



Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil

Proyecto de tesis

Diseño de planta estándar de bajo volumen para tratamiento de las aguas servidas de Quito

Autor: Carlos Christian Hernández Salinas

Tutor: Ing. Luis Alberto Soria Núñez, Mag.

Quito, septiembre 2022.



DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, CARLOS CHRISTIAN HERNANDEZ SALINAS, con cédula de ciudadanía número 1712923992, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

CARLOS CHRISTIAN HERNANDEZ SALINAS

C.C. 1712923992

DECLARATORIA

El presente Trabajo de Titulación titulado:

**“Diseño de planta estándar de bajo volumen para tratamiento de las
aguas servidas de Quito”**

Realizado por:

CARLOS CHRISTIAN HERNANDEZ SALINAS

Como requisito para la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Ha sido dirigido por el profesor

ING. LUIS ALBERTO SORIA NÚÑEZ, MAG.

Quienes consideran que constituye un trabajo original de su autor.

ING. LUIS ALBERTO SORIA NÚÑEZ, MAG.

TUTOR

DECLARATORIA DE PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

Néstor Llorca Vega
Hugo Marcelo Otañez Gómez

Después de revisar el trabajo presentado,
Lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

Néstor Llorca Vega

Hugo Marcelo Otañez Gómez

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios y mis padres, quienes me han proporcionado la vida y brindado la oportunidad de obtener los valores y principios morales para poder ser un hombre de bien y una buena persona, quienes han sido mi fuente de inspiración y el mejor ejemplo a seguir en la vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Internacional SEK, por haberme acogido en sus aulas y contribuido a mi formación profesional, con la dedicación de sus docentes, especialmente al tutor de este trabajo de tesis, Ing. Luis Alberto Soria Núñez, quien me ha guiado con sus conocimientos y paciencia para llegar a culminar mi titulación; a mis padres: Alfonso Hernández y Domitila Salinas, quienes con gran esfuerzo y dedicación me han acompañado y apoyado en la consecución de todos mis logros personales y profesionales; a todos quienes han contribuido para llegar a la obtención de mi título de Ingeniero Civil, ya que han aportado con sus conocimientos y apoyo incondicional y principalmente a Dios, quien me ha brindado la vida y la inspiración para ser una mejor persona a través de los caminos y designios que siempre han sido los mejores aliados en el diario vivir y compartir con todos los seres queridos y compañeros de estudio y de trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño de una planta de tratamiento estándar de aguas residuales, para ser utilizada en núcleos poblacionales de 500 a 1000 habitantes. Para la concepción del trabajo se realizó la evaluación de las planta de tratamiento Ingapi, Bellavista y Anope, que prestan servicio depuración de aguas servidas en la zona noroccidental de distrito metropolitano de Quito; ejecutando un levantamiento de las diversas características que presentan como la superficie que ocupa, población a la que da servicio, unidades de tratamiento con la que cuentan; posteriormente se realizó la toma de las muestras, determinándose en los análisis realizados en el laboratorio que algunos parámetros físicos-químicos como el límite máximo de DQO, DBO5 y sólidos totales no cumplen con los valores mínimos permisibles para descargas en cuerpos de agua dulce según lo establecido en la norma Ecuatoriana. Partiendo de los resultados anteriores se definió que elementos se diseñarían para la PTAR estándar, realizando un dimensionamiento teórico de las diversas unidades, quedando constituida por un proceso de pretratamiento, tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

PALABRAS CLAVE

Planta de tratamiento, Aguas residuales, parámetros de diseño.

ABSTRACT

The present work consists of the design of a standard wastewater treatment plant, to be used in population centers of 500 to 1000 inhabitants. For the conception of the work, the evaluation of the Ingapi, Bellavista and Anope wastewater treatment was carried out, which provide sewage treatment services in the northwestern area of the Quito metropolitan district; executing a survey of the various characteristics that they present such as the surface it occupies, the population it serves, treatment units they have; Subsequently, the samples were taken, determining in the analyzes carried out in the laboratory that some physical-chemical parameters such as the maximum limit of DQO, DBO5 and total solids do not meet the minimum permissible values for discharges into freshwater bodies according to the established in the Ecuadorian standard. Based on the previous results, it was defined which elements would be designed for the standard WWTP, carrying out a theoretical dimensioning of the various units, being constituted by a pretreatment process, primary, secondary and tertiary treatments.

KEY WORDS

Treatment plant, Wastewater, design parameters.

Índice

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Importancia de la investigación.....	6
1.2.1 Planteamiento del problema	8
1.2.2 Hipótesis.....	9
1.2.3 Variable independiente.....	9
1.2.4 Variable dependiente.....	9
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 Alcance	10
1.5 Limitaciones.....	10
CAPÍTULO 2	12
MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Marco conceptual.....	12

2.1.1 Aguas residuales	12
2.1.2 Fuentes receptoras de agua residuales.....	13
2.1.3 Calidad del agua.....	13
2.1.4 Tipologías del agua	14
2.1.5 Parámetros fisicoquímicos.....	16
2.1.6 Ensayos para la pureza del agua	18
2.1.7 Compuestos químicos y orgánicos.....	20
2.1.8 Planta de tratamiento de agua residuales (ptar)	22
2.2 Marco legal.....	31
2.2.1 Constitución política de la república del ecuador.	31
2.2.2 Ley de gestión ambiental.....	32
2.2.3 ley orgánica de la salud.	33
2.2.4 Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamientos del agua.	34
2.2.5 Ley de prevención y control de la contaminación.	34
2.2.6 Ordenanza municipal 404 dmq, norma de descargas líquidas.....	35
2.2.7 Acuerdo ministerial no. 097	36
2.3 Marco metodológico	38
2.3.1 Metodología de trabajo.....	38
2.3.2 Guía de evaluación para las ptar	42
2.3.3 Evaluación de las unidades de proceso	43
2.3.4 Parámetros de diseño para las unidades de tratamiento	45

CAPÍTULO 3	52
ANÁLISIS DE LAS PTAR.....	52
3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales Ingapi	52
3.2 Planta de tratamiento de aguas residuales Bellavista.....	57
3.3 Planta de tratamiento de aguas residuales Anope.....	60
3.4 Análisis del porcentaje de remoción y la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales	63
3.5 Diseño estándar de una planta de tratamiento de aguas residuales	67
CAPÍTULO 4	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
4.1 Conclusiones.....	74
4.2 Recomendaciones	75
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS.....	A

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Criterios de calidad del agua</i>	14
Figura 2 <i>Etapas de los tratamientos</i>	23
Figura 3 <i>Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente</i>	27
Figura 4 <i>Tanque Imhoff</i>	28
Figura 5 <i>Flujograma de la PTAR Ingapi</i>	54
Figura 6 <i>Flujograma de la PTAR Bellavista</i>	59
Figura 7 <i>Flujograma de la PTAR Anope</i>	61
Figura 8 <i>Porciento de remoción de DBO y Solidos totales</i>	65
Figura 9 <i>Parámetros de análisis del agua procedente de la PTAR</i>	66
Figura 10 <i>Parámetros de análisis del agua procedente de la PTAR (continuación)</i> ..	66
Figura 11 <i>Flujograma de la PTAR</i>	67
Figura 12 <i>Rejilla</i>	72
Figura 13 <i>Desarenador</i>	72
Figura 14 <i>Sedimentador</i>	72
Figura 15 <i>Humedal Artificial</i>	73
Figura 16 <i>Cloración</i>	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites permisibles para metales pesados en fangos residuales	29
Tabla 2 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	37
Tabla 3 Planta INGAPI	52
Tabla 4 <i>Proyección de la población del barrio Ingapi</i>	55
Tabla 5 <i>Parámetros considerados en el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para el barrio Ingapi.</i>	56
Tabla 6 Concentraciones medias de DBO, SST y Coliformes del agua residual.....	57
Tabla 7 <i>Características físicas, químicas y bacteriológicas del agua</i>	57
Tabla 8 <i>Proyección de la población con la tasa Ríos Orientales</i>	59
Tabla 9 <i>Áreas y densidades actuales y futuras (años 2011-2041)</i>	59
Tabla 10 <i>Caracterización del agua de Bellavista</i>	60
Tabla 11 Proyección de la Población del Barrio Río Anope	62
Tabla 12 <i>Características físicas, químicas y bacteriológicas del agua de la Quebrada prevista para descarga de alcantarillado del barrio Río Anope.</i>	63
Tabla 13 <i>Concentraciones medias de DBO, SST y Coliformes del agua residual en la zona del estudio</i>	63
Tabla 14 <i>Promedio de Remoción</i>	64
Tabla 15 <i>Eficiencia del proceso de remoción</i>	64
Tabla 16 Datos Preliminares.....	68
Tabla 17 Pretratamiento	68
Tabla 18 Pretratamiento desarenador	69
Tabla 19 Tratamiento Primario	70
Tabla 20 Tratamiento secundario	70
Tabla 21 Tratamiento Terciario.....	71

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas al cual se hace frente hoy en día, es como suministrar a la localidad un correcto servicio de saneamiento, agua potable y alcantarillado. Las principales causas de este problema son el crecimiento acelerado de la población, el calentamiento global, el desarrollo industrial, y las dificultades técnicas para la implementación de medios que contribuyan a la desinfección.

Según el Ministerio de Ambiente (2009), de la superficie del planeta, Ecuador representa el 0.2%, aunque en su topografía se presenta una amplia diversidad, donde existen una gran variedad de climas, que se componen de diferentes sistemas naturales y ecosistemas. Esta complejidad es consecuente con la ubicación geográfica donde se entrelaza la línea ecuatorial, la cordillera andina y la cuenca amazónica. La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) como entidad rectora de los Recursos Hídricos en el país, definió la existencia de 31 sistemas hidrográficos, 79 cuencas, 137 subcuencas y 890 microcuencas (SENAGUA, 2009). El principal problema que existe en el país en cuanto a la utilización del agua, sin tener en cuenta su desigual distribución en las diferentes regiones; radica en la pérdida de la cuantía y calidad, producto a la explotación desmedida de las fuentes de abastecimiento, la contaminación ambiental y principalmente al incorrecto tratamiento después de ser utilizadas.

1.1 ANTECEDENTES

El Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q) presenta una población aproximada de 2'735.990 habitantes, según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Censos y Estadísticas en el año de 2010 (INEC, 2010), lo que genera una gran demanda de cobertura de servicios básicos, siendo un componente de éste, el manejo de los residuos líquidos en la ciudad. En conjunto con el crecimiento de las áreas pobladas se han diseñado diversos conductos de alcantarillado que permiten brindar a la población un mejor sistema de saneamiento. Inicialmente estos se descargaban directamente a los cuerpos de aguas; lo que generaba grandes problemas de salubridad y contaminación a los afluentes. Gracias al desarrollo de la ingeniería sanitaria se han propuesto y perfeccionado la captación de aguas albañales, interceptores sanitarios y métodos de tratamiento de estas aguas negras para entregar aguas que generen menor contaminación a los cuerpos hídricos donde son descargadas y garantizar de una mejor manera el saneamiento de las aguas servidas producidas en las urbanizaciones.

Una de las alternativas en el saneamiento de las aguas servidas en la ciudad es mediante la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs), dentro de ellas podemos mencionar la planta de tratamiento Quitumbe, la cual recoge las aguas del sur de Quito, las trata y se entrega al río Machángara. En las parroquias rurales del D.M.Q. para el tratamiento de las cargas y volúmenes de aguas negras que se generan en las diferentes actividades y usos, que se recolectan en los sistemas de alcantarillado tanto en la ciudad como las zonas rurales, ha sido necesario la implementación de plantas de tratamiento de bajo volumen. En el diseño de estas bases para manejo de aguas negras de bajo volumen, se han implementado sistemas con tanques Imhoff, otras con plantas de

tratamiento básico, constituidas por un procedimiento primario y secundario; de acuerdo a la necesidad de un determinado número de habitantes y de los recursos económicos con los que se contaba para la ejecución de dichas obras de saneamiento.

El análisis de los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes y cuál es su actual desempeño o funcionamiento nos permiten determinar una solución eficiente a la población, basándonos en este análisis es factible proponer la estandarización de un tipo de PTAR de bajo volumen para pequeñas poblaciones que se encuentren ubicadas en zonas urbanas o rurales, de manera que nos permita la optimización de los recursos, generando una adecuada forma de tratar a las aguas servidas.

En la Universidad Técnica de Ambato, se realizó la evaluación de una planta de tratamiento de aguas con el objetivo de determinar si el producto que se descarga al río cumple con la norma TULSMA 2015 por lo que se inició con el levantamiento de la información de todo el sector en donde está ubicada actualmente la PTAR; se procedió a realizar la recolección de datos de los caudales del afluente y efluente, se realizó el muestreo del agua residual en los puntos de ingreso y salida a la PTAR para el análisis de las características fisicoquímicas que fueron procesadas en un laboratorio. Posteriormente se realizó la comparación con los parámetros de descarga de aguas que establece el TULSMA 2015 donde se pudo verificar que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) no cumplen con lo establecido en la normativa vigente, por lo que se optó en buscar una propuesta que permitan mejorar los parámetros mencionados. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis según el grado de remoción real para realizar un recalcu de sus propiedades geométricas con el

fin de dar un diagnóstico definitivo del estado actual de la PTAR y se comprobó que permiten mejorar el DBO y DQO del agua tratada antes de su descarga final, misma que incluye: cribado, desarenador, tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), lecho de secado de lodos y una planta de desinfección. Adicionalmente se implementó un plan de operación y mantenimiento que cumpla eficientemente el propósito para el cual fue diseñada dicha PTAR (Chiluiza, 2022).

En el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Central del Ecuador, Caiza y Ortiz (2022) realizaron el diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Domésticas de carácter anaerobio, para ser usada con fines académicos, comerciales e investigativos, su construcción consentirá brindar un servicio comercial a personas externas a la universidad, permitiéndoles solicitar al Laboratorio parámetros operacionales y de diseño, características de depuración, tiempos de arranque y estabilización; estos parámetros servirán como un aporte significativo al momento de realizar los diseños. Para ello se implementó el proyecto de la Planta de Tratamiento Piloto considerando varias alternativas de reactores anaerobios las cuales fueron evaluadas mediante la matriz FODA de donde se optó como alternativas más factibles el reactor capa de lodo anaerobio de flujo ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (UASB) y el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), una vez analizados los parámetros de análisis se determinó que el reactor UASB es la alternativa que más se ajusta a la realidad del proyecto permitiéndonos cumplir con todos los objetivos planteados en este estudio.

En la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile, Henríquez (2020) presenta un modelo matemático que permite diseñar y evaluar técnico-económicamente una planta de tratamiento de aguas servidas cuya etapa

de tratamiento secundario se basa en la tecnología de celdas de combustible microbiológicas. Para establecer el diseño de este proceso, se toma un caso base de 700 L s⁻¹ y se considera el DS90 para fijar la calidad del efluente de salida. Las celdas de combustible microbiológicas se modelan en base a la cinética electroquímica y los fenómenos de transporte asociados al sistema en particular, mientras que las demás operaciones unitarias del proceso se basan en modelos reportados en bibliografía. Con respecto al tratamiento convencional de lodos activados, el proceso propuesto disminuye la producción de lodos en un 10%, el requerimiento de electricidad en un 70%, y las dimensiones de los equipos después de la etapa asociada a las celdas en hasta un 50%, aproximadamente. Se concluye que no es rentable usar este tipo de tecnologías en el proceso de tratamiento de aguas servidas.

