Barrio Víctor Cartagena.

1.4 Marco teórico

La actual necesidad de los recursos hídricos ha permitido la implementación de diversas estrategias y procesos para el aprovechamiento y conservación del ciclo de agua a través del control de contaminación. Según la Organización de las Naciones Unidas (2022) todos los días se contaminan ríos y mares con vertidos de más del 80% de las aguas residuales como resultado de las actividades humanas.

En cuerpos hídricos naturales, la autodepuración es realizada por microorganismos que descomponen la materia presente en otros compuestos como: metano, dióxido de carbono, etc.; siempre que las concentraciones de los contaminantes se encuentren en los niveles permisibles de descargas reguladas por las autoridades ambientales en cada país. Sin embargo, si los niveles de contaminación exceden el poder de autodepuración del agua es imprescindible aplicar un tratamiento específico de acuerdo con las características del cuerpo hídrico en cuestión. (Moreno Jabo, 2018)

Composición y características del agua residual

Las aguas residuales corresponden al tipo de agua que se ha visto afectada negativamente debido a factores antropogénicos de contaminación de diferentes orígenes en actividades de la población, en la ciudad, ruralidades, industrias, comercios, actividades agrícolas, etc.

La composición del agua residual en una comunidad focaliza cuatro principales orígenes. En primer lugar, las aguas residuales domésticas se generan del uso del agua potable para limpieza, preparación de alimentos, jardinería y evacuación de desechos sanitarios, generadas por residencias, comercios, espacios de recreación e instituciones. (Ramalho, 2021)

Las aguas residuales industriales resultan del uso del recurso natural por las industrias en actividades de construcción, producción de alimentos, manufactura, metalúrgica, etc. Debido a su composición las aguas residuales industriales deben ser tratadas previamente a su descarga en una planta de tratamiento que posea cada industria a fin de evitar concentraciones de contaminantes específicos a gran escala. (Ramalho, 2021)

Por otro lado, las aguas de infiltraciones corresponden al aporte de aguas residuales de forma directa e indirecta debido a diversos problemas como: grietas, porosidades, fracturas en tuberías y conductos, entre otros. Finalmente, las aguas pluviales, se

generan a través del flujo de la escorrentía que se dirige hacia el sistema de drenaje de la ciudad. (Moreno Jabo, 2018)

Sistema de alcantarillado y alcantarillado sanitario

Un sistema de alcantarillado es el conjunto de obras y tuberías para conducir, almacenar y evacuar aguas residuales y/o aguas de escorrentía de la lluvia. El Ecuador posee un deterioro y deficiencia en el servicio de saneamiento debido a la carencia de inversión en infraestructura sanitaria y tarifas inadecuadas por la prestación de este servicio. (Ordóñez, 2004)

Estos sistemas deben poseer la capacidad suficiente para la población beneficiaria y las facilidades para las operaciones de inspección y mantenimiento. Los colectores o tuberías se encargan de conducir los caudales de agua residual desde los domicilios hacia un interceptor que dirige estos caudales, en una línea de conducción hacia el emisario final en donde se controla la contaminación a cauces naturales con un tratamiento previo a dicha acción en una Planta de tratamiento (PTAR) y disposición final. (Carmona, 2013)

Factores importantes en el cálculo del alcantarillado sanitario

Consumo de agua

El consumo de agua de una localidad es altamente variable y suele reflejar el nivel de vida de los habitantes. En una comunidad el consumo total de agua resulta de la suma de consumo de agua para actividades domésticas, agua para actividades comerciales, agua recreativa o para fines públicos, y pérdidas en el sistema. (Brière & Pizarro, 2005)

Como el consumo de agua no es constante y está sujeto a fluctuaciones, se ve reflejado en épocas donde el gasto es mucho mayor o menor, por lo que existen puntas de consumo alejadas de los valores promedio. Los consumos punta horarios varían de acuerdo con las horas del día. El consumo es mayor en periodos desde las 7 horas hasta las 20 horas; y el consumo es menor a partir de las 22 horas hasta las 7 horas. Dependiendo la población las ciudades pueden presentar consumos punta horarios en periodos de la mañana o la noche, lo que reflejará las costumbres de la población. (Brière & Pizarro, 2005)

Dotación de agua potable

Corresponde a un estimado del consumo neto de agua potable de una población. Según la normativa para poblaciones asentadas en lugares de clima frío se recomienda que sea entre 120-200 lt/hab*día y para climas cálidos entre 140-230 lt/hab*día. (EMAAP-Q, 2009)

Población

La población es el número de habitantes que se beneficiarían con el sistema de agua potable y alcantarillado. La población corresponde a la densidad poblacional multiplicada por el área. (EMAAP-Q, 2009)

Densidad poblacional

La densidad poblacional representa la cantidad de personas que residen en una hectárea de extensión. (EMAAP-Q, 2009)

Coefficiente de retorno

Corresponde a la cantidad de agua resultante del consumo de la población hacia el sistema de alcantarillado, generalmente se toman valores de 0.75 - 0.85. (EMAAP-Q, 2009)

Caudal medio y Caudal máximo

El caudal medio se expresa como el promedio de los diferentes caudales que se determina en el periodo de un año. (EMAAP-Q, 2009)

El caudal máximo diario es el mayor valor de caudal presentado en un día a lo largo del año, mientras que el máximo horario relaciona el valor máximo de caudal en una hora observado a lo largo del año.

Caudal de infiltración y aguas ilegales.

Las aportaciones de caudales de infiltración corresponden a desperfectos en pozos, tuberías que ingresan al sistema de alcantarillado y varían entre 0-1 l/s. Por otro lado, las aportaciones de aguas ilícitas corresponden a fuentes externas no regularizadas que ingresan en el sistema de alcantarillado.

Caudal de diseño

El caudal de diseño corresponde al volumen referencial estimado para la implementación de los sistemas y redes de alcantarillado, es la relación entre el caudal máximo horario, caudal industrial, institucional, comercial y de infiltración.

Indicadores del agua residual

La calidad del agua de fuentes naturales o cuerpos hídricos se ve afectada por los contaminantes presentes en el agua residual que se descargan en concentraciones que generan mayor polución y no permiten una autodepuración natural. Los indicadores de calidad del agua residual se dan mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Indicadores físicos.

Los indicadores físicos más empleados en el análisis de la calidad del agua residual se relacionan esencialmente al olor, color, temperatura, turbiedad, la cantidad de sólidos totales, suspendidos, disueltos y volátiles presentes. El contenido total de sólidos presentes un agua residual se compone de fracciones de sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sólidos volátiles y sólidos disueltos. Alrededor del 60% de sólidos suspendidos son sedimentables en las aguas residuales, otros indicadores de contaminación son el color, olor temperatura, turbiedad, densidad. En el análisis y caracterización de sólidos, la suma de sólidos suspendidos y sólidos disueltos corresponde a los sólidos totales presentes, tanto los sólidos suspendidos como los disueltos estos dos últimos poseen fracciones de sólidos fijos y volátiles que pueden ser sedimentables y no sedimentables. (Metcalf & Eddy, 1996)

Una medida de desempeño de las operaciones de tratamiento evalúa los sólidos sedimentables, ya que promueven la formación de lodos que se traduce en malos olores debido a su descomposición. Por su parte los sólidos en suspensión sin un tratamiento previo a la descarga de los efluentes en los cauces naturales generan depósitos de fango a condiciones anaerobias.

La temperatura influye directamente en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la formación de depósitos, en efluentes de aguas residuales se encuentra entre los 15 a 20°C. La temperatura es directamente proporcional a la solubilidad y por lo tanto el número de sólidos suspendidos en el agua tiende a disminuir y el de sólidos disueltos incrementa, no obstante, este factor eleva en 2 veces la actividad biológica cada 10° Celsius, además representa un riesgo considerable en las

interacciones biológicas y las condiciones estables de los microorganismos. (Metcalf & Eddy, 1996)

Indicadores químicos.