En el contexto de la pandemia, Suárez y Chaves (2022) desarrollaron una investigación para conocer si los niveles de concentración del virus SARS-CoV-2 presentes en las aguas servidas, son lo suficientemente altos para propagar el virus y si el papel de las plantas de tratamiento es eficaz para eliminar esta carga viral o si es necesario implementar procesos adicionales. La investigación se basó en estudios llevados a cabo al respecto en China, Australia, Países Bajos, Estados Unidos, Francia y la India. Los resultados demostraron en primer lugar que, cuando se utiliza cloro para desinfectar una fosa séptica, siempre y cuando se utilice una dosis por encima de los 6.5 mg/L y el tiempo de contacto no sea menor a 1.5 h la desinfección está garantizada.

Por otro lado, a nivel hospitalario el virus contenido en las aguas servidas obliga a que estas sean desinfectadas adecuadamente, de preferencia con hipoclorito al 5% en una dilución de 1:100, para que este virus no llegue a propagarse en otros

cuerpos de agua o genere aerosoles. Concluyendo finalmente que, la carga viral en las heces de las personas contagiadas con El COVID-19 es muy variable, por lo que, no se conoce a ciencia cierta si este virus puede ser eliminado completamente en el tratamiento primario de las aguas servidas, por lo tanto, también se puede recurrir a la utilización de lodos activos para la absorción del virus en la biomasa orgánica o la utilización de mecanismos con luces ultravioletas (Suárez y Chaves, 2022)

1.2 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Una parte fundamental en el saneamiento de una ciudad es el tratamiento de las aguas servidas, y una de las alternativas de solución a este problema son las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que son estructuras sanitarias que se utilizan para dar un tratamiento a las aguas recolectadas por los sistemas de alcantarillado provenientes de zonas pobladas, como: urbanizaciones, barrios o sectores de los cuales se receptan las aguas negras. El tratamiento de las aguas residuales en las PTAR, previo a las descargas directas, lo que generaría menor contaminación y evitar en lo posible la construcción de interceptores sanitarios que conduzcan a PTARs de mayor volumen y mayores inversiones a los municipios de una determinada ciudad.

La finalidad que se persigue con la ejecución del trabajo de investigación es la presentación de un diseño estándar de planta de tratamiento de aguas servidas de bajo volumen que ayude al tratamiento de las aguas generadas en las parroquias rurales de Quito. Con tales antecedentes, con respecto al diseño de plantas de tratamiento y al proceso de depuración de aguas residuales, esto es lo que se conoce:

El tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo bajo diferentes procesos, entre ellos puede mencionarse a las denominadas técnicas alternativas, entre las cuales están: El Sistema Unitario de Tratamiento del Agua, Nutrientes y Energía (SUTRANE), el Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua (SIASA) y los Humedales Artificiales, mismos que se llevan a cabo para tratar las aguas servidas de poblaciones de bajo volumen o en lugares alejados, debido a que, sus procedimientos son simples, de costos bajos tanto en insumos como electricidad con respecto a los tradicionales y principalmente de mínimo impacto ambiental (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012).

En el D.M.Q. se han venido realizando proyectos de alcantarillado que contienen ciertos tipos de plantas de tratamiento, unas para zonas urbanas y otras para zonas rurales, que tienen un mismo objetivo, y un volumen de tratamiento similar, lo que permite establecer que en función de la población a servir se deben realizar los diseños de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), para estandarizar un modelo de planta de tratamiento que sea funcional y entregue un buen resultado sin importar en la zona que se encuentre, debido a que en las zonas rurales se han construido sistemas de plantas o tanques Imhoff que resultan poco prácticos y de gran costo de mantenimiento, por lo que es necesario buscar una alternativa que se pueda implantar en futuros proyectos para estandarizar una planta de tratamiento que optimice recursos y de un buen tratamiento a las aguas servidas.

Para desarrollar este tema de estudio se tomará en cuenta la necesidad de tener un saneamiento adecuado para las parroquias, barrios o sectores con poblaciones de 500 a 1000 habitantes, ya que para este determinado número de habitantes dependiendo de la ubicación geográfica o zonal se han construido PTAR, que no

han sido la mejor respuesta para el tratamiento de las aguas servidas y que operativamente para la empresa de Agua potable y Saneamiento del D.M.Q; presentando un alto costo de mantenimiento, especialmente en las parroquias rurales, por cuanto es necesario realizar el vaciado de lodos con la utilización de equipos aspiradores, los cuales se encuentran en los distritos de la ciudad, debido al desplazamiento hacia las parroquias, la capacidad de los mismos que es limitada, representan gastos operativos elevados; en el periodo comprendido entre los años 2010 al 2013 se han construido 15 PTAR en las parroquias, 8 en el Distrito Sur, 1 en el Distrito Centro y 6 en el Distrito Norte, a partir del 2013 se inició la construcción de la Planta de Quitumbe la cual empezó su funcionamiento y operación a partir del 2018. Esta realiza el tratamiento de las aguas residuales de los barrios del sur de Quito.

Al determinar un modelo estandarizado de PTAR se podrá definir un diseño que genere un menor coste de inversión, de operación y de mantenimiento, los insumos y la capacidad de operación para una determinada nueva red de alcantarillado; lo que generaría un beneficio para la ciudad y el medio ambiente al recibir el agua con mejor tratamiento y a un menor costo de operación.

De acuerdo con la comparación y evaluación del desempeño de las plantas existentes se podrá determinar la mejor alternativa para el tratamiento de las aguas residuales que se entregarán a los cuerpos de aguas, generando así un menor impacto ambiental y visual al entorno natural en el que se descargan actualmente este tipo de líquidos.

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de este trabajo de investigación se basa en la presentación de un diseño estándar de planta de tratamiento de aguas servidas de bajo volumen que ayude a la depuración de los elementos generados en las parroquias rurales del sector noroccidental de Quito. Es por ello que podemos definir el problema científico de la siguiente manera: la necesidad de implantar el diseño de una planta estándar de tratamiento a las aguas servidas, que optimice recursos y genere un beneficio para la ciudad de Quito y al medio ambiente.

1.2.2 HIPÓTESIS

Si se realiza el análisis de los diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas servidas implementados en el distrito metropolitano de Quito, se podrá proponer un diseño estándar de planta de tratamiento para poblaciones de bajo volumen de hasta 1000 personas que pueda ser implementado en las parroquias rurales del distrito, dará como resultado una alternativa que permita utilizar de manera práctica en pequeños espacios de terreno.

1.2.3 VARIABLE INDEPENDIENTE

- Planta estándar de bajo volumen

1.2.4 VARIABLE DEPENDIENTE

- Tratamiento de aguas servidas

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño estándar de planta de tratamiento de bajo volumen para poblaciones de hasta 1000 personas, mediante el análisis de las tipologías de estas estructuras en explotación en al área noroccidental de Quito, obteniendo una alternativa que pueda ser utilizada de manera práctica en pequeños espacios de terreno.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar los diferentes tipos de PTAR de bajo volumen del sector noroccidente de Quito y sus parroquias rurales.
- Determinar la alternativa de diseño más eficiente, en función sus aspectos técnicos, económicos y ambientales.
- Proponer un diseño tipo estándar de planta de tratamiento de aguas servidas de bajo volumen para poblaciones de hasta 1000 personas.

1.4 ALCANCE

El estudio se basará en volumen de aguas negras generado por localidades de poblaciones pequeñas, de parroquias urbanas y rurales con una población entre 500 a 1000 habitantes. En los que se realizará el análisis de la carga de aguas servidas generada por este número de habitantes para una determinada área de cobertura del sistema de alcantarillado, se analizará las necesidades requeridas, mediante un diseño estandarizado, definido mediante la evaluación de los sistemas que funcionan en este momento para tratar las aguas residuales, y medir la calidad del agua tratada que se van a analizar y a entregar a los emisarios o descargas de los sistemas de alcantarillado.

1.5 LIMITACIONES

En el presente trabajo no se realizará el dimensionamiento o diseño de las estructuras de la planta de tratamiento de bajo volumen, se definirá únicamente los dispositivos y las áreas necesarias para los componentes para un diseño estandarizado de PTAR, o establecer una geometría de reconocimiento, para ser

implantada dentro de la zona o espacio en la que se la debería emplazar en función de las factibilidades de los barrios, urbanizaciones o sectores que cuenten con la población hasta 1000 habitantes determinada para el volumen que necesite ser tratado.

Los recursos económicos pueden limitar el uso de nuevas tecnologías que se puedan aplicar en el diseño de la planta estandarizada, ya que por disponibilidad en el mercado interno o el costo de adquisición sea elevado encarecería el costo de la obra, con lo cual se tendría mayores costos de inversión e implementación de este sistema de tratamiento.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este apartado se analizarán las definiciones básicas y términos que serán requeridos para la confección del presente trabajo, además se estudiarán los temas concernientes en la normativa legal vigente, así como las especificaciones técnicas que se puedan requerir; dentro de lo que se puede mencionar, la población a ser atendida, los sistemas de tratamiento que se debe proponer de ser el caso preliminar, primario, secundario y terciario, los caudales de diseño, las demandas de entrega tanto de la demanda biológica o bioquímica de oxígeno DBO y de la demanda química de oxígeno DBQ del agua tratada; la definición de tratamiento anaerobio o aerobio, dentro de los parámetros de estudio que se desprendan de la evaluación de las plantas que se encuentran en funcionamiento dentro del D.M.Q. y que son de bajo volumen de tratamiento.

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 AGUAS RESIDUALES

Se define como agua residual toda aquella que ha sido utilizada. Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que se evacúan por las cloacas y se transportan por el sistema de alcantarillado. Es todo aquel líquido proveniente de satisfacer una necesidad humana siendo doméstica, industrial y otras. Que se encuentre constituida en un 99% agua y 1% sólidos en suspensión o disueltos; tanto inorgánicos como orgánicos (Solano y Chávez, 2022).

2.1.1.1 DESCARGAS

Se nombran descargas al espacio donde confluyen una o varias redes de aguas residuales en un cauce o alcantarillado. Se define por ser un desecho líquido con altas concentraciones de contaminantes (Fernández, Kulich, y Gutiérrez, 2018)

2.1.1.2 TIPOS DE DESCARGAS

Coexisten diferentes tipos de descargas periódicas regulares e irregulares, continuas e irregular. La descarga periódica regular se refiere a cuando los tiempos y volúmenes de descargas son constantes. La descarga periódica irregular se presenta cuando los tiempos de descargas son constantes pero los volúmenes que se presentan en esta son variables. La descarga continua se sucede cuando los caudales y las peculiaridades físico químicas no presentan variaciones significativas. Mientras que la descarga irregular es la que presenta una variación significativa entre el caudal y las propiedades de las aguas residuales (ANDI y Desarrollo, 1997; HIDROTEC, 2021).

2.1.2 FUENTES RECEPTORAS DE AGUA RESIDUALES

Las aguas negras provenientes de los núcleos poblacionales o industrias desembocan en el sistema de alcantarillado o en cauces naturales. A nivel mundial por muchos años los desechos líquidos se vertían directamente a los cauces receptores naturales como son los ríos, lagos, mares y océanos; esto ocasionó una transformación en los ecosistemas y la contaminación del medio ambiente. Con el objetivo de enmendar este problema se conforman estrategias para la conservación del agua basados en diferentes tipos de alcantarillados y plantas de depuración, estas se implementarán en función de la ubicación geográfica, accesibilidad y volumen del agua a recaudar (Salvador y Eranzo, 2014; Benítez, 2021).

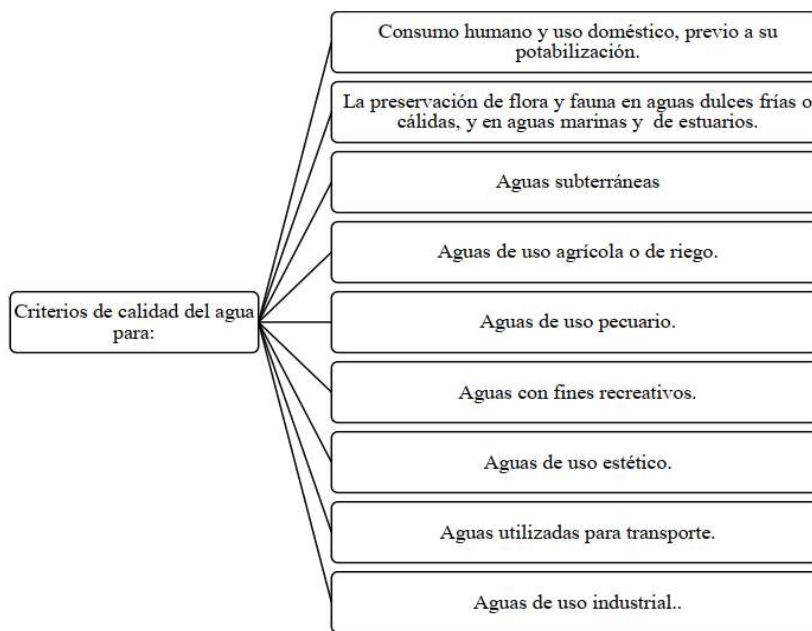
2.1.3 CALIDAD DEL AGUA

Con el fin de definir la calidad del agua se han diseñado diferentes métodos, que particularizan los índices de contaminación; las principales metodologías de análisis se definen en el libro “Los métodos estándar para el examen de agua y agua

residual” donde se unifican los criterios de calidad del agua por diversos usos como se refiere en la figura 1. La calidad del agua es una propiedad de esta y es determinado por los expertos en función de los usos que se les pueda dar; esto manifestará los criterios de aceptación de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos que puedan presentar (Mosquera, 2017).

Figura 1

Criterios de calidad del agua



Nota: (Mosquera, 2017)

2.1.4 TIPOLOGÍAS DEL AGUA

En el ciclo hidrológico el agua atraviesa diversas transformaciones en cuanto a su estado y recorre diferentes lugares dónde se vincula con agentes contaminantes como desechos de las industrias, domésticos, urbanos e industriales. Químicamente no existe el agua pura, ya que al entrar en contacto con diversos elementos se altera su composición. Existen diversos estudios de parámetros y

normativas que nos permiten determinar si el uso del agua es seguro para su uso directo, así como para su vertido después de utilizarla (Sierra, 2011).

Los sustentos presentes en las aguas permiten el desarrollo de microorganismos derivados de la interacción del agua, el aire, el suelo y los seres vivos. Estos afectan directamente la calidad del agua debido a que pueden ser patógenos, bacterias y virus que pueden provocar enfermedades (Pacheco, 2011).

En las investigaciones de Huallpara et al (2017) se refleja que coexisten diferentes tipos de agua según sus particularidades químicas, físicas o biológicas:

- **Potable:** adecuada para el consumo humano.
- **Dulce:** se halla en la superficie terrestre y sistemas subterráneos de manera natural.
- **Salada:** presenta sales minerales disueltas en proporciones superiores al 35%. Se halla en océanos y mares.
- **Salobre:** es la que presenta una concentración de sales disueltas mayor que la dulce y menor que la salada.
- **Dura:** ostenta altos niveles de minerales disueltos.
- **Blanda:** presenta una pequeña cantidad de sales disueltas.
- **Destilada:** cuando ha sido tratada para su purificación mediante la destilación.
- **Residuales:** es el agua afectada negativamente por el ser humano.
- **Negras:** corrompidas con heces u orina.
- **Grises:** es el agua usada, proveniente del uso doméstico.
- **Cruda o bruta:** no ha sido tratada y se encuentra comúnmente en fuentes y reservas naturales.

Las características físicas del agua residual más significativas son el contenido total de sólido, así como: la materia sedimentable, coloidal y disuelta además del olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad (Solano y Chávez, 2022).

2.1.5 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Los parámetros físicos son los que actúan sobre la coloración y apreciación del agua y los químicos son las sustancias que se pueden encontrar en esta; los parámetros químicos se pueden analizar según si son compuestos por indicadores o sustancias químicas. Los indicadores son producto a la interacción de diferentes sustancias y el compuesto químico se refiere a las sustancias disueltas y su concentración.

PARÁMETROS FÍSICOS

Su presencia no es un índice de contaminación, sino la proporción que se encuentre en el agua que se estima en los ensayos de laboratorios y se evalúa por las condiciones presentadas en las normas (Fernández, Kulich y Gutiérrez, 2018).

Los parámetros físicos más importantes son:

- **Transparencia:** grado de penetración de la luz en el agua.
- **Temperatura:** energía calorífica que presenta el agua.
- **Turbidez:** medida de sólidos en suspensión en el agua.
- **Color:** generalmente el agua es incolora, pero bajo la acción de la luz produce un efecto de reflexión de las sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el medio.
- **Olor:** el agua es inodora, pero al contaminarse absorbe los olores de los agentes disueltos
- **Sabor:** el agua pura es insípida, pero los vertidos químicos pueden afectar su sabor.

- Conductividad eléctrica: resistencia al paso de la electricidad.
- pH: valor de alcalinidad, base o acidez del agua.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Se define por la presencia de microorganismos patógenos de diferentes tipos: bacterias, virus, protozoos y otros organismos capaces que transfieren enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. Regularmente estas bacterias alcanzan al agua en las heces y otros desechos orgánicos. Es por ello que, para determinar la sanidad de las aguas, respecto a microorganismos, se requiere determinar las bacterias coliformes (Huallpara et all, 2017).

Los parámetros microbiológicos más comunes son:

- Coliformes totales; índice de contaminación de una fuente de bacterias.
- Estreptococos fecales: bacteria que habita en el tracto gastrointestinal de humanos y otros mamíferos
- Coliformes fecales: bacteria facultativamente anaeróbica

PARÁMETROS QUÍMICOS

Dara definir la calidad del agua es necesario analizar este factor. Si el agua que se estudia no ha absorbido contaminantes urbanos o industriales, la investigación debe determinar los siguientes parámetros:

- Iones más importantes (bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio)
- Oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, Carbono orgánico

Si la investigación requiere datos más rigurosos se debe incluir otros grupos de parámetros químicos como: Compuestos de nitrógenos, fosfatos, hierro, demanda

bioquímica de oxígeno, Fenoles, derivados del petróleo, detergentes, pesticidas, Fósforo orgánico e inorgánico, metales pesados, fluoruros. (Cruz, 2019)

Al disponer estas exploraciones se deben considerar los factores naturales que intervienen en la constitución química del agua, así como su cantidad, localización, arquetipo de asentamientos urbanos o industrias (Cruz, 2019).

Los parámetros más asiduamente empleados en el análisis del agua residual son:

- Oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno
- Sólidos disueltos y en suspensión
- Compuestos de nitrógenos, fósforo, azufre y cloro
- pH
- Dureza
- Turbidez
- Elementos tóxicos
- Elementos patógenos

2.1.6 ENSAYOS PARA LA PUREZA DEL AGUA

2.1.6.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBOS)

El ensayo DBO₅ nos permite determinar la cantidad de oxígeno necesaria para disolver la materia orgánica, mediante el efecto microbiológico en rango de tiempo de cinco días. Se analiza la diferencia entre el oxígeno inicial y final y es expresado en mg/L; este consumo de oxígeno refleja que tan biodegradable es la muestra en función de la cantidad química de oxígeno requerido, en el laboratorio el ensayo se realiza a los 20°C, el ensayo estándar se elabora a los cinco días de incubación y se conoce comúnmente como DBO₅, su unidad es mg/L – O₂ (Lozada, 2022).

2.1.6.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

El estudio de DQO refleja el volumen de materia orgánica e inorgánica oxidable químicamente que se encuentra en el agua. Este análisis es fundamental porque nos permite definir la cantidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en el agua residual (Sierra Ramirez, 2011). El ensayo de concentración orgánica es factible para el análisis de aguas residuales industriales o municipales tóxicas y su duración es de tres horas. Pero la interpretación de los resultados es difícil ya que depende de varios factores (Lozada, 2022):

- Varios compuestos orgánicos oxidables por dicromato no son oxidables biológicamente.
- Los sulfuros, sulfitos, tiosulfatos, nitritos y hierro ferroso son oxidados por dicromato por lo que introducen una DQO inorgánica.
- Los hidrocarburos aromáticos y la piridina no son oxidados por el dicromato.
- Para concentraciones mayores de 1g/L de cloruros se debe ejecutar con un testigo de concentración de cloruros igual a la de la muestra.
- El tiempo de reflujo debe ser siempre dos horas, debido a que el resultado de la DQO es función del tiempo de digestión.

2.1.6.3 SOLIDOS TOTALES

Son las composiciones de materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y material coloidal que se presentan en las masas de aguas negras; su naturaleza puede ser orgánica o inorgánica y debe poder ser retenido en un elemento filtrante. Es determinada como la fracción de sólidos retenidos en un filtro; que seguidamente se seca a 105°C hasta que llegue a un peso constante (Cruz, 2019).

2.1.6.4 POTENCIAL HIDROGENO (PH)

Este estudio indica el grado de acidez o basicidad que presenta un líquido. Cuando el agua presenta un alto grado de acidez puede ser corrosiva, y si presenta un estado básico entonces provoca incrustaciones. Se recomienda que el agua se mantenga en un estado neutro. La determinación del pH debe realizarse in situ producto a que las condiciones de este varían por las reacciones que se producen durante el proceso de almacenamiento. Este parámetro no afecta a los usuarios del líquido, pero es vital en los sistemas de tratamientos ya que garantiza el correcto funcionamiento del proceso de desinfección (Herrera, 2015). La medición del pH es muy importante ya que define la relación que existe entre este parámetro y la inactivación de los microorganismos patógenos, los valores de pH ácidos indican condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionados con el contenido en nitrógeno y carbonatos solubles (Cruz, 2019).

2.1.7 COMPUESTOS QUÍMICOS Y ORGÁNICOS

2.1.7.1 ZINC

Este elemento químico se presenta de forma natural en el agua y el suelo en pequeñas cantidades. Producto a las acciones de la industria las concentraciones de este material se han incrementado convirtiéndose en un problema de contaminación ambiental (Mosquera, 2017).

2.1.7.2 ACEITES Y GRASAS

Son compuestos orgánicos formados por ácidos grasos de origen animal, vegetal o hidrocarburos. Son constituidos por elevados pesos moleculares y poco solubles en agua. Estos compuestos son solubles en disolventes orgánicos. En el agua residual urbana la concentración de este compuesto se considera baja. Estos

se acumulan en la parte superior de los recipientes de aguas servidas por ser menos densos, provocando espumas en las superficies. Solucionar este problema encarece el proceso de depuración del agua residual, ya que es un proceso muy lento y toxico (Gómez, 2016; IAGUA, 2022).

2.1.7.3 SUSTANCIAS ACTIVAS EN AZUL DE METILENO

Los detergentes son sustancias activas en azul de metileno y se clasifican como tensoactivos sintéticos; estas sustancias químicas se consideran biodegradables. La disolución de estos en el agua se realiza a partir de diferentes actividades de limpiezas como pueden ser el lavado de la ropa, fregado, estas actividades pueden ser realizadas de manera doméstica o industrializado. Los grandes volúmenes de sustancias de estas características provocan la formación de espumas, contaminación de las aguas generando un impacto ambiental y estético a los diversos ecosistemas (Mosquera, 2017)

2.1.7.4 COMPUESTOS DE FENOLES

Son agregados odoríferos procedentes del monohidroxílico del benceno. Normalmente se encuentran como compuestos de los desinfectantes como bactericida. Las mayores concentraciones en aguas residuales se presentan en aquellas con azúcares, carbón o las procedentes de la industria del petróleo. Estos afectan directamente a la cantidad de oxígenos disueltos en los acuíferos por su elevada toxicidad (UPTC, 2007; Coral, 2013; Mosquera, 2017).

2.1.7.5 COLOR

El agua cuando se presenta pura es incolora, pero en su estado natural presenta coloración producto a la presencia de materia orgánica, vegetación, formas de vida o sustancias contaminantes. La coloración del agua es un factor definible en cuanto al modo de empleo de y no es una condicionante para las afectaciones de la salud;

ya que podemos tener volúmenes de agua de color apreciable pero que son seguras para el consumo; sin embargo, son desagradables desde el punto de vista estético (Spellman & Drinan, 2020).

2.1.8 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES (PTAR)

Las PTAR son un grupo de estructuras de tratamiento total o parcial de los contaminantes del agua residual. Estas plantas se organizan en función de los diversos procesos unitarios que se apliquen y se instalan de acuerdo a las particularidades de los tratamientos a realizar (Chiluiza, 2022). El propósito de una planta de tratamiento es limpiar las aguas residuales con el fin de asegurar los siguientes objetivos:

- Impedir la contaminación del destinatario.
- Producir agua con particularidades aptas para su reutilización.
- Cumplir con las normativas ambientales de descargas.
- Salvaguardar la flora y la fauna.

El procedimiento de trabajo que se emplea en las PTAR se caracteriza por la combinación de la fuerza física, la acción química y biológica; estas etapas del proceso se catalogan como pretratamiento; tratamiento primario; secundario y terciario, en el nomograma que se presenta en la figura 2 se refleja las etapas de los tratamientos que se le realizan al agua en el proceso de depuración.

Figura 2

Etapas de los tratamientos.



Nota: (Martín y Osés, 2013)

2.1.8.1 PRETRATAMIENTO

En esta etapa se realiza la preparación del agua residual, con el objetivo de proteger al sistema y evitar posibles problemas en el funcionamiento de la planta de tratamiento. Dentro de los tratamientos preliminares podemos encontrar la separación de sólidos grandes; desbaste; cribado; tamizado; desarenado; desengrasado, regulación y pre aireación (Fuentes, Melgar y Pineda, 2018)

2.1.8.2 TRATAMIENTOS PRIMARIOS

El principal objetivo de este tratamiento es la sedimentación de sólidos suspendidos. La sedimentación en tanque es un procedimiento que se ejecuta mediante la aplicación de la gravedad; el agua se mantiene estancada por un lapso de tiempo entre 0.5 a 3 horas donde se separa entre el 40% al 65% de los sólidos; mediante el proceso de precipitación, donde se ubican en el fondo del tanque los desechos que posteriormente se retiran para tratarlos en otros sistemas (Chiluiza, 2022).

Dentro de las separaciones unitarias también podemos encontrar la floculación y flotación donde se aplican métodos específicos en función de las características del agua residual (DAS, 2017). El procedimiento de floculación se realiza mediante la disolución de un coagulante que ejerce como una conexión química entre los sólidos disueltos, para aglutinarlos y que se propicie la precipitación. La flotación sin embargo es un proceso estructurado a partir de la introducción de gas al agua con la finalidad de romper las emulsiones y obligar a los sólidos a subir a la superficie para que posteriormente se retiren mediante la acción mecánica (Ramalho, 2003).

2.1.8.3 TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

Estos son el mejoramiento de los tratamientos preliminares, su diseño es el de limpiar los contaminantes que la sedimentación no pudo y deponer la demanda bioquímica de oxígeno (Fuentes et al, 2018). Los tratamientos secundarios o biológicos son los métodos más implementados en la purificación del agua, así como la estabilización de sustancias bioquímicamente degradables en aguas negras. El tratamiento biológico involucra la implementación de bacterias con o sin oxígeno. La degradación de la materia orgánica se realiza mediante la implementación de microorganismos, que mediante su metabolismo sintetizan los contaminantes transformándolos en otros agregados como metano, dióxidos de carbono o agua (IAGUA, 2022).

Los tratamientos secundarios más implementados para la eliminación de materias orgánicas son la laguna airada, filtros de goteo, tanques de estabilización, reactores biológicos y lodos activados (HIDROTEC, 2021).

2.1.8.4 TRATAMIENTOS TERCIARIOS

Estos tratamientos competen la etapa final del tratamiento de aguas residuales; en este espacio es donde se refinan los procedimientos previos con el objetivo de elevar la calidad del agua que se dirigirá al efluente y llegar a cumplir los estándares de las normas (Fuentes et al, 2018).la selección del tratamiento a emplear dependerá de la finalidad para la cual se empleara el agua; los más comunes son la adsorción por carbón activado, filtros de arena, desinfección por electrólisis, ósmosis inversa, ultrafiltración (Mosquera, 2017).

2.1.8.5 CRIBADO

Metodología utilizada para retirar el material grueso suspendido en el agua. Es un medio filtrante que actúa como coladera para los materiales gruesos que viajan en las corrientes de las aguas negras. Su clasificación depende del diámetro de los orificios que la componen, cuando se presentan aperturas superiores a los 6 mm estas se clasifican como gruesas, si son iguales o inferiores se clasifican como finas. La función principal de estos elementos es la protección de los elementos componentes de las plantas de tratamientos (Romero, 2013). Las cribas además se pueden categorizar por la función de limpieza la cual puede ser manual o mecánica, en esta operación se puede eliminar hasta un 25% de los sólidos que arrastra la corriente (Chiluiza, 2022).

2.1.8.6 TAMIZADO

Es una maniobra que perfecciona el cribado, consiste en la colocación de tamices a partir de los 2.5 mm en la corriente del canal, para aumentar el porcentaje de sólidos removidos. (Martín & Osés, 2013; Chiluiza, 2022)

2.1.8.7 TANQUE SÉPTICO

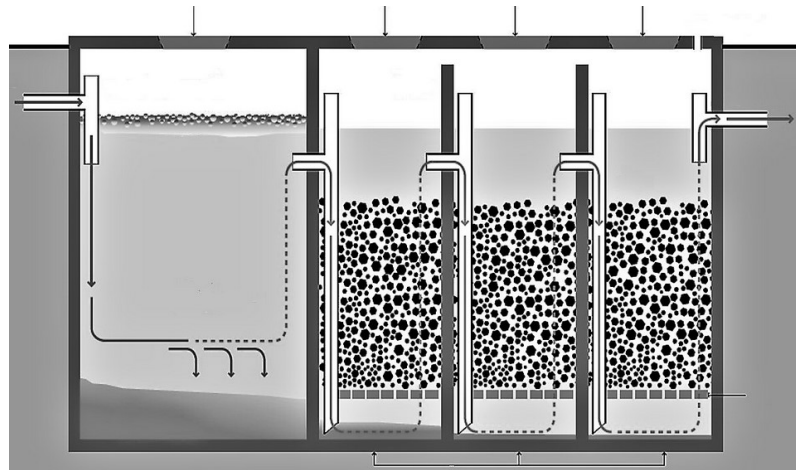
Es un proceso que permite escarnecer la materia orgánica a formas mucho más simples de cómo llegaron. En este proceso se encuentra combinado la sedimentación y digestión de los sólidos presentes en el agua residual (Chiluiza, 2022).