Los indicadores químicos para evaluar la calidad del agua suelen ser más eficaces y se expresan generalmente en unidades de miligramo por litro (mg/l). Un indicador químico es el potencial hidrogeno (pH) y corresponde a la concentración de iones de hidrogeno en una solución acuosa y permite determinar el grado de acidez o basicidad de una sustancia. De acuerdo con su escala el valor que indica neutralidad es 7, valores inferiores a 7 y cercanos al cero indican acidez, y valores mayores de 7 y próximos a 14 indican que la sustancia es básica. En el agua residual el pH debe ser ajustado a valores de 5 a 9 para facilitar los procesos biológicos. (García, 2012)

La demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptible a la oxidación por medios químicos. El análisis de la DQO dura aproximadamente 3 horas a una temperatura constante de 150 °C y se utiliza un fuerte agente químico oxidado (dicromato de potasio) en medio ácido (ácido sulfúrico). Por otro lado, la demanda bioquímica de oxígeno (*DBO5*) estima el requerimiento de oxígeno para estabilizar biológicamente la materia orgánica, también está relacionada con el oxígeno disuelto consumido durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica. El ensayo tiene un ciclo mínimo de 5 días a una temperatura controlada de 20°C y utiliza un oxidante biológico. La relación (*DBO/DQO*) permite tener una estimación de la biodegradabilidad de un agua residual; para relaciones mayores a 0.4 se considera que el agua es biodegradable y en relaciones inferiores a 0.2 se consideran no biodegradables. (Mera y Diaz, 2018)

Indicadores microbiológicos.

Los indicadores microbiológicos permiten detectar la contaminación microbiana en un cuerpo hídrico y evitar el contagio de enfermedades en la población. Durante el tratamiento y caracterización del agua residual es fundamental centrar esfuerzos en la eliminación de microorganismos patógenos ya que ocasionan daños al ecosistema y pueden generar problemas de salud del ser humano. Por su parte las bacterias son organismos que se desarrollan en condiciones de pH neutro, en aguas residuales las bacterias patógenas encontradas comúnmente son: *Vibrio Cholerae*, *Shigella sp*, *Escherichia coli*. (Mera y Diaz, 2018)

Los coliformes son bacterias que se encuentran presentes en zonas superficiales de las aguas residuales y en fangos sedimentados debido al alto contenido de materia orgánica en dichos sitios. Los coliformes totales llegan a resistir temperaturas entre los 35°C y 37 °C, fermentan la lactosa produciendo ácido y dióxido de carbono. Los coliformes fecales o termoresistentes son un grupo de organismos que fermentan lactosa a temperaturas elevadas de 44°-45°C, entre ellos se encuentra la *Escherichia Coli*, que es un coliforme muy común presente en la flora intestinal animal y son muy resistentes, siendo mejores indicadores de higiene en las aguas o alimentos. (Mera y Diaz, 2018)

Fases del tratamiento de aguas residuales

En las aguas residuales, su tratamiento disminuye los posibles impactos en sus etapas de control de contaminación hacia cauces naturales, evitando el contagio de enfermedades relacionadas con el agua residual en las comunidades, esta necesidad se refleja en el objetivo número 6 propuesto por las Naciones Unidas para agua limpia y saneamiento, donde se promueve el reciclaje y la reutilización segura del recurso hídrico mundialmente. (Camarán et. al, 2019)

Una planta de tratamiento está dividida en varias fases: la preliminar, primaria, secundaria, terciaria y desinfección. La fase preliminar promueve el acondicionamiento del agua, algunos de estos tratamientos son las rejillas o amortiguamiento de caudales. Los sistemas de tratamiento primarios permiten la eliminación de materia flotante y sólidos suspendidos. Los procesos unitarios de tratamiento primario para sólidos gruesos son cribado, rejillas, además de ello se pueden implementar trampas de grasas o de ser el caso una homogenización del caudal. (Ramalho, 2021)

El tratamiento secundario integra ciclos biológicos y consta de operaciones que pueden ser: Lodos activos, aireación prolongada, Estabilización por contacto, Lagunaje con aireación, tratamientos anaerobios en que los microorganismos consumen el oxígeno en forma de átomos como procesos de contacto, filtros (sumergidos), para la síntesis de la materia orgánica. Finalmente, el tratamiento terciario se enfoca en procesos fisicoquímicos. (Ramalho, 2021)

Plantas de tratamiento para pequeñas poblaciones

Por las necesidades específicas y limitaciones de las comunidades, la construcción de plantas de tratamiento se ve dificultado por los altos costos, las restricciones de las entidades públicas, la normativa que regulan las descargas de aguas residuales y el conocimiento técnico requerido para operar y mantener los sistemas de tratamiento de

aguas residuales. Las principales operaciones unitarias para el tratamiento de aguas residuales domésticas suelen ser: fosas sépticas, Tanques Imhoff, trampas de grasa, zanjas de infiltración, sistemas de aguas grises y otros.

Tanque Imhoff

El tanque Imhoff fue patentado en 1906 por el Ingeniero Alemán Karl Imhoff y en el año 1908 se puso en funcionamiento su primera planta. El tanque Imhoff es una operación unitaria de tratamiento que funciona con digestión anaerobia por lo que no remueven nutrientes. Este sistema otorga un mínimo grado tratamiento de aguas residuales para pequeños conglomerados. (Muñoz & Aldás, 2017)

Fosa séptica	% remoción DBO_5	% remoción SS	% remociones coliformes fecales
Cámaras sobrepuestas	50	70	60

Figura 1. Remoción de sistemas para aguas residuales domesticas (Muñoz & Aldás, 2017)

Se considera una fosa séptica de cámaras sobrepuestas al Tanque Imhoff. (Muñoz & Aldás, 2017).

Se recomienda que el diseño y construcción de un tanque Imhoff sea para poblaciones pequeñas menores a los 5000 habitantes para mayor eficiencia. (CEPIS, 2005).

Este sistema de depuración de aguas residuales ofrece grandes ventajas debido a que integra la sedimentación, digestión de lodos y zona de ventilación, asimismo posee una estructura dividida en dos compartimentos o cámaras. (Moreno Jabo, 2018)

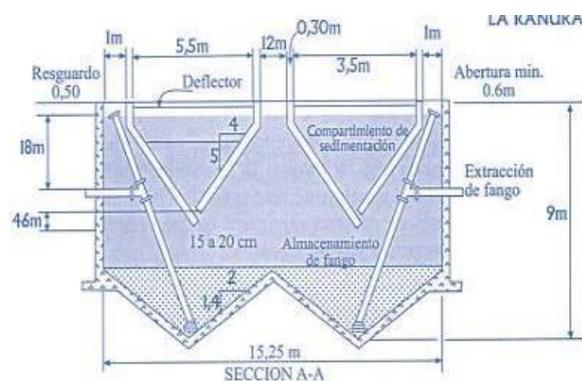


Figura 2. Vistas de un Tanque Imhoff (Ministerio del agua de Bolivia, 2007)

Sedimentación y digestión de lodos.

La primera cámara corresponde a la sedimentación o decantación en donde pasan las primeras aguas que previamente pasaron por un proceso de pretratamiento, por efecto de la gravedad los sólidos presentes descienden por las paredes inclinadas hacia un tabique que finaliza en una pequeña sección abierta, a través de la cual pasa la materia decantada a la cámara de digestión y es en donde se producen los lodos primarios con una proporción de líquido del 95-99%.

Durante la digestión de lodos se generan los procesos facultativos a cargo de los microorganismos, es decir de forma anaerobia y aerobia para la síntesis de la materia orgánica. Debido a estos procesos facultativos, se requiere un sistema adecuado mayor a 25 días de retención de sólidos a temperaturas entre 20-25°C, durante la digestión primaria. No obstante, dichos lodos deberán ser extraídos mediante un tubo para su posterior secado y tratamiento que, por lo general se adapte a las condiciones locales con la tecnología más apropiada. Los gases provenientes de la digestión suben por una tubería inclinada hasta el área de acumulación y captación del biogás, para su posterior extracción al exterior. (Hernández, 2018)

Ventajas y desventajas del tanque Imhoff

Ventajas

Adecuado para ciudades o poblaciones pequeñas, donde no se requiera un constante mantenimiento.

La digestión de lodos es más eficiente que en un tanque séptico.

El tratamiento preliminar de las aguas residuales, son operaciones sencillas como separación de arenillas o criba gruesa que dan paso a la operación del tanque Imhoff.