2.1.8.8 FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)

Es un proceso implementado para remover la materia orgánica de forma anaerobia, este filtro cuenta con un medio filtrante de piedra y ayuda a que los sólidos que quedaron presentes en el agua residual sean retenidos (Chiluiza, 2022). Es un reactor biológico de lecho fijo con cámaras de filtración posicionadas en serie. Mediante que las aguas residuales cruzan por el filtro, los sólidos son atrapados y la materia orgánica es desintegrada por la biomasa en la superficie del material que conforma filtro. Este aditamento suele emplearse en el tratamiento secundario, para disminuir la carga orgánica para aplicar posteriormente un tratamiento aerobio, o un tratamiento final. Esta tecnología es provechosa para plazas de pequeños espacios, ya que el tanque suele instalarse bajo tierra y requiere un área pequeña. Pero debe considerarse la accesibilidad para un camión aspirador, así como las capacidades y recursos para la labor de desenlodado.

Figura 3

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

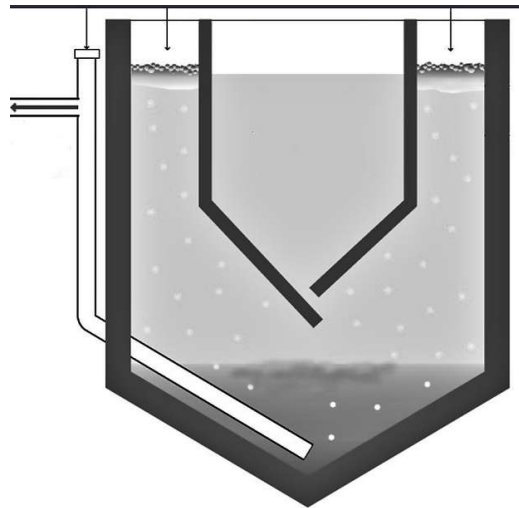


Nota: (Chiluiza, 2022)

2.1.8.9 TANQUE IMHOFF

Es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales crudas, que integra la sedimentación del agua y la digestión del lodo asentado en la misma unidad. Consiste en un compartimiento de sedimentación en forma de V sobre una cámara de digestión de lodo estrecha con respiraderos para gas (Lozada, 2022). es conveniente para plantas que presenten tratamiento secundario para tratar el efluente y los lodos. Es recomendable para flujos de aguas residuales de viviendas o mixtas, para poblacionales de 50 a 20 000 habitantes. Puede tratar altas cargas orgánicas y resiste choques de carga orgánicos; puede utilizarse en climas fríos y cálidos. Tiene la ventaja de no requerir mucho espacio. Dado que es muy alto, sólo se puede construir bajo tierra si la capa freática es baja y la ubicación no es propensa a inundaciones

Figura 4
Tanque Imhoff



Nota: (Lozada, 2022)

2.1.8.10 ECUALIZACIÓN Y PREAIREACIÓN

Es una acción de regularización o neutralización, se base en un tanque de captación donde se neutraliza el pH antes de efectuar el tratamiento secundario, además este tanque permite garantizar que a la planta entre un caudal constante. Este factor es muy importante principalmente en plantas pequeñas donde el caudal mínimo puede ser cero, lo que dificulta todo el proceso. En este paso se debe incluir la aireación y mezcla con la finalidad de controlar los olores y evitar la sedimentación además de aumentar la reducción de DBO₅, lo que favorece la separación de las grasas; esta preaireación va a mejorar el proceso de tratamiento del agua (Mosquera, 2017).

2.1.8.11 LODOS ACTIVADOS

Este proceso, es una de las tecnologías más implementadas a nivel internacional, principalmente para afluentes municipales. Mediante la utilización de microorganismos se eliminan las sustancias biodegradables bajo condiciones aeróbicas donde se produce una reacción química de catálisis, donde la materia

orgánica se oxida y los microorganismos funcionan como catalizadores. El objetivo de este proceso es solidificar y descartar los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica (SINIA, 2004). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) cataloga los fangos activos por la cantidad de metales pesados y microorganismos patógenos que presenta (Sabando y Zambrano, 2022).

- Peligrosos: Se consideran fangos peligrosos a los que cuyas concentraciones contaminantes tóxicas superan lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- No peligrosos: Se consideran fangos no peligrosos a los que cuyas concentraciones de metales pesados son inferiores a los valores establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (tabla 1).

Tabla 1

Límites permisibles para metales pesados en fangos residuales

Elementos	Valores límites materia seca (mg/kg)	Tasa de carga acumulativa (kg/ha)	Concentración del componente para una calidad excepcional (mg/kg).	Tasa de carga anual del elemento (kg/ha/año)
Arsénico	75	41	41	2,0
Cadmio	85	39	39	1,9
Cromo	-	.	-	-
Plomo	840	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0,85
Molibdeno	75	.	-	-

Nota: (SABANDO & ZAMBRANO, 2022)

2.1.8.12 AIREACIÓN PROLONGADA

Se conoce como el Proceso de Oxidación Total, su finalidad es reducir la cantidad de lodo residual. Es empleado principalmente en PTAR pequeñas (alrededor de los 10.000 habitantes), para su fomentación es necesario que todo el lodo degradable que se formó sea consumido por medio de respiración endógena. Se basa en la oxigenación del vertido, facilitando el desarrollo de microorganismos aeróbicos que degradarán la materia orgánica biodegradable. Este proceso se consume con la exclusión del material que se encuentra suspendido, y los materiales más concentrados se almacena en el fondo del tanque formando los lodos y los elementos menos densos se acumula en forma de natas (Henríquez, 2020).

2.1.8.13 HUMEDALES ARTIFICIALES

Son métodos que se benefician de los recursos naturales para limpiar los residuos presentes en el agua. Consisten en un terreno sobre el que se aplica un tratamiento de impermeabilización para evitar la filtración del agua. Sobre este medio se coloca una mezcla de sustrato formada por arena, grava, piedra y otros componentes. Finalmente, se utilizan plantas acuáticas que flotan sobre el agua. El sustrato y la flora absorben los contaminantes, y los emplean como nutrientes (Lozada, 2022).

2.1.8.14 CLORACIÓN

Es el medio que se aplica para desinfectar el agua destinada al consumo, con la finalidad de eliminar el hierro y el magnesio que se encuentra disuelto. Los máximos valores admisibles de contaminación para el hierro y el manganeso son de 0,3 (mg/L) y 0,5 (mg/L), este proceso de cloración reside en la oxidación de estos metales disueltos, formando partículas que se eliminarán en el proceso de

filtración. Esta disposición es usualmente implementada en los sistemas de abasto, producto a que el agua recorre un largo camino antes de llegar a los usuarios. La cloración puede ser realizada mediante la utilización de: cloro líquido, cal clorada e hipocloritos (Mosquera, 2017).

2.1.8.15 FILTRACIÓN

La filtración con arena se ha implementado por muchos años para el tratamiento de aguas negras, por ser un proceso sencillo y seguro. Reside en la filtración del agua, mediante una cama con material granular (arena), y tren de drenantes para que las aguas tratadas sean recolectadas por el sistema de recolección (Mosquera, 2017). Cuando se requiere deponer una impureza orgánica que esté provocando olor, color y sabor al agua, lo recomendable es ejecutar la adsorción o filtración con carbón activado, este material se define por tener una fuerte atracción adsortiva por moléculas orgánicas, y retener firmemente moléculas pesadas como compuestos aromáticos (Lozada, 2022).

2.2 MARCO LEGAL

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se analizó la Normativa Ambiental Ecuatoriana vigente, definiendo los parámetros de limitantes para el tratamiento de aguas residuales.

2.2.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.

En la Constitución Política de la República del Ecuador, publicada en Quito, en el Registro Oficial N°. 449 se indica en los siguientes artículos leyes vinculados a nuestra investigación:

- Artículo 411.- este apartado hace referencia la necesidad de regular cualquier actividad que afecte la calidad y cantidad del agua, así como el equilibrio de los ecosistemas.

- Artículo 415.- se refiere a la obligación que presentan los gobiernos de implementar programas relacionados con el uso racional del agua, así como la reducción y reciclaje de los desechos sólidos y líquidos.

2.2.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL.

En el Registro Oficial N°. 418, del 2004, se presentan los siguientes artículos

- “Artículo 8.- La autoridad ambiental nacional será ejercida por el Ministerio del ramo, que actuará como instancia rectora, coordinadora y reguladora del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, sin perjuicio de las atribuciones que dentro del ámbito de sus competencias y conforme las leyes que las regulan, ejerzan otras instituciones del Estado.” (Congreso Nacional, 2004, p. 2)
- “Artículo 9.- Le corresponde al Ministerio del ramo: (...) d) Coordinar con los organismos competentes para expedir y aplicar normas técnicas, manuales y parámetros generales de protección ambiental, aplicables en el ámbito nacional; el régimen normativo general aplicable al sistema de permisos y licencias de actividades potencialmente contaminantes, normas aplicables a planes nacionales y normas técnicas relacionadas con el ordenamiento territorial; j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes” (Congreso Nacional, 2004, p. 2)
- “Artículo 33.- Establézcanse como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones

de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento” (Congreso Nacional, 2004, p. 6).

2.2.3 LEY ORGÁNICA DE LA SALUD.

En el Registro Oficial N°. 423, del 2006. De la ley orgánica de la salud, se relacionan con nuestra investigación los artículos 7, 103 y 104.

- “Artículo 7.- Toda persona, sin discriminación por motivo alguno, tiene en relación a la salud, los siguientes derechos: (...) c) Vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación (Suplemento del Registro Oficial 353, 23-X-2018, 2018, pág. 4).”
- “Artículo 103.- Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias. Los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, deben ser tratados técnicamente previo a su eliminación y el depósito final se realizará en los sitios especiales establecidos para el efecto por los municipios del país. Para la eliminación de desechos domésticos se cumplirán las disposiciones establecidas para el efecto. Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir estas disposiciones (Suplemento del Registro Oficial 353, 23-X-2018, 2018, pág. 13).”

- “Artículo 104.- Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades (Suplemento del Registro Oficial 353, 23-X-2018, 2018, pág. 14).”

2.2.4 LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTOS DEL AGUA.

Presentada en el Registro Oficial N° 339, del 2004 y actualmente derogada por Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua, Segundo Suplemento del Registro Oficial N° 305 del 2014. nos interesa analizar el siguiente artículo

- Artículo 79.- plantea el cumplimiento por parte de los gobiernos descentralizados de los siguientes objetivos:

a) Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o sumak kawsay, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación.

b) Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad (...).

e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósitos de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida.

2.2.5 LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.

Se publicó en el Registro Oficial N°. 418, del 2004, a continuación, se presentan los artículos relacionados con la investigación:

- Artículo 6.- prohíbe el vertido de las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades sin que se cumplan las regulaciones de saneamiento vigentes.
- Artículo 7.- hace referencia a que los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, serán elaborados por: El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en combinación con los Ministerios de Salud y del Ambiente, en función de la calidad de agua que deban tener los cuerpos receptores
- Artículo 8.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, determinarán el nivel de tratamiento que requerirán los residuos líquidos que se deben descargar en los cuerpos receptores, sin que tenga en cuenta su origen.
- Artículo 9.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, son los encargados de fiscalizar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento.

2.2.6 ORDENANZA MUNICIPAL 404 DMQ, NORMA DE DESCARGAS LÍQUIDAS.

La ordenanza municipal del Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de proteger la calidad del agua instituye límites permisibles en cuanto a la concentración de contaminantes en los efluentes vertidos al alcantarillado o causes de agua (DMQ, 2013). En este apartado se define el concepto de carga contaminante para descargas líquidas: como el valor empleado el seguimiento de las descargas líquidas y se define la siguiente expresión para su determinación.

$$CC = \left(\frac{(2DBO + DQO)}{3} + SS \right) * Q \quad (DMQ, 2013) \quad \text{Ecuación 1 Carga Contaminante}$$

(Ordenanza 404).

Dónde:

CC= Carga Contaminante.

DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO= Demanda Química de Oxígeno.

SS= Sólidos Suspendidos.

Q= Caudal Total de descarga.

2.2.7 ACUERDO MINISTERIAL NO. 097

El Acuerdo ministerial 097, presentado en el registro oficial No. 387 del 2015. En el Anexo 1 de este documento, se hace referencia a la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua. Presentando los subsiguientes usos del recurso:

- Consumo humano y uso doméstico.
- Preservación de la vida acuática y silvestre.
- Uso agrícola o de riego.
- Uso pecuario.
- Uso recreativo.
- Uso estético.

En este anexo se hace referencia además a los límites de descargas en cuerpos de agua dulce como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2*Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/L	30
Alkil mercurio	mg/L	no detectable	
aluminio	Al	mg/L	5
Arsénico total	As	mg/L	0.1
Bario	Ba	mg/L	2
Boro Total	B	mg/L	2
Cadmio	Cd	mg/L	0.02
Cianuro total	CN	mg/L	0.1
Cinc	Zn	mg/L	5
Cloro Activo	Cl	mg/L	0.5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/L	0.1
Cloruros	Cl	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1
Cobalto	Co	mg/L	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 mL	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/L	0.2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/L	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5
Fluoruros	F	mg/L	5
Fósforo Total	P	mg/L	10
Hierro Total	Fe	mg/L	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20
Manganeso total	Mn	mg/L	2
Materia flotante	Visible	Ausencia	
Mercurio Total	Hg	mg/L	0.005
Níquel	Ni	mg/L	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30

Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50
Compuestos Órgano clorados	Órganos clorados totales	mg/L	0.05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0.1
Plata	Ag	mg/L	0.1
Plomo	Pb	mg/L	0.2
Potencial de hidrógeno	pH	6-9	
Selenio	Se	mg/L	0.1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ -2	mg/L	1000
Sulfuros	S-2	mg/L	0.5
Temperatura	°C	Condición Natural ±3	
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/L	0.5
Tetracloruro de carbono	tetracloruro de carbono	mg/L	18

Nota: (MAE, 2015)

2.3 MARCO METODOLÓGICO

2.3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el desarrollo del proyecto de investigación se llevarán a cabo dos etapas de trabajo, a través de las cuales se obtendrán los resultados esperados, así:

Primera etapa: documental

- Recopilación de planos y otros documentos de interés como memorias de cálculo, informes, etc., para mediante el análisis de los diferentes diseños de PTAR de bajo volumen del DMQ determinar el o los más eficientes.
- Revisión de recomendaciones de diseño en los códigos vigentes, así como el marco legal y libros especializados en la materia.

Segunda etapa: diseño

- Determinación de los parámetros de diseño: periodo, población, caudal, características del agua a tratar.
- Diseño de los componentes de la planta: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario, considerando las mejores alternativas en cada una de las etapas.
- Presentación de la propuesta, mediante los resultados obtenidos en los cálculos y planos de detalle realizados en software especializados de dibujo.

2.3.1.1 TIPO DE ESTUDIO:

Explicativos: se establece la exposición de las diversas situaciones que se desarrollen en la investigación mediante el razonamiento del proceso causa-efecto. Se encuentra orientados a responder las causas de los eventos; su utilidad radica en explicar la relación entre dos variables o más.

En el desarrollo de la investigación es necesario establecer la descripción de los procesos de las PTAR que se toman como muestras en el distrito noroccidental de Quito su proceso de funcionamiento.

2.3.1.2 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

Para la investigación se implementará la modalidad de campo, para ello se realizará un análisis sistémico del funcionamiento de las PTAR que se encuentran trabajando en el sector noroccidental del DMQ. Además del levantamiento de los datos de distribución y funcionamiento de las diferentes entidades.

Adicionalmente se implementará como técnica de recolección de información, una revisión documental, para la revisión de las referencias bibliográficas que son

necesarias para establecer las metodologías de evaluación y diseño de las PTAR, así como el marco conceptual.

Las modalidades de estudio establecidas, nos permitió establecer una adecuada recolección de información, adquirida de fuentes acreditadas Redalyc, Scielo, repositorios institucionales, entre otros; con el propósito de obtener el soporte teórico requerido para este estudio.

2.3.1.3 MÉTODO

Los métodos de investigación son las estrategias, procesos o técnicas implementadas para la recolección de informaciones para la realización de un análisis, con el objetivo de descubrir nueva información o entender de mejor manera un tema. A continuación, se describen los métodos utilizados en el desarrollo del trabajo:

- Método inductivo

Se implementa razonamientos para obtener conclusiones generales a partir de hechos particulares (López, 2022). Este método nos ayudara en la recolección de datos permitiéndonos equiparar los hechos específicos como las peculiaridades de trabajo actuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Método sintético

Integra los componentes dispersos de un hecho para un estudio generalizado (Lozada, 2022). Se utilizó para sintetizar los criterios de evaluación y diseño de las plantas de tratamiento de agua.

- Método analítico

Desglosa las secciones que conforman un todo del caso en estudio, relación de causa efecto (López, 2022). Es utilizado para establecer los criterios de diseño y evaluación las plantas.

2.3.1.4 POBLACIÓN

Una población de estudio es el grupo o conjunto total de personas, objetos, etc., de interés en una investigación (Robles B. , 2019). La población de interés de este trabajo son las plantas de tratamiento de aguas servidas: Ingapi, Anope y Bellavista del sector noroccidental del distrito metropolitano de Quito.

2.3.1.5 MUESTRA

La muestra no es otra cosa sino una parte representativa de la población de estudio, la misma que por tener características en común, representa perfectamente a todo el conjunto (Robles B. , 2019). Por lo tanto, la muestra de esta investigación está conformada por las plantas de tratamiento de aguas servidas de bajo volumen disponibles en Quito, que sean utilizadas por las parroquias urbanas y rurales de entre 500 y 1000 habitantes. Para el desarrollo del trabajo se tomaron las entidades de tratamiento de aguas residuales: Ingapi, Anope y Bellavista.

2.3.1.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

El método de recolección de datos y tipo de técnica que se implementará será determinado en función de los objetivos y variables.

En el trabajo se aplicará el método de observación; y la técnica que se aplicara es la observación participante. Para el desarrollo de esta actividad se utilizará a manera de instrumento una guía para la realización de la evaluación de las PTAR; de manera que se pueda valorar la investigación recogida, así como identificar la forma que se efectuó el estudio en caso de repetirlo.

2.3.2 GUÍA DE EVALUACIÓN PARA LAS PTAR

Para el desarrollo de la guía de evaluación se consideró la recopilación de la información, la sistematización del proceso y la evaluación general de los componentes y funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Esta herramienta facilitó el proceso de evaluación para las diversas plantas que se consideran en el desarrollo del trabajo. Para su elaboración se analizó lo establecido en la investigación de Robles (2018).

Puntos de trabajo definidos en el desarrollo de las evaluaciones.

- a) Datos generales de la planta de tratamiento de aguas residuales: en este apartado se incluye la información referente a Nombre, lugar de ubicación , zona de dominio, tipo de planta, año de construcción, año de operación, número de operarios, datos históricos de la calidad de agua cruda y tratada, conducción de agua cruda, capacidad de diseño, caudal medio de operación, caudal máximo y mínimo de operación, diagrama actual del tren de proceso y los problemas frecuentes de la planta de tratamiento.
- b) Recorrido en planta, operación y evaluación de las unidades de proceso, infraestructura civil e infraestructura eléctrica- equipos electromecánicos. Se procede a realizar el recorrido de cada planta de tratamiento de agua residual. Con la finalidad de conseguir evidencia fotográfica de las unidades de tratamiento, y las deficiencias que puedan presentar, conocer las circunstancias de trabajo y tomar los datos precisos para la evaluación.
- c) Cumplimiento de la normatividad y las condiciones particulares de descarga. En función del marco normativo de las PTAR, donde se presentan los límites permisibles de calidad de agua, se revisaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los líquidos circulantes.

- d) Manejo de productos químicos. Con el encargado de la planta se indaga sobre los productos químicos utilizados en el proceso: Gas cloro, cloruro de sodio o calcio, cal, polímero, et. Para determinar si en el trabajo diario de la instalación se llevan registros de:
- Entrada de la materia prima y del consumo, reportando la fecha y hora de turno.
 - Se conoce o determina la pureza del material al ingresar a la planta.
 - control de los responsables que utilizan los materiales, la cantidad y nombre de los materiales utilizados
- e) Situaciones de emergencia. Se indaga sobre los procedimientos establecidos en cada planta de tratamiento de aguas residuales ante situaciones de emergencia, tales como: Variación considerable de la calidad de agua cruda, fugas de gas cloro, corto circuito eléctrico o cuando se interrumpe el flujo de energía.
- f) Capacitación del personal de la planta. Se revisó el control que se tiene para el personal operativo y la capacitación de los mismos; si se cuenta con el equipo de seguridad e higiene establecido por la normativa.

2.3.3 EVALUACIÓN DE LAS UNIDADES DE PROCESO

Para iniciar el proceso de evaluación es necesario tener los datos generales y el estado actual de las plantas de tratamiento, el análisis de calidad de agua de entrada y salida realizado por un laboratorio externo acreditado, el levantamiento de dimensiones de las unidades de tratamiento y los proyectos ejecutivos. Para el desarrollo de los cálculos se requiere conocer el caudal medio y el caudal máximo de la planta, los cuales se encuentran en el proyecto ejecutivo de cada planta en base a:

- La cobertura.
- El área a sanear en base al área tributaria.
- La población, la cual se debe analizar de acuerdo a las estadísticas censales del crecimiento de población a servir considerando áreas de expansión del lugar.
- La dotación de consumo de agua potable y de fuentes propias, para uso doméstico, de acuerdo con el nivel socio-económico de la población y su variación durante el periodo de previsión.

En el desarrollo del proceso cuando corresponda infiltración. Tomando en cuenta las consideraciones antes mencionadas el caudal medio de muestra se determina mediante la ecuación 2.

$$Q_{med} = \frac{Ap(P)}{86400} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 2: Caudal Medio (l/s)}$$

Donde:

Ap= Aportación de aguas residuales en L/h/día

P= Número de habitantes de proyecto

86400= Número de segundos al día

El caudal máximo instantáneo representa el valor máximo de aguas residuales que se pueden ostentar. Se determina mediante el coeficiente de Harmon (M) aplicando las ecuaciones 3 y 4.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 3 Coeficiente de Harmon}$$

Donde

M=Coeficiente de Harmon

P= Número de habitantes de proyecto

$$Q_{max} = Q_{med}(M) \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 4 Caudal Máximo (l/s)}$$

Donde

Q_{max} = Caudal maximo

Q_{med} = Caudal medio

M= Coeficiente de Harmon

2.3.4 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

En las plantas de tratamiento las dimensiones globales son un elemento significativo especialmente para los tanques, ya que deben cumplir con la profundidad normada, ya que en función de estas se determina la cantidad de agua residual a tratar, por la planeación general de la planta de tratamiento y el tipo de equipo. Las ecuaciones para establecer los parámetros de diseño para las unidades de tratamiento se presentan a continuación.

2.3.4.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR

Para el desarrollo del tratamiento preliminar se efectúa el cálculo de la velocidad del agua de flujo máximo para la colocación del cribado esto se realiza aplicando la ecuación 5:

$$V = \frac{\left(\frac{B+S}{S}\right)F}{WD} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 5 Velocidad del agua a flujo máximo}$$

(m/s)

Donde:

B= Ancho de las barras (mm)

S= Claro libre de las barras (mm)

F= Caudal máximo (m³ /s)

W= Ancho de la criba (m)

D= Profundidad máx. del agua (m)

Para el diseño del desarenador se determinará el tiempo de retención y la velocidad horizontal del agua aplicando las ecuaciones 6 y 7:

$$t_r = \frac{WLh}{Q_{canal}} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 6 Tiempo de retención (s)}$$

$$Vd = \frac{Q_{canal}}{Wh} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 7 Velocidad horizontal del agua (m/s)}$$

Donde:

W= Ancho de cada canal (m)

L= Longitud de cada canal (m)

h= Altura máxima (m)

Q_{canal} = Caudal máx. por canal (m³ /s)

Los desarenadores se deben diseñar de modo que la velocidad pueda ser controlada para aproximarse a 0,3 m/s. El tiempo de retención varía de 45 a 90 s en función del tamaño de las partículas que deben separarse.

Para el análisis de los Tanques de sedimentación tanto en el tratamiento primario como secundario se procede a partir de la determinación de los siguientes parámetros de análisis:

- El tiempo de retención: tiempo en horas que se estancan las aguas residuales en el depósito, presumiendo un desplazamiento total y un flujo uniforme (Ecuación 8).

- La carga hidráulica superficial a caudal medio y caudal máximo este factor va a definir el porcentaje de eliminación de sólidos sedimentables y la DBO (Ecuación 9 y 10).

$$tr = \frac{V(24)}{Q_{media}(86.4)} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 8 Tiempo de retención (hr)}$$

$$CHS = \frac{Q_{media}(86.4)}{A} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 9 Carga Hidráulica Superficial para } Q_{media} \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{d)}$$

$$CHS = \frac{Q_{max}(86.4)}{A} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 10 Carga Hidráulica para } Q_{max} \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{d)}$$

$$A = \frac{Q}{v} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 11 Área de la sección Hidráulica}$$

Donde:

V= Volumen (m³)

A= sección hidráulica (m²)

Q med = Caudal medio (L/s)

Q max = Caudal máximo (L/s)

Q= caudal de diseño (m³/s)

v= Velocidad del flujo (m/s)

Cuando se consideran sedimentadores secundarios por el proceso de recirculación se debe emplear la ecuación 11.

$$CHS = \frac{[Q_{med}(\frac{R}{Q}) + Q_{med}](86.4)}{A} \text{ (Robles M. M., 2018) Ecuación 12 Carga Hidráulica superficial para } Q_{med} \text{ con recirculación (m}^3\text{/m}^2\text{d)}$$

Donde:

R/Q= Recirculación

Q_{med} = Caudal medio (l/s)

A= Área sección hidráulica (m²)

2.3.4.2 TRATAMIENTO PRIMARIO.

Para el desarrollo del tratamiento primario se deben determinar los factores de diseño para la colocación de los filtros percoladores aplicando las siguientes expresiones de cálculo:

$$CHS = \frac{[Q_{med} (1 + \frac{R}{Q})]}{\frac{No.de\ trenes}{(\pi D)^{2/4}}} COV \quad (Robles\ M.\ M.,\ 2018)\ Ecuación\ 13\ Carga\ Hidráulica$$

Superficial

$$COV = \frac{0.0864 [Q_{med} (1 + \frac{R}{Q})] DBO_{entrada}}{V} \quad (Robles\ M.\ M.,\ 2018)\ Ecuación\ 14\ Carga$$

Orgánica por Volumen (kg/m³d)

$$DBO_{entrada} = \frac{DBO_{inf} + [DBO_{ef} (\frac{R}{Q})]}{1 + \frac{R}{Q}} \quad (Robles\ M.\ M.,\ 2018)\ Ecuación\ 15\ DBO\ entrada$$

del biofiltro (mg/L)

Donde:

D= Diámetro (m)

R/Q= Recirculación

Q_{med} = Caudal medio (l/s)

V= Volumen (m³)

DBO entrada =DBO entrada del biofiltro (mg/L)

DBO Inf =DBO en el influente con pretratamiento (mg/L)

DBO Ef =DBO en el efluente del biofiltro (mg/L)

Lodos Activados

Para el análisis del proceso de lodos activados es necesario la discretización de 5 parámetros de estudio

1. La edad de lodos, periodo de tiempo medio en días que se encuentra sometida a aireación una partícula de solidos suspendidos (Ecuación 16).
2. La relación F/M es un factor que relaciona la velocidad de crecimiento de los microorganismos en función del volumen de comida disponible (Ecuación 17).
3. La carga orgánica volumétrica se refiere a la factibilidad de procesar mayores volúmenes de agua residual por unidad de volumen disponible en el reactor (Ecuación 18).
4. El tiempo de retención en horas, cuando se asume un desplazamiento total y un flujo constante (Ecuación 19).
5. Los requerimientos de aire determinado por la relación entre el aire necesario para la transferencia de oxígeno y el requerido para el mezclado.

$$Carga\ Orgánica_{inf} = BDO_{inf}(Q_{med})(0.864) \quad (Robles\ M.\ M.,\ 2018)\ Ecuación\ 16$$

Carga orgánica influyente (kg/d)

$$Edad\ de\ lodos = \frac{V\left(\frac{SSLM}{1000}\right)}{Y(Carga\ Orgánica_{inf})} \quad (Robles\ M.\ M.,\ 2018)\ Ecuación\ 17$$

Edad de lodos (días)

$$Relación\ F/M = \frac{Carga\ Orgánica_{inf}}{V\left(\frac{SSLM}{1000}\right)} \quad (Robles\ M.\ M.,\ 2018)\ Ecuación\ 18$$

Relación F/M (kg DBO5/d /kg SSVLM)

$$Carga\ Orgánica\ volumétrica = \frac{Carga\ Orgánica_{inf}}{V} \quad (Robles\ M.\ M.,\ 2018)\ Ecuación\ 19$$

Carga Orgánica Volumétrica (kg/m3d)

$$tr = \frac{V}{\left[\left(Q_{max} + \left(Q_{med} \frac{R}{Q} \right) \right)^{86.4} \right]^{24}} \quad (\text{Robles M. M., 2018}) \text{ Ecuación 20 Tiempo de}$$

retención (h)

Dónde:

Q med = Caudal medio (L/s)

DBO Inf=DBO del influente (mg/L)

V= Volumen (m³)

SSLM= Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado (3000 mg/L)

Y= Relación de producción de lodos (kg SST/kg DBO₅)

R/Q= Recirculación

Q max = Caudal máximo (L/s)

Cloración

En las unidades de tratamiento de aguas residuales el sitio de vertido del cloro debe encontrarse en un sitio donde este producto pueda mezclarse de manera rápida y uniforme en la corriente de agua y se pueda contener por un tiempo mínimo de 30 minutos, previo a la descarga en la fuente receptora.

$$tr = \frac{V}{Q_{med} \times 86.4 \times 24} \quad (\text{Robles M. M., 2018}) \text{ Ecuación 21 Tiempo de retención (min)}$$

Donde:

Q med = Caudal medio (l/s)

V= Volumen (m³)