Desventajas

El tanque Imhoff suele ser una estructura profunda mayor a los 6m de profundidad.

Se debe construir en zonas lejanas a los asentamientos de la población, ya que pueden producir malos olores pese a su adecuado funcionamiento.

Baja remoción de DBO y coliformes por lo cual se debe desviar el efluente hacia tratamientos que permitan una adecuada remoción de microorganismos como una laguna facultativa. (Babbitt & Baumann, 1961)

Zanja de Infiltración

La zanja de infiltración es una operación unitaria de tratamiento de aguas residuales que gestiona la escorrentía de las mismas dependiendo su origen ya sea pluvial o residual y puede formar parte del postratamiento a un tanque Imhoff. La zanja de infiltración es una especie de hoyo en el suelo de un terreno o sitio escogido para su construcción, donde se acumula el agua, permitiendo que se filtre a través del suelo.

La misma ayuda a plantas y vegetación en periodos de sequía a su crecimiento. Su construcción es recomendable en terrenos secos con un nivel freático mayor a 3 m y en zonas inclinadas para el escurrimiento adecuado del agua. La eficiencia de remoción coliformes totales y termo tolerantes en la zanja de infiltración corresponde al 90%. (Canto et al., 2018)

Normas de la calidad y muestro del agua residual

El TULSMA, precedido por el Código Orgánico del ambiente (COA), son normativas que regulan y estandarización concentraciones de contaminantes a partir de parámetros ambientales para un correcto manejo ambiental de los recursos naturales del Ecuador.

“El proceso de control de contaminación del recurso hídrico se basa en el mantenimiento de la calidad del mismo para la preservación de los usos asignados a través del cumplimiento de la respectiva norma de calidad”. (TULSMA, 2015, p.11)

A partir de los programas de contaminación ambiental o planes maestros dirigidos por las Entidades prestadores de Servicio (EPS) y dirigidos por cada municipio en el Ecuador, dentro del plan de manejo ambiental se debe incluir el tratamiento del efluente de aguas residuales previo a sus descargas. Las normas de descarga de efluentes incluyen límites permisibles, reglamentos y prohibiciones para la descarga a sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua o receptores, al menos a los valores de concentración promedio diario identificados en las Tablas 8 y 9. (TULSMA, 2015)

El monitoreo reglamentado de la calidad de los cuerpos de agua y la correspondiente comparación de los resultados con la normativa son clave para cumplir la legislación ambiental, para lo que se obtienen muestras representativas de concentraciones de contaminantes en el tiempo. Acerca de la definición de una muestra compuesta el TULSMA (2015) afirma que es:” formada por mezcla de alícuotas de muestras individuales, tomadas a intervalos y durante un periodo de tiempo predeterminado”. (p.10)

De acuerdo con la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 5667-1 refiriéndose al muestreo específico de aguas residuales: “El muestreo de esta agua plantea problemas particulares debido a su naturaleza intermitente y que la calidad puede cambiar marcadamente a lo largo de todo el periodo de vertido.” (p.15)

Durante la toma de la muestra se debe realizar una técnica de homogenización o curado para obtener una muestra representativa; pero los frascos donde se depositen las muestras deben enjuagarse 3 veces y llenarlos de la muestra.

Para la conservación de las muestras, luego de su toma se utilizará un recipiente que mantenga la temperatura ya que según lo establecido por la Normativa Ecuatoriana NTE INEN 2169, 2013: “el enfriamiento simple a una Temperatura entre -2°C – 5°C es ideal en la mayoría de los casos, intentando minimizar el tiempo de llegada hacia el laboratorio para evitar modificaciones en las características de la muestra de Agua”. (p.5).

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la zona de estudio.

Cayambe se ubica en la región interandina del Ecuador, en la provincia de Pichincha, siendo parte de uno de sus ocho cantones, cuenta con un área de 1182 kilómetros cuadrados. Cayambe tiene un sistema de alcantarillado combinado, gestionado por la EMAPAAC.

El sistema y la red de tuberías de alcantarillado descarga sus aguas residuales a la Quebrada El Tumbé y los Ríos Puluví y Granobles en las zonas sur y norte de la ciudad de Cayambe. El Tanque Imhoff es el sistema de tratamiento de las aguas residuales del Barrio Víctor Cartagena, que se encuentra obsoleto por la falta de mantenimiento, por esta razón se añadió una tubería emergente que descarga directamente al río Granobles.

Levantamiento de información y línea base.

La información se obtuvo a partir de visitas de campo e información proporcionada y gestionada por la EMAPAAC. Se obtuvieron las coordenadas del Tanque Imhoff a partir de la toma de puntos georreferenciados y se determinó el punto de muestreo más apropiado a criterio técnico, se tomaron las medidas longitudinales del tanque con un flexómetro, se tomaron fotografías y videos donde se muestra el estado del Tanque Imhoff que no está en funcionamiento.

Por otro lado, la documentación facilitada por la EMAPAAC contiene datos de coordenadas del área del barrio Víctor Cartagena para delimitar el área de servicio para el tratamiento del Tanque Imhoff, el área, la población, dimensiones de componentes de la estructura de la red del alcantarillado, cotas de tuberías, catastro de pozos y diámetros de tuberías de alcantarillado.

2.2 Evaluación y características de los sistemas de tratamiento

Caudales

Caudal Teórico

Para el cálculo del caudal teórico sanitario de saturación se utilizó la Ecuación 1. La población actual fue proporcionada por información de la EMAAPAC.

$$Q_{teorico} = \frac{Pob * Dot * Cr}{86400}$$

Ecuación 1. Ecuación Caudal teórico

Donde:

Q teórico: Caudal teórico (L/s)

Pob Sat: Población de saturación (n° de habitantes)

Dot: Dotación de agua potable ($200 \frac{L}{hab * dia}$)

Cr: coeficiente de retorno 0,8 es adimensional

Caudal Aforado

Para calcular el Caudal aforado, se utilizó la ecuación para flujo que circula por una tubería parcialmente llena, por eso se midió in situ el diámetro de la tubería emergente que descarga directamente al alcantarillado. Adicionalmente se utilizó equipo medidor de flujo para obtener las velocidades y calados desde las 7 horas hasta las 16 horas del día. Con los datos obtenidos del caudal aforado y el caudal teórico sanitario, se efectuará una comparación para determinar su similitud o la posible presencia de caudales ilícitos.

$$Q_{\text{aforado}} = v \cdot A$$

Ecuación 2. Ecuación Caudal aforado

Donde:

Q real: caudal aforado (L/s)

v: velocidad de flujo (m/s)

A: Área de llenado de la tubería de alcantarillado

$$\theta = 2\arccos\left(1 - \frac{2y}{D}\right)$$

Ecuación 3. Ecuación ángulo interno

Donde:

θ : Angulo interno (°)

Y: calado (m)

D: diámetro de la tubería (m)

$$Am = \frac{R^2}{2} (\theta - \text{sen}\theta)$$

Ecuación 4. Área mojada

Donde:

Am: Área mojada

R: Radio de la tubería (m); corresponde a dos veces su diámetro

θ : Angulo interno (°)

Caudal futuro

Para el cálculo del caudal futuro se consideró la población de saturación, debido a que no se pueden utilizar métodos probabilísticos de crecimiento poblacional pues el área está completamente delimitada y no existirá un incremento superficial del barrio como suele ocurrir en los alrededores de una ciudad. Para obtener la saturación del Barrio Víctor Cartagena se utilizó la población actual más el producto entre el número de

terrenos vacíos en donde aún no había asentamientos humanos y unos habitantes por terreno, para ello se utilizó la vista del mapa aéreo (Ver Figura 6).