Tratamiento de Lodos

Para el correcto funcionamiento del digestor es necesario tener en cuenta la carga volumétrica de los lodos y el tiempo de retención, para este análisis además se requiere la producción de lodos generada en la planta. Las formulaciones necesarias para el desarrollo de estos cálculos se expresan a continuación:

$$\text{Masa de DBO removida} = Q_{med}(DBO_{inf} - DBO_{ef})0.0864 \quad (\text{Robles M. M., 2018})$$

Ecuación 22 Masa de DBO removida (kg/d)

$$\text{Masa de lodo Seco} = \text{Masa de DBOrem}(\text{Rel. producción de lodo}) \quad (\text{Robles M. M., 2018})$$

Ecuación 23 Masa de Lodo Seco (kg/d)

$$\text{Masa de sólidos Totales} = \text{Masa de lodo seco}(\text{No. de corrientes}) \quad (\text{Robles M. M., 2018})$$

Ecuación 24 Masa de Sólidos Totales (kg/d)

$$V_{Lodos} = \frac{\text{Masa de Sólidos Totales}}{10} \quad (\text{Robles M. M., 2018})$$

Ecuación 25 Volumen de lodos (m³/d)

$$t_r = \frac{V_{Tanque}}{V_{Lodos}} \quad (\text{Robles M. M., 2018})$$

Ecuación 26 Tiempo de Retención (hr)

$$\text{Carga Volumétrica de líquidos} = \frac{\text{Masa de sólidos totales}}{V_{Tanque}} \quad (\text{Robles M. M., 2018})$$

Ecuación 27 Carga Volumétrica de líquidos (kg/m³d)

Donde:

Q med = Caudal medio (L/s)

DBO Inf=DBO del influente (mg/L)

DBO Ef=DBO del efluente (mg/L)

V tanque = Volumen de tanque (m³)

Cuando se requiere determinar el área necesaria para la ubicación de los lechos de secado se debe conocer la producción de sólidos totales

$$A = \frac{\text{Masa de lodos} \times 365}{\text{Carga de sólidos}} \quad \text{Ecuación 28. Área requerida (m}^2\text{)}$$

Dónde:

Carga de Sólidos= 136.7 kg/m² año (CONAGUA)

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LAS PTAR

De las plantas de tratamiento ubicadas en el sector noroccidental de Quito que se encuentran en explotación fueron seleccionadas para realizar la investigación 3, estas brindan servicio a núcleos poblacionales de 500 a 10000 habitantes. Estas presentan diferentes distribuciones estructurales y espaciales. Para el proceso de evaluación se aplicó la guía propuesta en el epígrafe 2.3.2 y las normas vigentes para los casos de estudio.

3.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INGAPI

Se encuentra ubicada en el barrio Ingapi, al sureste de la parroquia de Pacto del cantón Quito, administrativamente este barrio pertenece a la Administración Zonal La Delicia, la tabla siguiente muestra detalles de la ubicación de la planta.

Tabla 3

Planta INGAPI

Aspecto Físico	Descripción
Ubicación	Extremo noroccidental del DMQ, Pichincha, Ecuador, América del Sur.
Límites	Norte: Parroquia García Moreno, Provincia de Imbabura Sur: Cantón San Miguel de los Bancos y Parroquia Gualea Este: Parroquia Gualea Oeste: Cantón Pedro Vicente Maldonado
Superficie	800 m ²
Microcuencas	Ingapi y Chulupe (9.25 hectáreas)

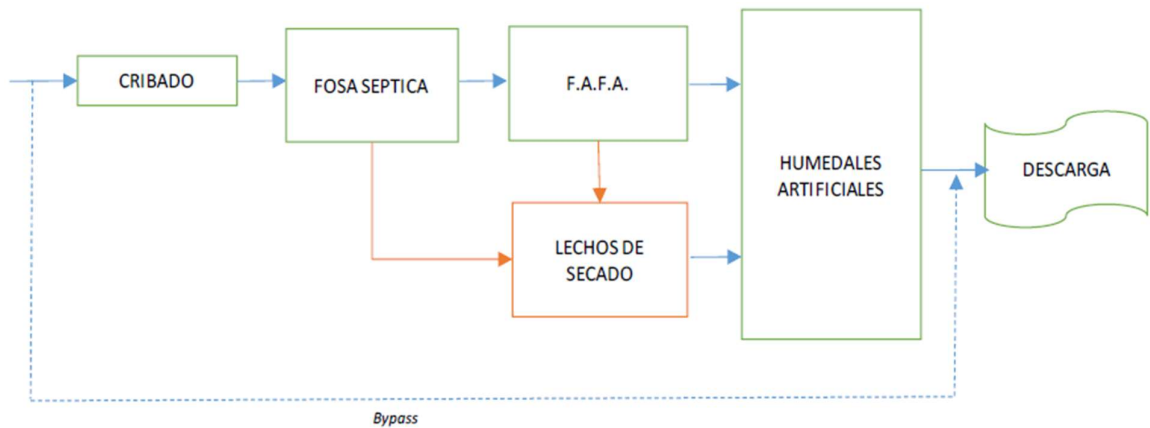
Nota: Elaboración propia

Procedimiento para el Tratamiento de las Aguas Residuales en la planta Ingapi

El proceso comienza a partir de la toma del agua del canal de descarga, y su bombeo a las s unidades de rejillas y después se bombea el agua al resto del proceso, en el flujograma de la figura 5, se muestra la composición del ciclo. El diseño de la planta se encuentra constituido para que el tratamiento conste en la desinfección del agua con hipoclorito de calcio en el tanque de reserva con una tubería de asbesto cemento de 2 pulgadas de diámetro y 600 m de longitud; además con tubería de PVC de 63 mm en una longitud de 1000 m, presentando inicialmente 65 conexiones domiciliarias de ellas 56 tienen medidor. El caudal de tratamiento se ha determinado que es de 2,07 litros por segundo (l/s) (178.8 m³, de los cuales 1,00 litros por segundo (l/s) corresponde al caudal sanitario y 1,07 litros por segundo (l/s) a aguas de infiltración). Considerando el aporte diario de DBO₅ la concentración resultante es de 226,6 miligramo por litro (mg/l). El sistema de tratamiento seleccionado es un canal de oxidación, ya que es un sistema de lodos activados en la modalidad de aireación extendida, y se requiere poco espacio, tiene una alta eficiencia comprobada, bajo consumo energético y sus operaciones son relativamente sencillas.

Figura 5

Flujograma de la PTAR Ingapi



Nota: Elaboración propia

El sistema de tratamiento de aguas residuales está comprendido por las siguientes unidades:

- Cajón de ingreso y rejilla para la retención de material flotante y sólidos gruesos.
- Fosa séptica para eliminación de sólidos gruesos y finos sedimentables por el proceso de decantación. La remoción de sólidos implica la remoción de DBO.
- Filtro biológico anaerobio para remover sólidos suspendidos y DBO por los procesos de intercepción y adsorción en la película biológica que se forma en la superficie del material filtrante.
- Humedales artificiales para remover sólidos suspendidos, DBO y coliformes totales en base a la utilización de plantas acuáticas que se multiplican, absorbiendo los nutrientes y/o contaminantes, favoreciendo la restauración de la calidad después de un tiempo de retención hidráulica.

- Lechos de secado de lodos para el manejo adecuado de los lodos provenientes del tratamiento primario y secundario.

En sentido de flujo el tratamiento propuesto comprende:

- Un canal de ingreso con rejilla
- Una fosa séptica
- Un filtro biológico anaerobio
- Humedales artificiales
- Lechos de secado de lodos.

La densidad poblacional registrada en la localidad de Ingapi en el año 2012 era de 57 habitantes por hectáreas, en la tabla 4 se presenta la proyección de este factor hasta el 2024; para el 2037 se espera que este factor se incremente hasta los 73 habitantes por hectáreas.

Tabla 4

Proyección de la población del barrio Ingapi

Período	Año	Población	Período	Año	Población
0	2012	525	13	2025	597
1	2013	530	14	2026	603
2	2014	536	15	2027	610
3	2015	541	16	2028	616
4	2016	546	17	2029	622
5	2017	552	18	2030	628
6	2018	557	19	2031	634
7	2019	563	20	2032	641
8	2020	568	21	2033	647
9	2021	574	22	2034	653
10	2022	580	23	2035	660
11	2023	586	24	2036	667
12	2024	592	25	2037	673

Nota: Elaboración Propia.

Para el diseño de la PTAR además de la población a la cual le brindaría servicio se consideraron diversas informaciones que se requieren para desarrollar el

proyecto según las formulaciones establecidas en los apartados 2.3.3 y 2.3.4, en la tabla 5 se presentan los parámetros considerados

Tabla 5

Parámetros considerados en el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para el barrio Ingapi.

Parámetros de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
Área de servicio	A	Ha.	9.25
Población servida actual	Po	Hab.	525
Población servida futura	Pf	Hab.	673
Consumo per cápita de agua potable	D	l/(hab*día)	120
Aporte per cápita de aguas residuales: D*0.70	q	l/(hab*día)	84
Caudal medio de aguas residuales: q*Pf / 86400	Qm.a.s.	l/s	0.65
Caudal de infiltración: 0.1*A	Qinf.	l/s	0.93
Caudal de diseño: Qm.a.s. + Qinf.	Qdis.	l/s	1.58
Concentración de la DBO	DBO	g/(hab*día)	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO*Pf/Qdis	DBO	mg/l	197.29
Concentración de SST	SST	g/(hab*día)	85
Sólidos suspendidos totales: SST*Pf/Qdis	SST	mg/l	419.23
Concentración de coliformes fecales	CF	CF/100ml	1.1 E+7

Nota: El consultor, Agosto del 2012.

En la tabla 6 se presentan los resultados de la composición del agua residual que ingresa a la PTAR de Ingapi. En la tabla 7 se presentan los datos concernientes a la composición del agua que se encuentra en la quebrada y el sistema de alcantarillado de este barrio. La calidad media del efluente final obtenido con este tipo de tratamiento será:

- DBO: 5.0 mg/l
- SST: 3.6 mg/l
- Coliformes fecales: 1.1 E+02 CF/100ml

Tabla 6

Concentraciones medias de DBO, SST y Coliformes del agua residual

Concepto	Símbolo	Unidad	Ingapi	Mashpi	Sta. Rosa
Población aportante	P	hab	300	6	2
Caudal aforado	Q	l/s	1.28	0.05	0.05
Demanda bioquímica de oxígeno medio	DBO	mg/l	94.00	68.00	10.00
Concentración de DBO	DBO	g/(hab*día)	34.65	48.96	21.60
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	226.00	236.00	130.00
Concentración de SST	SST	g/(hab*día)	83.31	169.92	280.80
Concentración de coliformes fecales	CF	CF/100 ml	1.10E+07	2.25E+03	4.50E+02

Nota: El consultor, Agosto 2012.

Tabla 7*Características físicas, químicas y bacteriológicas del agua*

Parámetro	Unidad	M1: Descarga alcantarillado Ingapi	M2: Qda. s/n, 10 m abajo de descarga	M3: Qda. s/n, 5 m arriba de descarga
Temperatura	°C	21	21	21
PH	Unidades	6.6	6.72	6.93
Sólidos Totales	mg/l	226	220	185
Oxígeno Disuelto	mg/l	3.3	4.2	7.5
DBO5	mg/l	94	13	0
DQO	mg/l	252	32	3
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1.1 E7	1.1 E5	460
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1.1 E6	1.1 E3	290

Nota: Análisis de Aguas Residuales, Junio 2012

3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES BELLAVISTA

Se encuentra ubicada en el barrio de Lñaquito al nor-orienté de la ciudad de Quito en el sector de "El Batán", en la zona 0.4 Norte, cubre un área de 1.48Ha.

Procedimiento para el tratamiento de aguas residuales en la planta Bellavista

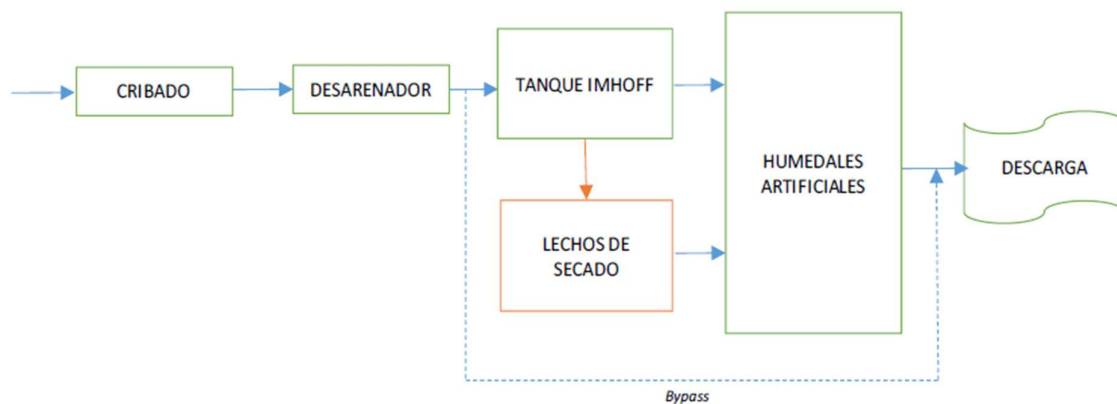
Esta planta es abastecida por los afluentes de Papallacta, Rio Blanco y Salve Facha, procesando un caudal medio anual de 2 300 L/s de agua. En la planta se utiliza agitadores mecánicos, los que contribuyen a que haya buen mezclado y el líquido pase al proceso de floculación. En este proceso la planta cuenta con floculadores, cuyo trabajo es mezclar el agua, para que las partículas estén en movimiento y se puedan reunir unas con otras para formar floculos cada vez más grandes. Posteriormente se procede al filtrado donde se cuenta con compuestos de disímiles tipos de arena y grava, después de este paso se procede a la desinfección, donde se cuenta con dosificadores automáticos de cloro gas, que agregan el producto al agua tratada.

En el diseño definitivo del sistema de tratamiento para Bellavista se utiliza la secuencia siguiente (figura 6):

- Reja: la rejilla de cribado es para la detención del material flotante que se presenta en la corriente
- Desarenador: es implementado para la remoción de arenas, arcillas, gravas y material orgánico de mediano tamaño.
- Sedimentador primario: es utilizado para la eliminación de los sólidos suspendidos
- Pantano artificial: permite remover sólidos suspendidos, DBO y coliformes totales en base a la utilización de plantas acuáticas
- Lecho de secado de lodos: para la administración de los lodos provenientes del tratamiento.
- Desinfección: proceso de adición químicos para la eliminación de microorganismos.

Figura 6

Flujograma de la PTAR Bellavista



Nota: Elaboración propia

La densidad poblacional que presta servicio la planta de bellavista se presenta en la tabla 8 y en la tabla 9 se presentan las densidades por áreas.

Tabla 8

Proyección de la población con la tasa Ríos Orientales

Año	Gualea	Bellavista	Observaciones
2011	264	127	Población actual
2012	265	127	
2017	272	131	
2022	278	134	
2027	266	137	
2032	294	141	
2037	301	144	
2041	306	147	Población futura

Nota: Elaboración propia

Tabla 9

Áreas y densidades actuales y futuras (años 2011-2041)

Población	Área Ha.	Densidad 2011 Hab/ha	Densidad 2041 Hab/ha	Población 2011 Hab.	Población 2041 Hab.
Bellavista	1,48	85.81	99.32	127	147

Nota: El consultor, Agosto 2012

En la tabla 10 se presenta la composición del agua procedente de la planta de tratamiento.

Tabla 10

Caracterización del agua de Bellavista

Parámetro	Promedio	Unidad
Temperatura	13,66	C
pH	6,96	
Sólidos totales	0,047	g
Solidos Sedimentables	0,179	mL/L
A y G	0	mg/L
DQO	19,75	mg/L
Arsénico	1,87	mg/L
Cadmio	<0,01	mg/L
Cromo	0,104	mg/L
Plomo	<0,05	mg/L
Mercurio	<0,005	mg/L
Níquel	<0,02	mg/L
Zinc	0,073	mg/L
Aluminio	134	mg/L
Sulfato	16,1	mg/L
Coliformes	0	

Nota: (CORDOVA, 2019)

3.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANOPE

La planta de tratamiento se encuentra ubicada en las proximidades del arroyo “Rio Anope”, perteneciente a la parroquia El Pacto al noroccidente del distrito. Presenta una altitud de 705 metros sobre el nivel del mar con un área útil de 850m².

Procedimiento para el tratamiento de aguas residuales en la planta Anope

Se realiza el Pre Tratamiento, donde se eliminan los sólidos gruesos y finos, elementos flotantes, aceites, grasas y arenas. Posteriormente se realiza el Tratamiento Biológico que se lo conoce como lodos activados. Antes de la descarga a ríos y quebradas el agua pasa por el Tratamiento Terciario que consiste en la microfiltración y posterior desinfección. Todos estos procesos físicos y

biológicos dan como resultado la recuperación del agua. El sistema de tratamiento de aguas residuales en sentido de flujo está compuesto por (ver figura 7):

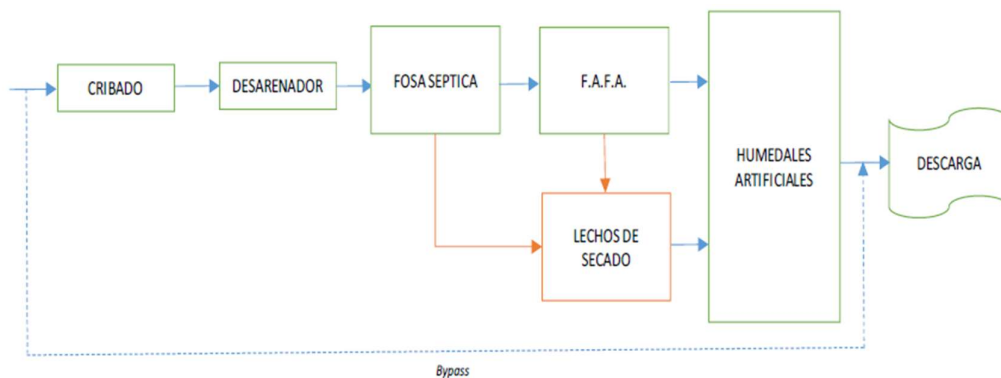
- Canal de ingreso con rejilla
- Desarenador
- Una fosa séptica
- Un filtro biológico anaerobio
- Dos humedales artificiales
- Dos lechos de secado de lodos.

La calidad media del efluente final obtenido con este tipo de tratamiento será:

- DBO: 5.00 mg/l
- SST: 5.28 mg/l
- Coliformes fecales: 1.1 E+02 CF/100ml

Figura 7

Flujograma de la PTAR Anope



Nota: Elaboración Propia.

La densidad poblacional que presentaba esta localidad en el 2012, era de 92 habitantes por hectáreas, en este momento se cuenta con un incremento aproximado de 122 habitantes por hectáreas y se prevé que para el año 2037 se

incremente hasta 141 habitantes por hectáreas. La proyección de la población de esta localidad se presenta en la tabla 11.

Tabla 11

Proyección de la Población del Barrio Río Anope

Periodo	Año	Población	Periodo	Año	Población
0	2012	110	13	2025	125
1	2013	111	14	2026	126
2	2014	112	15	2027	128
3	2015	113	16	2028	129
4	2016	114	17	2029	130
5	2017	116	18	2030	132
6	2018	117	19	2031	133
7	2019	118	20	2032	134
8	2020	119	21	2033	136
9	2021	120	22	2034	137
10	2022	122	23	2035	138
11	2023	123	24	2036	140
12	2024	124	25	2037	141

Nota: Elaboración propia

Para el diseño de la estructura de la planta de tratamiento de aguas residuales se estudió la composición física química y biológica del agua donde se determinó a partir de los resultados expresados en las tablas 12 y 13 que para esta consultoría se toman los siguientes valores:

- DBO: 40 g/(hab*día)
- SST: 85 g/(hab*día)
- Coliformes fecales: 1.1 E+07 CF/100ml

Tabla 12

Características físicas, químicas y bacteriológicas del agua de la Quebrada prevista para descarga de alcantarillado del barrio Río Anope.

Parámetro	Unidad	Mi: Qda. s/n prevista para descarga de alcantarillado
Temperatura	°C	20
pH	Unidades	6.54
Sólidos Totales	mg/l	130
Oxígeno disuelto	mg/l	6.5
DBO5	mg/l	1.0
DQO	mg/l	5.0
Coliformes Totales	NMP/100ml	< 2
Coliformes Fecales	NMP/100ml	< 2

Nota: El consultor, Agosto 2012

Tabla 13

Concentraciones medias de DBO, SST y Coliformes del agua residual en la zona del estudio

Concepto	Símbolo	Unidad	Ingapi	Mashpi	Sta. Rosa
Población aportante	P	hab	300	6	2
Caudal aforado	Q	l/s	1.28	0.05	0.05
Demanda bioquímica de oxígeno medio	DBO	mq/l	94.00	68.00	10.00
Concentración de DBO	DBO	g/(hab*día)	34.65	48.96	21.60
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	226.00	236.00	130.00
Concentración de SST	SST	g/(hab*día)	83.31	169.92	280.80
Concentración de coliformes fecales	CF	Cf/100ml	1.10E+07	2.25E+0.3	450E+02

Nota: El consultor, Agosto 2012

3.4 ANÁLISIS DEL PORCIENTO DE REMOCIÓN Y LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se realizará un análisis del agua resultante del tratamiento generado en las plantas de tratamiento en un periodo de un año, estos valores se compararán con los establecidos en las normativas vigentes. Se realizará un análisis en función del promedio de remoción y la eficiencia (tabla 14 y 15) para cada una de las plantas

y se compararan con los indicadores establecidos en la tabla 2: Límites de descarga en cuerpos de agua dulce, del apartado 2.2.7 referente al Acuerdo Ministerial 097.

Tabla 14

Promedio de Remoción

Parámetros de análisis	ANOPE	INGAPI	BELLAVISTA	INDICADOR
Aceites y grasas (mg/l)	82,71	18,70	42,20	30
Nitrógeno total Kjeldahl NTK (mg/l)	50,30	6,58	15,85	50
DBO5	415,27	185,33	169,08	100
DQO	838,27	324,09	359,33	250
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	29,80	0,00	4,52	30
Sólidos Totales (ST) (mg/l)	1064,00	214,00	316,00	1600
Tensoactivos (mg/l)	5,21	0,00	2,27	0,5
Fósforo total (mg/l)	9,64	0,00	2,45	10

Nota: Elaboración propia

Tabla 15

Eficiencia del proceso de remoción

Eficiencia de proceso	ANOPE	INGAPI	BELLAVISTA
Aceites y grasas (mg/l)	81,37%	65,52%	88,40%
Nitrógeno total Kjeldahl NTK (mg/l)	60,42%	12,44%	37,07%
DBO5	91,29%	86,55%	80,41%
DQO	86,40%	72,96%	76,50%
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	44,98%	0,00%	19,60%
Sólidos Totales (ST) (mg/l)	78,72%	42,16%	55,30%
Tensoactivos (mg/l)	70,76%	0,00%	59,11%
Fósforo total (mg/l)	55,10%	0,00%	43,38%

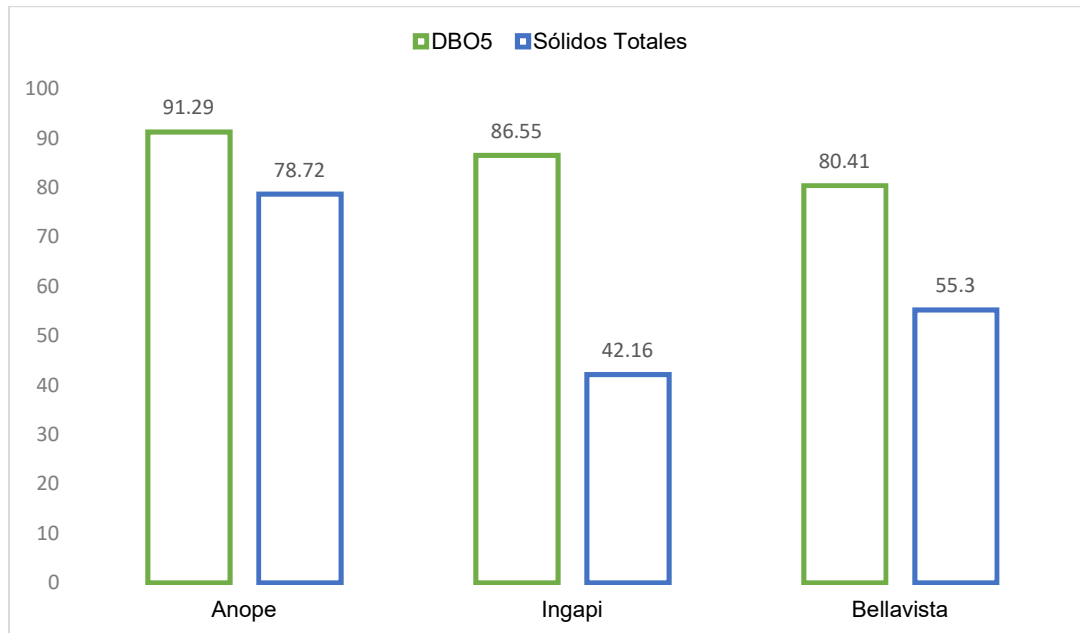
Nota: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de la calidad de agua lograda, se observa que no se cumplen con la normatividad vigente. Por lo que resulta necesario evaluar la eficiencia de operación en cuanto a los parámetros de DBO5 y Sólidos Totales, para este tipo de tratamiento, deben ser superiores a 90%. Como se puede observar en la figura 8, este porcentaje de remoción solo lo cumple la planta Anope

para en caso de la demanda bioquímica de oxígeno; el resto de las entidades presentan una eficiencia de remoción moderada.

Figura 8

Porcentaje de remoción de DBO y Sólidos totales



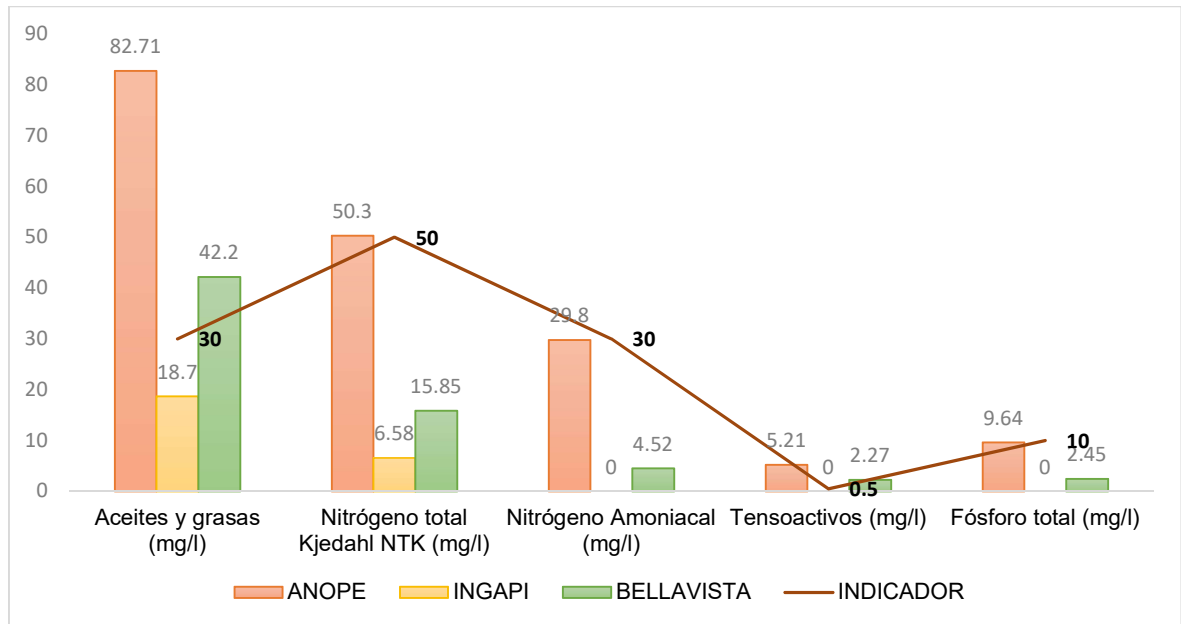
Nota: Elaboración Propia

Los resultados de los análisis del agua residual, que procede de las diferentes PTAR no cumple con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana, la comparación de los parámetros de estudio se presenta en las gráficas de las figuras 9 y 10. Estos resultados son debido a que el tiempo de retención de los filtros es muy corto, además de no llevarse a cabo el proceso de desinfección del efluente correctamente y de no realizar el mantenimiento pertinente de las unidades de tratamiento. La calidad de agua residual que es recibida por las diferentes plantas de tratamiento presenta altas concentraciones de sólidos, DBO y DQO. Después de realizado el proceso de purificación se exhiben remociones de moderadas a bajas, lo cual indica que el agua tratada sale

con concentraciones que aún no cumplen con la normativa ecuatoriana para descargas de agua en cuerpos de agua dulce.