El valor del coeficiente de retorno es 0,8 debido al nivel de complejidad del sistema de aguas residuales domésticas. (EMAAP-Q, 2009)

$$Pob_{sat} = Pob_{actual} + (terrenos\ sa \cdot hab\ por\ terreno)$$

Ecuación 5. Ecuación Población de saturación

Donde:

Pob Sat: Población de saturación (n° de habitantes)

Pobactual: Población actual (n° de habitantes)

Terrenos sa: terrenos sin habitar (n° de terrenos)

Hab por terreno: Aproximado de habitantes por terreno sin habitar (n° de habitantes)

$$Q_{futuro} = \frac{Pob \cdot Dot \cdot Cr}{86400}$$

Ecuación 6. Ecuación Caudal futuro

Donde:

Q futuro: Caudal futuro (L/s)

Pob Sat: Población de saturación (n° de habitantes)

Dot: Dotación de agua potable ($200 \frac{L}{hab \cdot dia}$)

Cr: coeficiente de retorno 0.8

Dimensionamiento del tanque Imhoff con diferentes caudales

Según los resultados de caudales teóricos, aforados y futuros, se dimensionaron y evaluaron las características operacionales del tanque Imhoff para compararlos según la capacidad actual del caudal residual sanitario que ingresa al diseño ya construido del sistema de tratamiento en el Barrio Víctor Cartagena.

Dimensionamiento de la cámara de sedimentación

La tasa hidráulica recomendada es 15,5 a 31 m³ /m² -d para aguas residuales domésticas de similares características. (ETAPA-EP, 2007)

Para la relación de Largo y ancho de la cámara de sedimentación se estableció una relación 1:1 debido a que las dimensiones medidas durante las visitas técnicas reflejaron un sistema de tratamiento cuadrangular.

Se realizó el cálculo del Área Superficial (A_s), Ancho (B), Longitud(L), profundidad del sedimentador (Hs) y Área del biogás (AB con las ecuaciones siguientes:

$$A_s = \frac{Q_{max}}{THS}$$

Ecuación 7. Área superficial

Donde:

A_s : Área superficial (m^2)

Q máx: Caudal máximo ($\frac{m^3}{d}$)

THS: Tasa hidráulica superficial ($\frac{m^3}{m^2 \cdot d}$)

$$R = \sqrt{\frac{A_s}{2}}$$

Ecuación 8. Ancho de la cámara de sedimentación

Donde:

B: Ancho (m)

A_s : Área superficial (m^2)

$$L = B$$

Ecuación 9. Largo de la cámara de sedimentación

Donde:

L: largo (m)

B: Ancho (m)

$$V = Q_{max} \cdot tr$$

Ecuación 10. Volumen del sedimentador

Donde:

V : volumen del sedimentador (m^3)

Q_{max} : Caudal máximo

tr : tiempo de retención (h), de acuerdo con Muñoz y Aldaz (2017) él tr es 1,5

Para la cámara de almacenamiento y captación de biogás

$$A_B \geq 0.2 A_S$$

Ecuación 11. Área del biogás

Donde:

A_B : Área del biogás (m^2)

A_S : Área superficial (m^2)

El área del biogás no deberá ser menor a 0.2 veces el área superficial de la cámara del sedimentador. (Muñoz & Aldás, 2017)

$$\left(\frac{A_C}{B}\right) = \frac{A_B}{2}$$

Ecuación 12. Área de cada cámara de biogás (AC/B)

Donde:

AC/B : Área de cada cámara de biogás (m^2)

AB : Área del biogás (m^2)

$$b = \frac{A_{C/B}}{L}$$

Ecuación 13. Ancho de cada cámara (b)

Donde:

b : Ancho de cada cámara (m)

AC/B : Área de cada cámara de biogás (m^2)

L : largo (m)

$$A_B = 2 * A_{C/B}$$

Ecuación 14. Área del biogás

Donde:

AB: Área del biogás (m^2)

AC/B: Área de cada cámara de biogás (m^2)

Para la cámara de almacenamiento y digestión de lodo

$$V_L = N * TPL * P_A$$

Ecuación 15. Volumen de lodos

Donde:

VL: Volumen de lodo (m^3)

N: Número de habitantes (hab)

TPL: Tasa per cápita de lodo (l/hab*d)

PA: Periodo de almacenamiento (d)

$$H_L = \frac{VL}{(AS + AB)}$$

Ecuación 16. Profundidad de lodos

Donde:

HL: Profundidad de lodos (m)

VL: Volumen de lodo (m^3)

As: Área superficial (m^2)

AB: Área del biogás (m^2)

2.3 Muestreo y caracterización del agua residual

Con base en el plan de muestreo realizado (Ver anexo 2), se estableció que el lugar de muestreo más apropiado sería el pozo de revisión (Ver Figura 3), debido a la representatividad en sus concentraciones ya que era el punto de confluencia de las descargas de las aguas residuales domésticas del Barrio Víctor Cartagena y la tubería emergente como reemplazo al sistema del Tanque Imhoff. En la visita técnica se determinaron las coordenadas UTM y elevación del punto de muestreo a partir de un GPS.



Figura 3. Punto de muestreo (Pozo de Revisión)

Metodología del muestreo

Los parámetros por evaluar se escogieron a partir de un análisis de la zona de estudio y el tipo de agua residual. La tipología de las aguas residuales es principalmente de descargas domésticas, sin embargo, no se descarta la posibilidad de la presencia de aguas ilícitas por parte de industrias aledañas que descargan en el alcantarillado sanitario y que pueden generar mayores concentraciones de parámetros ajenos a la caracterización típica de un agua residual doméstica, por lo que se tomarán como referencia para una comparación una tabla de características típicas de aguas residuales domésticas (Ver Anexo 11) y dos tablas de la normativa del TULSMA descargas a alcantarillado público y a cauces Naturales. (Ver anexos 4 y 5)

Parámetros in situ

Para la medición de los parámetros in situ como pH y temperatura se utilizó el multiparámetro, mientras que para la medición de la velocidad de flujo y el calado el equipo utilizado fue el medidor de flujo.

Tabla 1. Parámetros de medición in situ

Parámetro	Unidad
Potencial Hidrógeno	pH
Temperatura	° C
Velocidad de flujo	ft/s
Calado	cm

Tabla 2. Equipos para medición de parámetros in situ

Equipo	Descripción	Imagen
Multiparámetro HORIBA	Es una sonda que mide 11 distintos parámetros como pH, temperatura, Oxígeno disuelto, etc. El equipo es de configuración y uso relativamente sencillos.	
Medidor de flujo	Es una sonda de flujo que permite la medición de la velocidad del caudal en tuberías parcialmente llenas, además posee una regleta expansible para la determinación del calado.	

Parámetros en laboratorio

Como paso siguiente a medir parámetros in situ, está el análisis de los parámetros en laboratorio, basado en el plan de muestreo dispuesto y aprobado anteriormente para la recolección de una muestra compuesta, su preservación y transporte a las inmediaciones de los laboratorios dispuestos como el Centro de Investigación ambiental (CICAM) y el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA).

La mayoría de los análisis se realizaron en el LDIA a partir de métodos estandarizados (Ver anexos 8,9 y10); pero por falta de reactivos e instrumentación se enviaron los análisis de Aluminio, Aceites y grasas hacia el Laboratorio acreditado CICAM, según se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3. Parámetros de análisis en laboratorio

N°	Parámetro	Unidad	Laboratorio responsable
1	Aceites y grasas	mg/l	CICAM
2	Tensoactivos	mg/l	LDIA
3	DBO 5	mg/l	LDIA
4	DQO	mg/l	LDIA
5	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	LDIA
6	Coliformes Totales	NMP/100 mL	LDIA
7	Análisis de sólidos (ST (Sólidos Totales), SDT (Sólidos Disueltos Totales), SST (Sólidos Suspendidos Totales) (Sólidos Suspendidos Totales))	mg/l	LDIA
8	Sólidos sedimentables	mg/l	LDIA
9	Aluminio	mg/l	CICAM
10	Nitratos	mg/l	LDIA
11	Nitritos	mg/l	LDIA
12	Fosfatos	mg/l	LDIA

Volumen de la muestra compuesta y preservación

Para determinar el volumen de muestra compuesta se obtuvieron fracciones del agua residual por hora. Los volúmenes de muestra se obtuvieron a partir de la curva de consumo de agua (Ver figura 4) y el volumen necesario para análisis físicos, químicos y microbiológicos que están estandarizados en la norma INEN 2169:2013.

La curva de consumo de agua relaciona el consumo máximo diario durante un periodo de 24 horas.

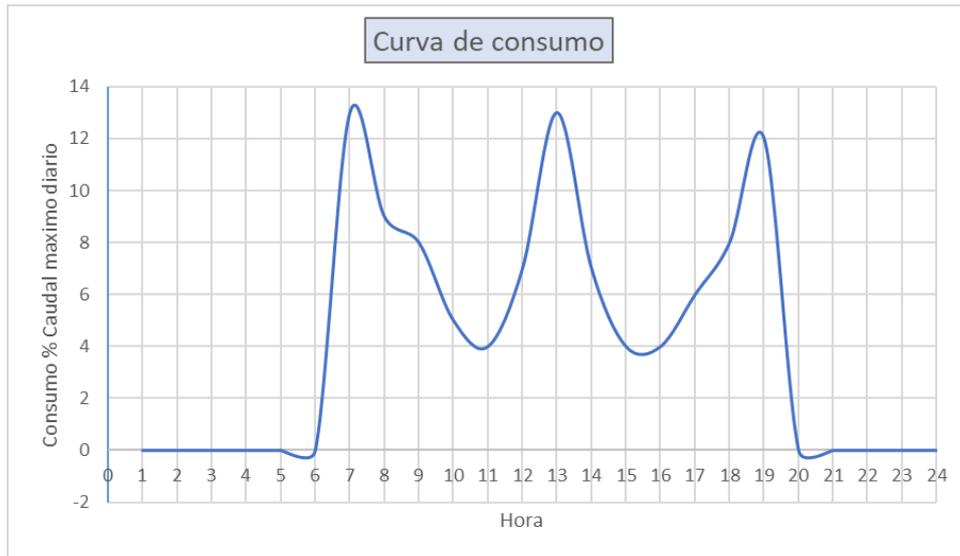


Figura 4. Curva de consumo de agua

Durante la toma de la muestra se realizó una técnica de homogenización o curado para obtener una muestra representativa.

Para la conservación de las muestras, luego de su toma se utilizó un instrumento capaz de enfriar y conservar la temperatura según lo establecido por la Normativa Ecuatoriana NTE INEN 2169, 2013 (Ver anexo 3)

2.4 Mejoras de diseño del tratamiento definitivo

A partir del cálculo de los caudales futuros, reales, teóricos y con la eficiencia de remoción del Tanque Imhoff, se dispuso el diseño de una fase de postratamiento como las Zanjas de infiltración para mejorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento y se reduzcan las concentraciones de los contaminantes en las descargas.

Zanja de Infiltración

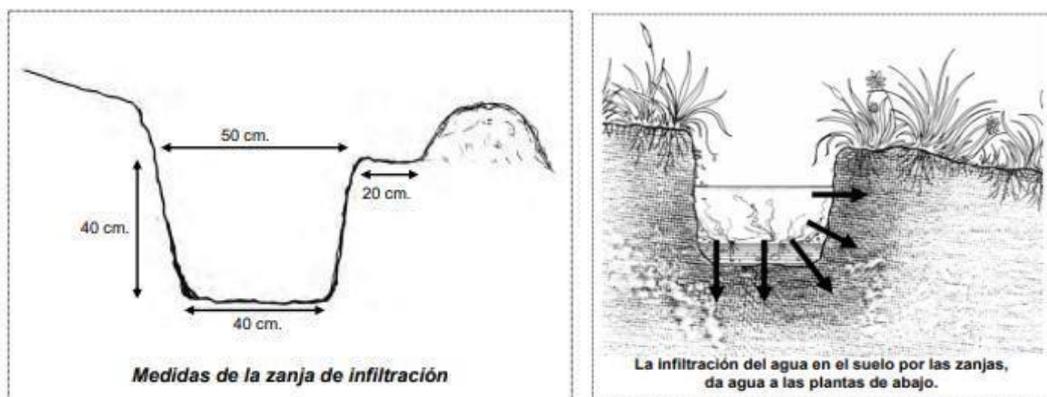


Figura 5. Zanja de infiltración

Las siguientes ecuaciones corresponden al dimensionamiento de una zanja de infiltración:

$$A_I = \frac{Q_{med}}{PE}$$

Ecuación 17. Área de infiltración.

Donde:

AI: Área de infiltración (m^2)

Q med: Caudal medio (l/d)

PE: Permeabilidad $\frac{L}{m^2*d}$

$$L_I = \frac{AI}{B}$$

Ecuación 18. Longitud de la zanja de infiltración

Donde:

LI: Longitud de la zanja de infiltración (m)

AI: Área de infiltración (m^2)

B: ancho del fondo de la zanja $\geq 0.6m$

Si $LI > 30m$ se adoptaran varios tramos

Manual de operación y mantenimiento del tanque Imhoff

El manual del sistema de tratamiento que corresponde al tanque Imhoff se realizó con el fin de dar un adecuado manejo y proporcionar más información técnica del funcionamiento. (Ver anexo 12)

3 RESULTADOS

3.1 Levantamiento de información y línea base de resultados.

El barrio Víctor Cartagena se encuentra en la ciudad de Cayambe, es uno de los barrios con mayor densidad poblacional de la ciudad, ya que cuenta con 6493 habitantes, en un área de 56.87 hectáreas.

Tabla 4. Características principales del sistema de alcantarillado

Característica	Valor	Unidad
Dotación de agua	200	L/hab*día
Caudal Sanitario	12,02	L/s
Diámetro tubería de descarga	700	mm
Longitud de tubería de descarga	43	m
Cota tubería de llegada del Tanque Imhoff	2760,68	m
Cota tubería de salida del Tanque Imhoff	2758,68	m

En la tabla se muestran datos relevantes del sistema de alcantarillado del Barrio Víctor Cartagena, los mismos que fueron proporcionados por la EMAPAAC. De acuerdo con la empresa se otorga una dotación de agua potable correspondiente a 200 L/hab*día; y la población retribuye un caudal sanitario de 12.02L/s. El sistema de tratamiento de aguas residuales se encuentra inhabilitado por lo que se ha creado una conexión emergente de 43 metros de tubería con diámetro de 700 mm para su descarga al Río Granobles.

El sistema de alcantarillado posee 140 pozos de revisión en 10 tramos de tubería de longitud 9.964,74 metros, el colector principal tiene una longitud de tubería de 933.30 m. (Ver Anexo 6)

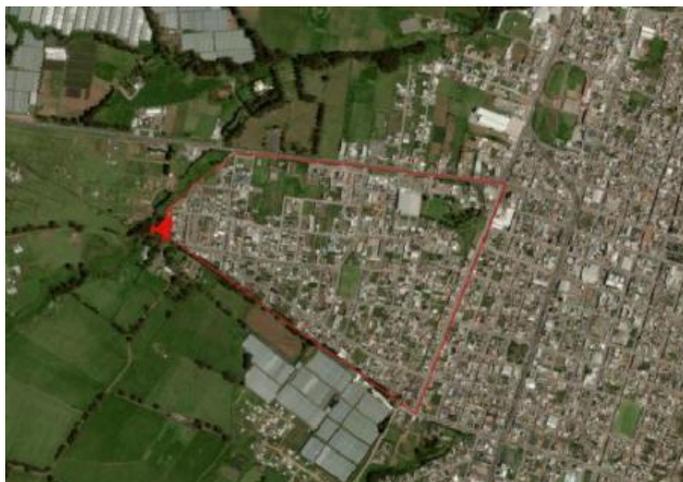


Figura 6. Mapa aéreo del área de cobertura del Tanque Imhoff

Tabla 5. Coordenadas de ubicación del Tanque Imhoff

Descripción punto	Elevación (msnm)	Zona	Este (m)	Norte (m)
Tanque Imhoff Víctor Cartagena	2863	17 N	816300,91	4622,26

El tanque Imhoff se encuentra ubicado a 2863 metros sobre el nivel del mar, en la zona sur 17.



Figura 7. Tanque Imhoff.

Durante las visitas técnicas se obtuvieron las dimensiones del tanque Imhoff cuadrangular de 8,5 metros de ancho y largo respectivamente, su altura en la cámara de sedimentación es de 2 metros y tiene una estructura de hormigón armado. Existen 2 tuberías para la extracción de lodos y 2 tuberías adicionales para la evacuación del biogás desprendido de la biodigestión anaerobia.

3.2 Resultados de la Evaluación de las características operacionales del sistema de Tratamiento

Resultados Caudales teóricos, aforados y futuros

Tabla 6. Resultados caudales teóricos

Datos	Resultados	Unidad
Población	6493	hab
Dotación	200	L/hab*día
Coeficiente de retorno	0,8	adimensional
Caudal teórico calculado	12,02	L/s

El resultado del caudal teórico es de 12,02 L/s y corresponde al mismo caudal sanitario que la EMMAPAC posee en su base de información. (Ver tabla 4)

Tabla 7. Resultados caudales aforados

Hora de aforo	No. Muestra	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	$Q=v*A$ (m ³)	Q aforado (l/s)
7:00 a.m.	1	0,4572	0,20	0,093	93,1
8:00 a.m.	2	0,18288	0,17	0,031	31,4
9:00 a.m.	3	0,12192	0,14	0,018	17,5
10:00 a.m.	4	0,1524	0,16	0,025	24,5
11:00 a.m.	5	0,06096	0,04	0,003	2,7
12:00 p.m.	6	0,54864	0,21	0,115	115,2
13:00 p.m.	7	0,21336	0,18	0,039	39,3
14:00 p.m.	8	0,1524	0,15	0,023	23,0
15:00 p.m.	9	0,06096	0,04	0,002	2,2
16:00 p.m.	10	0,12192	0,14	0,017	16,7

17:00 p.m.	11	0,27432	0,19	0,051	50,9
------------	----	---------	------	-------	------

El resultado del caudal aforado en promedio es de 40,1 L/s. Las mediciones realizadas con el medidor de flujo entregaron valores de velocidades de flujo y calados cada hora a partir de las 7 horas hasta las 18 horas del día. A partir de dichos valores se determinaron los caudales aforados con la ecuación a tubería parcialmente llena.

Tabla 8. Resultados caudales futuros

Datos	Resultados	Unidad
Población de saturación	7153	hab
Dotación	200	L/hab*día
Coefficiente de retorno	0,8	adimensional
Caudal futuro calculado	13,25	L/s

El resultado del caudal futuro es de 13,25 L/s. El caudal futuro se obtuvo con el cálculo inicial de la población de saturación, se consideró la misma dotación de 200 L/hab*día y el coeficiente de retorno de 0,8.

Para realizar la evaluación de las características operacionales del sistema de tratamiento se consideraron los resultados del cálculo de los caudales teóricos, aforados y futuros. Se determinó que el caudal aforado de 40,1 L/s supera en magnitud al caudal teórico de 12,02 L/s y al caudal futuro de 13,25 L/s. Durante las mediciones para determinar el caudal aforado se encontró que los caudales pico aforados no corresponden a caudales pico típicos de consumo doméstico, ya que exceden en gran medida los caudales teóricos.

Resultados del dimensionamiento del tanque Imhoff con diferentes caudales

Tabla 9. Resultados dimensionamiento de la cámara de sedimentación

CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN (TANQUE IMHOFF)						
TIPO DE CAUDAL	PARÁMETROS					
	Área superficial (m ²)	Ancho (m)	Longitud (m)	Volumen de sedimentador (m ³)	Profundidad de sedimentador (m)	Área del biogás (m ²)
CAUDAL TEÓRICO (12,02 L/s)	48,5	7,0	7,0	90,87	1,9	14,54
CAUDAL AFORADO (40,1 L/s)	161,68	12,72	12,72	303,16	1,88	48,50
CAUDAL FUTURO (13,25 L/s)	53,42	7,31	7,31	100,17	1,88	16,03

Los resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento con el caudal teórico de 12,02 L/s y una población de servicio de 6493 habitantes, generan un sistema cuadrangular de 7 metros de largo y ancho con una profundidad del sedimentador de 1,9 metros. Para el caudal aforado de 40,1L/s, su diseño contempla una población de servicio de 6493 habitantes, resultando en un diseño cuadrangular de 13 metros de largo y ancho con una profundidad construable del sedimentador de 1.8 metros. Para el dimensionamiento considerando el caudal futuro de 13.25 L/s con una población saturada de 7153 habitantes, se genera el diseño cuadrangular del Tanque Imhoff de 7,3 metros de largo y ancho con una profundidad del sedimentado de 1,88 m.

Tabla 10. Resultados dimensionamiento de la cámara de biogás

CÁMARA DE BIOGÁS (TANQUE IMHOFF)					
TIPO DE CAUDAL	PARÁMETROS				
	Área de cada Cámara de biogás (m ²)	Ancho de cada Cámara (m)	Ancho de cada cámara adoptado (m)	Área de cada Cámara de biogás adoptada (m ²)	Área de biogás (m ²)
CAUDAL TEÓRICO (12,02 L/s)	7,27	1,04	1,10	7,66	15,32
CAUDAL AFORADO (40,1 L/s)	24,25	1,91	2,00	25,43	50,86
CAUDAL FUTURO (13,25 L/s)	8,01	1,10	1,10	8,04	16,08

Los resultados del dimensionamiento de la cámara de biogás para el caudal teórico dan un área de cada cámara de biogás de 7,66 metros cuadrados, además que se genera un área total de biogás de 15,32 metros cuadrados. Los resultados del dimensionamiento de la cámara de biogás para el caudal aforado dan un área de cada cámara de biogás de 25,43 metros cuadrados, además que se genera un área total de biogás de 50,86 metros cuadrados. Los resultados del dimensionamiento de la cámara de biogás para el caudal futuro dan un área de cada cámara de biogás de 8,04 metros cuadrados, además que se genera un área total de biogás de 16,08 metros cuadrados.

Tabla 11. Resultados dimensionamiento de la cámara de almacenamiento y digestión de lodos

CÁMARA DE ALMACENAMIENTO Y DIGESTIÓN DE LODOS (TANQUE IMHOFF)		
TIPO DE CAUDAL	PARÁMETROS	
	Volumen de lodos(m ³)	Altura de lodos (m)
CAUDAL TEÓRICO	324,65	5,1
CAUDAL AFORADO	324,65	1,7
CAUDAL FUTURO	357,65	5,1

Los resultados del dimensionamiento para la cámara de almacenamiento y digestión de lodos utilizando el caudal teórico generan un almacenamiento en volumen de lodos de 324,65 metros cúbicos con una altura de lodos de 5,1 metros. Los resultados del dimensionamiento para la cámara de almacenamiento y digestión de lodos utilizando el caudal aforado generan un almacenamiento en volumen de lodos de 324,65 metros cúbicos con una altura de lodos de 1,7 metros. Los resultados del dimensionamiento para la cámara de almacenamiento y digestión de lodos utilizando el caudal futuro generan un almacenamiento en volumen de lodos de 357,65 metros cúbicos con una altura de lodos de 5,1 metros.

Las dimensiones actuales del sistema de tratamiento corresponden a un tanque cuadrangular de 8,5 metros de ancho y largo respectivamente, con una profundidad de sedimentador de 2 metros. El tanque Imhoff que se encuentra construido en el Barrio Víctor Cartagena está diseñado para el tratamiento de un caudal correspondiente a aguas residuales domesticas; los caudales: teórico de 12,02 L/s y caudal futuro de 13,25 L/s corresponden al diseño y permitirían la rehabilitación del tanque Imhoff, mientras que el caudal aforado de 40,1 L/s, supera las dimensiones de diseño y no permitiría su rehabilitación.

El plano del tanque Imhoff corresponde al diseño que evalúa el ingreso y tratamiento del caudal futuro. (Ver anexo 13)

3.3 Resultados de Muestreo y caracterización del agua residual

Tabla 12. Coordenadas del sitio de muestreo

Descripción punto	Elevación (msnm)	Zona	Este (m)	Norte (m)
Pozo de revisión	2795	17N	816308	4625

El sitio de muestreo se encuentra a 2795 metros sobre el nivel del mar, en la Zona Sur 17. Se estableció el sitio de muestreo de acuerdo con la consideración de la representatividad de la muestra, por lo que se escogió el pozo de revisión que conecta con la tubería emergente que recibe la totalidad de descargas de aguas residuales del barrio y descarga directamente al Río Granobles.



Figura 8. Sitio de muestreo

Tabla 13. Resultados de medición in situ

Hora	No. Muestra	pH	Temperatura
7:00 a.m.	1	7,56	16,53
8:00 a.m.	2	6,61	16,62
9:00 a.m.	3	5,97	17,04
10:00 a.m.	4	6,31	17,10
11:00 a.m.	5	6,61	17,05
12:00 p.m.	6	6,17	17,04
13:00 p.m.	7	6,20	17,08

14:00 p.m.	8	5,97	17,10
15:00 p.m.	9	6,31	15,85
16:00 p.m.	10	5,85	16,69

Los resultados de la medición in situ se obtuvieron con el equipo multiparámetro (Ver Tabla 13). El pH promedio es de 6,31, que está dentro del rango establecido de pH 6-9 por la normativa del TULSMA (Ver Anexo 4 y 5) y se considera neutro, permitiendo una adecuada actividad microbiana.

La temperatura promedio es de 16,74°C. De acuerdo con la normativa del TULSMA la temperatura se encuentran en los rangos establecidos para descargas a Cuerpos de agua Dulce que establece ± 3 grados la condición natural y al Sistema de Alcantarillado Público que establece menor a 40°C.



Figura 9. Medición in situ

Tabla 14. Resultados de Medición de parámetros físicos

Componente	Concentración	Unidad
Sólidos totales	676	mg/L
Sólidos suspendidos	480	mg/L
Sólidos disueltos	470	mg/L
Sólidos sedimentables	0.0	ml/L*hora

El resultado de los sólidos totales es de 676 mg/L. De acuerdo con Metcalf & Eddy (1996) 700 mg/L de sólidos totales representan una concentración media de sólidos

totales en Agua residual doméstica. Además, conforme la normativa del TULSMA (2015) el límite máximo permisible es de 1600 mg/L en descargas hacia cuerpos de agua dulce y el sistema de alcantarillado público. Un valor apropiado en la concentración de los sólidos totales de las aguas residuales facilita el proceso microbiano en su alimentación a partir de la materia orgánica e inorgánica presente, que permitirá la depuración del cuerpo de agua.



Figura 10. Medición de crisol sólidos totales

El resultado de los sólidos suspendidos es de 480 mg/L y no cumple como parámetro de descarga en la bibliografía referenciada y la normativa del TULSMA (Ver Anexo 4 y 5 y 11). Los sólidos suspendidos totales en altos niveles de concentración provocan su disposición en lechos de los ríos, depósito de lodos y el agotamiento del oxígeno disuelto.



Figura 11. Medición de crisol sólidos suspendidos

El resultado de los sólidos disueltos es de 470 mg/L. La concentración de sólidos disueltos corresponde al rango medio en Agua residual doméstica según Metcalf & Eddy (1996), de 500 mg/L. Los sólidos disueltos en el agua residual se relacionan con la contaminación por sales inorgánicas.



Figura 12. Medición de crisol sólidos disueltos

Los sólidos sedimentables tienen una concentración nula de 0 mililitros por litro durante una hora en que se realizó el análisis.



Figura 13. Medición de sólidos sedimentables.

Tabla 15. Resultados de medición de parámetros químicos

Componente	Concentración	Unidad
DBO5	376,1	mg/L
DQO	1022	mg/L
Nitratos (dilución)	5,1	mg/L
Nitritos (dilución)	0,097	mg/L
Fosfatos	1,85	mg/L
Tensoactivos	1,127	mg/L
Aceites y grasas	119	mg/L
Aluminio	Menos de 0,05	mg/L

El resultado de la *DBO5* es de 376,1 mg/L y sobrepasa los límites máximos permisibles según Metcalf & Eddy (1996) que es de 200 mg/L. La normativa del TULSMA (2015)

recomienda un valor de 50mg/L para descargas a Cuerpos de agua dulce y 250mg/L para descargas al sistema de alcantarillado público. La *DB05* permite evaluar la calidad del agua residual y considera el suministro de oxígeno en la oxidación de la materia orgánica de forma aerobia.



Figura 14. Medición de la *DB05*

El resultado de la DQO es de 1022 mg/L y sobrepasa los límites máximos permisibles según Metcalf & Eddy (1996) que es de 500 mg/L y la normativa del TULSMA (2015) que recomienda un valor de 100 mg/L para descargas a Cuerpos de agua dulce y 500 mg/L para descargas al sistema de alcantarillado público. La DQO realiza una oxidación química y permite conocer la cantidad de compuestos orgánicos presentes en el agua residual.



Figura 15. Medición de la DQO

El resultado de Nitratos es 5,1 mg/L y de Nitritos es de 0,097 mg/L. Según Metcalf & Eddy (1996) la concentración recomendada de nitritos y nitratos es de 0 mg/L. Los nitratos generalmente tienen un origen antropogénico debido a la contaminación puntual de industrias y Nitritos en valores superiores a 1mg/L son tóxicos.



Figura 16. Medición de la Nitritos y nitratos.

El resultado de fosfatos es de 1,85 mg/L. Se cumple el nivel permisible de fosfatos según Metcalf & Eddy (1996) se considera como concentración débil en Agua residual doméstica de fosfatos los 6 mg/L, la normativa del TULSMA (2015) recomienda un valor de 10 mg/L para descargas a Cuerpos de agua dulce y 15 mg/L para descargas al sistema de alcantarillado público. La presencia de fosfatos en grandes concentraciones en el agua residual lleva a un proceso de eutrofización y la presencia de algas por la excedencia de nutrientes que promueven su crecimiento descontrolado.



Figura 17. Medición de Fosfatos.

El valor de tensoactivos en el agua residual fue de 1.127 mg/L y cumple con la normativa TULSMA (2015) de descarga al sistema de alcantarillado publico pues recomienda un límite de 2 mg/L, mientras que para descarga a cuerpos de agua dulce se recomienda un valor de 0.5 mg/L, por lo cual no se cumple con el límite máximo permisible. Los detergentes o tensoactivos en las aguas residuales reducen la tensión superficial, disminuyen la cantidad de oxígeno y por lo tanto interfieren negativamente en la actividad biológica.



Figura 18. Medición de Tensoactivos.

Los resultados de los análisis de Aluminio y Aceites y Grasas fueron ejecutados por el Laboratorio acreditado CICAM y en el caso de aluminio el valor fue menor a 0.05 mg/L cumpliendo con la normativa del TULSMA (2015) y la bibliografía referenciada. El aluminio en bajas concentraciones es considerado un componente natural de los cuerpos hídricos que no es tóxico. (Ver anexo 7)

Por otro lado, los Aceites y grasas superan los límites máximos permisibles de la normativa TULSMA (2015) con un valor de 119 mg/L. Mientras que, para concentraciones medias de características típicas de aguas residuales domésticas, según Metcalf & Eddy (1996) los valores se encuentran en 100 mg/L. La excedencia de aceites y grasas obstruye el paso de la luz e inhibe los procesos biológicos, además de una reducción del oxígeno disuelto y la posible obstrucción de tuberías debido a su acumulación.

Tabla 16. Resultados de parámetros de análisis microbiológicos

Componente	Concentración	Unidad
Coliformes totales	$2,1 \cdot 10^4$	NMP/100mL
Coliformes fecales	$1,5 \cdot 10^4$	NMP/100mL

El resultado de los coliformes totales es de $2,1 \cdot 10^4$ número más probable por cada 100 mililitros. El resultado de los coliformes fecales es de $1,5 \cdot 10^4$ número más probable por cada 100 mililitros. Los coliformes totales y fecales son un grupo bacteriano, su presencia es indicativo de contaminación fecal que demuestran la

presencia de otras bacterias, afectando a la salud pública debido a las enfermedades que supone su consumo.



Figura 19. Medición de parámetros microbiológicos.

3.4 Mejoras de diseño del tratamiento definitivo

Tabla 17. Remoción de contaminantes del Tanque Imhoff

Parámetro	Unidad	Eficiencia de remoción (%)	Concentración inicial	Concentración final
<i>DBO₅</i>	(mg/L)	50	376,1	188,05
Sólidos suspendidos	(mg/L)	70	480	144
Coliformes fecales	(NMP/100mL)	60	1,5*10 ⁴	0,6 *10 ⁴

De acuerdo con los porcentajes de eficiencia de remoción de los contaminantes del Tanque Imhoff para *DBO₅* se reduce la concentración de 376,1 mg/L a 188,05 mg/L podría considerarse adecuada de acuerdo con la tabla de descargas al sistema de alcantarillado (Ver anexo 4) y corresponde a una concentración media en aguas residuales domésticas (Ver anexo 11).

La concentración de sólidos suspendidos se reduce de 480 mg/L a 144 mg/L podría considerarse adecuada de acuerdo con la tabla de descargas al sistema de alcantarillado (Ver anexo 4) y corresponde a una concentración media en aguas residuales domésticas (Ver anexo 11).

La concentración de coliformes fecales se reduce de $1,5 \cdot 10^5$ a $0,6 \cdot 10^5$ podría considerarse no adecuada. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (1997) el límite máximo permisible que recomienda de 1,000 a 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml.

Resultados del diseño de la Zanja de Infiltración

Tabla 18. Resultados diseño zanja de infiltración

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDADES
Área de infiltración	38160	m ²
Longitud de la zanja de infiltración	5	m
Ancho del fondo de la zanja	7632	m
Número de tramos	254	tramos

Para diseñar la zanja de infiltración se utilizó el caudal medio futuro de 13,25 L/s, además este sistema de postratamiento tendrá 254 tramos y el área total de infiltración corresponde a 38160 metros cuadrados. El plano de la zanja de infiltración está diseñado para proyectar un tramo del sistema. (Ver anexo 14)

Tabla 19. Remoción de contaminantes de la zanja de Infiltración

Parámetro	Unidad	Eficiencia de remoción (%)	Concentración inicial	Concentración final
Coliformes fecales	(NMP/100mL)	90	$0,6 \cdot 10^4$	600

La concentración final resultado del tratamiento de la zanja de infiltración es de 600 NMP por cada 100 mL de coliformes fecales o termorresistentes; es así se alcanzaría el nivel adecuado de tratamiento para las descargas de las aguas residuales ya que el límite máximo permisible corresponde al rango de 1000 a 2000 NMP de coliformes fecales por cada 100 mL

4 CONCLUSIONES

- La rehabilitación del tanque Imhoff es una alternativa viable en caso de que los caudales correspondan a los valores típicos de aguas residuales domésticas ya que los resultados del dimensionamiento de este sistema de tratamiento arrojan un Tanque cuadrangular construible de 7,3 metros de largo y ancho respectivamente y son cercanos a los valores medidos del Tanque Imhoff de 8,5 metros de largo y ancho que se encuentra deshabilitado en el Barrio Víctor Cartagena.
- La caracterización del agua residual a través del muestreo compuesto reveló que el agua residual presenta un adecuado índice de biodegradabilidad del 37%, la concentración de DQO es elevada debido a la materia orgánica presente, los Nitratos se encuentran presentes en altas concentraciones y pueden causar procesos de eutrofización. Además, los aceites y grasas superan las concentraciones de las características típicas del Agua residual doméstica con un valor de 119 mg/L, posiblemente debido a que una industria lechera descarga directamente sus aguas al sistema de alcantarillado sin tratamiento previo.
- De acuerdo con la consideración de que el sistema de alcantarillado funciona para las descargas de las Aguas residuales del barrio Víctor Cartagena, los caudales teóricos calculados (12,02 l/s) y caudales futuros calculados (13,25 l/s) no justifican el incremento en casi cuatro veces el caudal que se aforo durante el muestreo in situ a partir del medidor de flujo (40,1 l/s), por lo que se infiere que existen descargas ilícitas de las posibles fuentes cercanas al sistema de alcantarillado como Industrias por lo cual el tanque Imhoff no abastecería el tratamiento de este caudal adicional no contabilizado.
- El Tanque Imhoff permite la remoción efectiva de parámetros como la *DBO5* y Sólidos suspendidos para la descarga al sistema de alcantarillado; no obstante, los coliformes termorresistentes no alcanzan los niveles permisibles en sus concentraciones únicamente con este tratamiento, por lo cual se estableció el diseño de una zanja de infiltración como postratamiento, lo que permitirá una adecuada eliminación del 90% de estas bacterias, permitiendo alcanzar una concentración que se encuentra en el rango establecido para la descarga de aguas residuales.

5 RECOMENDACIONES

- Es importante que las industrias cuyas actividades productivas se efectúen en el Barrio Víctor Cartagena tengan sus propias plantas de tratamiento de sus aguas residuales ya que la descarga directa de sus vertidos afecta directamente al cuerpo hídrico que las recepta y las concentraciones de contaminantes como DQO y Aceites y grasas exceden el alcance de las eficiencias de remoción de los sistemas de tratamiento como el Tanque Imhoff y la zanja de Infiltración.
- Es fundamental implementar otros sistemas de tratamiento de los parámetros que están por encima de los niveles máximos permisibles como DQO, Nitratos, Aceites y grasas y no son eliminados en el Tanque Imhoff o la zanja de infiltración.
- Realizar un plan de monitoreo frecuente de las aguas residuales ya que permitirá evaluar el porcentaje de contaminación y detectar cualquier concentración de contaminantes externos que no pertenezcan a las Aguas residuales domésticas del Barrio Víctor Cartagena.
- Efectuar talleres de concientización para el uso adecuado del sistema de alcantarillado por parte de la comunidad y las consecuencias que generan las descargas ilícitas en el tratamiento de las aguas residuales que benefician a la salud pública y el medio ambiente.
- Realizar inspecciones, monitoreos y verificar que las industrias cumplan con los parámetros de las normativas para las descargas de sus aguas residuales hacia cuerpos de agua dulce y sistema de alcantarillado público.
- Se recomienda que la información del presente documento sea utilizada para la toma de decisiones de las autoridades en las mejoras a corto y largo plazo o la implementación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales. En el caso de implementar nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales se recomienda que sean para poblaciones mayores a los 5000 habitantes ya que el Tanque Imhoff ofrece mayores beneficios en el tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones.
- Instruir al personal técnico para la operación y mantenimiento del Tanque Imhoff ya que reducirá los riesgos de obsolescencia de los sistemas de tratamiento y permitirá que funcione adecuadamente durante su periodo de diseño.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Babbitt, H. E., & Baumann, E. R. (1961). Alcantarillado y tratamiento de aguas negras.
- Brière, F. G., & Pizarro, H. (2005). Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia. Presses inter Polytechnique.
- Camarán, M. L., Barón, L., & Rueda, M. P. (2019). La Responsabilidad social empresarial y los objetivos del desarrollo sostenible (ODS). *Revista Científica Teorías, Enfoques y Aplicaciones en las Ciencias Sociales*, 11(24), 41-52.
- CANTO, J. T., PEZO, D. L., HUARANGA, M. C., & GARCIA, A. R. (2018). Eficiencia de las zanjas de infiltración tipo Niimi y normal en el tratamiento de aguas residuales domesticas en Villa los Sauces, Lima (Perú). *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(2).
- Carmona, R. P. (2013). Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras. Ecoe Ediciones.
- CEPIS, C. (2005). Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización.
- de la Federación, (1997). NORMA OFICIAL MEXICANA, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. DE-486 NTE INEN 2169-2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.
- FAO y ONU (2022). Progreso del cambio en la eficiencia del uso del agua. Roma
- García, Z. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Hernández, D. (2018). Generalidades y conceptos sistemas de tratamiento de efluentes.
- Mera Rodas, Y. R., & Diaz Muñoz, L. Á. (2018). Caracterización fisicoquímica y microbiológica (coliformes totales y fecales) de las aguas residuales generadas en el campus de la Universidad Nacional Autónoma de Chota.
- Metcalf, & Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización., 1º EDICION. MADRID: MACGRAW-HILL.

- Moreno Jabo, S. N. (2018). Tratamiento de aguas residuales en el tanque IMHOFF para disminuir la contaminación en la quebrada Sicacate del distrito de Montero.
- Muñoz, M., & Aldás, M. (2017). Sistemas de depuración de aguas residuales. EPN, Quito, Ecuador.
- Ordóñez Martínez, F. (2004). Ecuador: análisis del sector agua potable y saneamiento (Serie informes sectoriales. Infraestructura, 2(9)). Caracas: CAF.
- QUITO, E. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009.
- Ramalho, R. S. (2021). Tratamiento de aguas residuales. Reverté.
- Tulsma, L. (2015). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Libro VI Anexo1