Figura 9

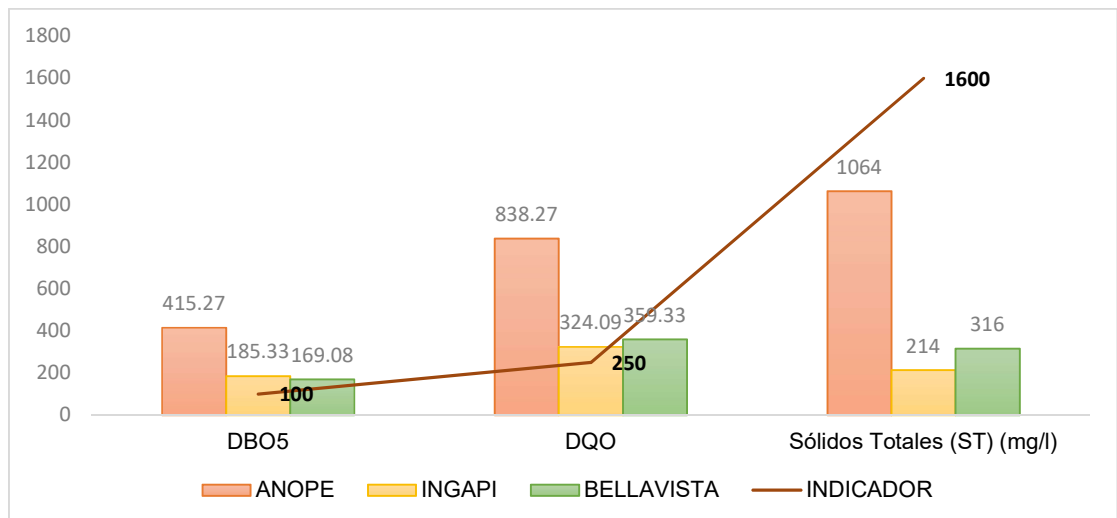
Parámetros de análisis del agua procedente de la PTAR



Nota: Elaboración Propia

Figura 10

Parámetros de análisis del agua procedente de la PTAR (continuación)



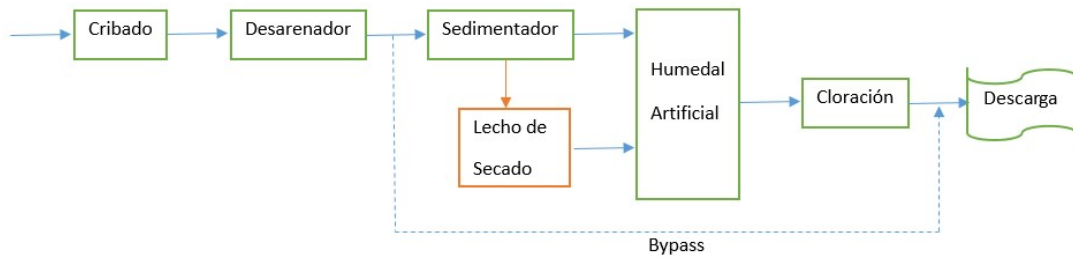
Nota: Elaboración Propia

3.5 DISEÑO ESTÁNDAR DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para el diseño no se tomó en consideración el área de implementación de la planta ya que es un diseño estandarizado, sin limitaciones de área. En la figura 11 se presenta el flujograma de la estructura establecida para el diseño en ella se considera la ubicación del cribado, desarenador, sedimentador, humedal artificial, cloración y descarga. Para el diseño de la planta nos auxiliamos de la hoja de cálculo Excel donde se programó las formulaciones requeridas para la realización del diseño estándar de la PTAR; se consideraron los parámetros base según lo establecido en las normas vigentes como se presenta en las siguientes tablas (16 a la 21); en las figuras de la 10 a la 15 se representan los esquemas de diseño de los resultados obtenidos.

Figura 11

Flujograma de la PTAR



Nota: Elaboración Propia

Tabla 16

Datos Preliminares

Diseño de plantas de tratamiento de agua residual

Diseño estándar		
Población proyecto	1000	Hab
Clima	Templado	
Dotación	15	
Caudal (red alcantarillada)	0,0001736	M3/s
Caudal (0.8)	0,0001389	M3/s

Nota: Elaboración Propia

Tabla 17

Pretratamiento

Determinación de la rejilla				
Cálculo de las barras				
Ancho total	0,5	M		
Grosor barra	0,0064	M		
Ancho barra	0,0254	M		
Espacios	15,9245283	Por tanto	16	Espacios
Barras	15			
Comprobando				
	Base	0,5024	M	
	Reajustar base a	0,5	M	
Pérdidas por fricción				
B	2,42			
E	9,81		Hv	0,003185525
Velocidad	0,25	M/s	Hf	0,002332848
Θ	45		Hf<0.15?	Correcto
Revisión de hf obstruida al 50%				
Velocidad	0,25	M/s		
Velocidad proyecto	0,0002	M/s	Hf	0,003185522
Caudal	0,00017	M3/s		
Área	0,7408	M2		
Cálculo de la longitud				
Longitud de entrada	5	M		
Longitud de salida	4	M		

Longitud total		9	M
Ubicación y longitud de la rejilla			
Altura	0,95		M
Borde libre	0,2		M
Altura total	1,15		M
Longitud	1,626345597		M
Rugosidad	0,013		
Área	0,475		M2
Perímetro	2,4		M
Radio hidráulico	0,197916667		M
Pendiente	9,1578e-05		
H	0,0008242		Mm
Cálculo de la basura			
Basura	0,00036		M3/día

Nota: Elaboración Propia

Tabla 18

Pretratamiento desarenador

Cálculo del desarenador		
Caudal	0,000173611	M3/s
Caudal de diseño	0,000138889	M3/s
Proponiendo velocidad	0,25	M/s
Área del canal	0,000555556	M2
Proponiendo base canal	0,023570226	M
Base de canal	0,25	M
Proponiendo tirante	0,002222222	M
Tirante	0,2	M
Proponiendo bordo libre	0,04	M
Bordo libre	0,05	M

Nota: Elaboración Propia

Tabla 19*Tratamiento Primario*

Cálculo de tanque sedimentador		
Caudal diseño	0,000138889	M3/s
Dbo	180	Mg/lt
Velocidad	0,25	M/s
Tiempo	3600	Seg
Volumen del tanque		
Volumen del tanque	0,5	M3
Área superficial	0,320512821	M2
Tirante	1,56	M
Diámetro	0,638818908	M
Cálculo de volumen de lodos		
DBO	0,18	Kg/m3
Rugosidad	0,52	
Caudal	0,000138889	M3/s
Densidad del agua	1000	Kg/m3
Gravedad esp. De lodos	1,03	M/s2
Porcentaje de solidos	0,06	%
Masa de solidos	1,1232	Kg/día
Volumen de solidos	0,018174757	M3
Tirante de lodo	0,056705243	M
Altura de la rastra	0,025552756	M
Altura del tanque	3,145552756	M
Potencia del motor	0,003446374	Hp

Nota: Elaboración Propia

Tabla 20*Tratamiento secundario*

Humedales ssf				
Cálculo de constante de temperatura				
Kt	0,959919904			
Cálculo de área superficial				
Q	27			
Ce	209,02	Ln ce	5,34242994	1,24808538
Co	60	Ln co	4,09434456	
N	0,35			
H	0,6			
Área superficial	167,1682393	M2		

Cálculo de retención hidráulica		
Tiempo	1,300197417	Días
Cálculo de largo y ancho		
Ancho	11,33956251	M
Largo	14,74203604	M
Cálculo del gradiente hidráulico		
S	0,000406999	
Área transversal del humedal		
Ac	6,803737508	M2
Ac	6,803737508	M2

Nota: Elaboración Propia

Tabla 21

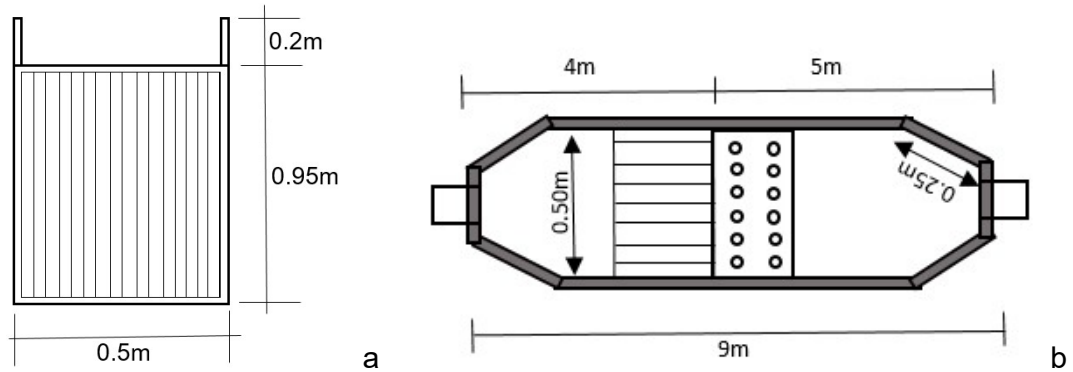
Tratamiento Terciario

Cloración				
Caudal	0,00017361	M3/s	0,625	M3/h
Eficiencia	99,8	%		
Tiempo de retención	1800	Seg		
Volumen				
Volumen	0,3125	M3		
Proponiendo altura				
Proponiendo altura	2	M		
Área superficial				
Área superficial	0,15625	M2		
Dimensiones				
Ancho	0,22821773	M		
Largo	0,6846532	M		
Proponiendo mamparas a cada 60cm				
Número de mamparas	1,14108866			
Proponiendo 6mg/lt de cloro				
Q	15	M3/día		
Q	0,09	Kg/día		
Consumo al mes	2,7	Kg/día		
Consumo al año	32,4	Kg/día		

Nota: Elaboración Propia

Figura 12

Rejilla



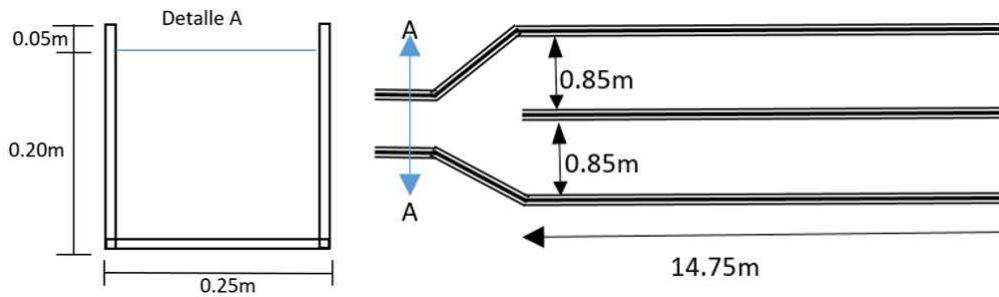
a- Detalle de rejilla

b- planta de rejilla

Nota: Elaboración Propia

Figura 13

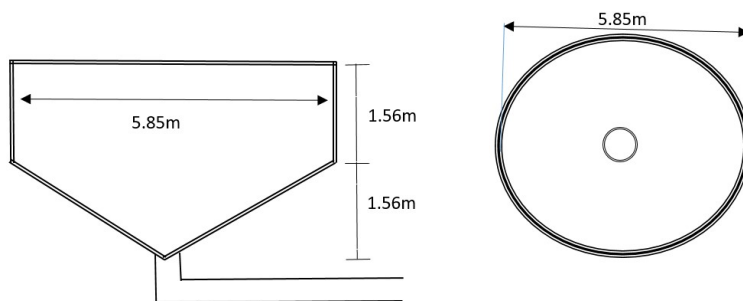
Desarenador



Nota: Elaboración Propia

Figura 14

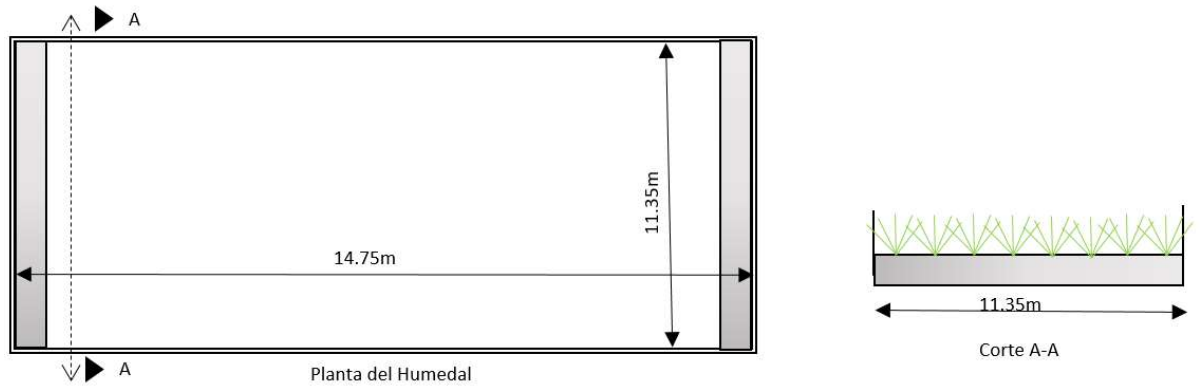
Sedimentador



Nota: Elaboración Propia

Figura 15

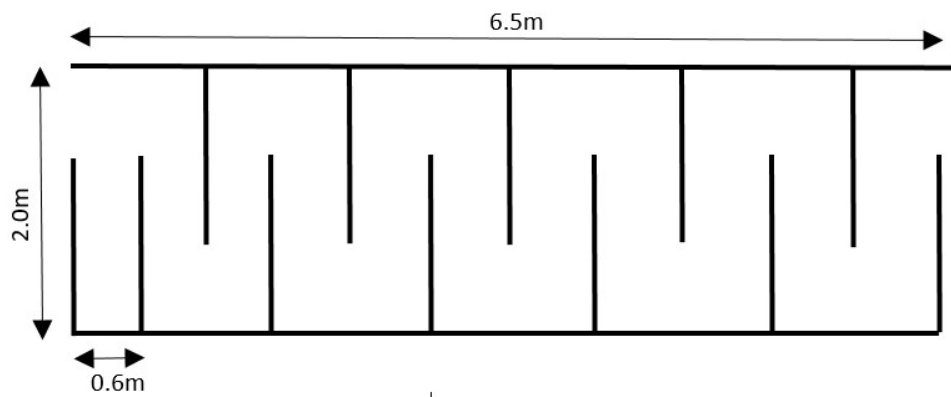
Humedal Artificial



Nota: Elaboración Propia

Figura 16

Cloración



Nota: Elaboración Propia

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se desarrolló el levantamiento de información de 3 plantas de tratamiento de aguas residuales de la zona noroccidental del Distrito Metropolitano de Quito que se encuentran en funcionamiento: Ingapi, Bellavista y Anope, a través del levantamiento de los datos generales e históricos del funcionamiento de las mismas.
- Se estudiaron los parámetros actuales de funcionamiento de las PTAR, donde se pudo evidenciar que estas no cumplen con el límite máximo de DQO, DBO₅ y sólidos totales para descargas en cuerpos de agua dulce según lo establecido en la norma ecuatoriana.
- Tomando como punto de partida el funcionamiento de las plantas estudiadas se definió una alternativa de diseño basada en lo que se plantea en la Guía de plantas de tratamiento de aguas residuales volúmenes dos y tres en los apéndices del 4 al 9, garantizando un funcionamiento básico de los aspectos técnicos, económicos y ambientales.
- Después de realizado un análisis de los diversos componentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentra en explotación en el sector noroccidental de Quito y su funcionamiento; se propone un diseño tipo estándar de planta de tratamiento de aguas servidas para poblaciones de bajo volumen de hasta 1000 personas, constituida por un proceso de pretratamiento, tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

- De la evaluación realizada se determina la importancia del mantenimiento y la buena operación que se tiene que realizar a las plantas de tratamiento, que es lo que determina mejores resultados en el funcionamiento de estas unidades de tratamiento de aguas servidas.
- El diseño planteado como resultado del análisis cumple con los parámetros de tratamiento y un desempeño eficiente y de bajo costo para poblaciones pequeñas de hasta 1000 habitantes.

4.2 RECOMENDACIONES

- Ampliar las investigaciones en cuanto al funcionamiento de las distintas plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran en el distrito metropolitano de Quito, de manera que sea posible definir el conjunto de elementos más eficaz para el tratamiento de aguas negras.
- Establecer dimensiones mínimas de áreas disponibles para la ubicación de las instalaciones con el fin de enmarcar el diseño de las estructuras.
- Se recomienda que se confeccionen propuestas mediante las instituciones competentes sobre la implementación de esta alternativa para su aplicación en zonas rurales.
- Se considera importante realizar un adecuado mantenimiento a las instalaciones de las unidades de tratamiento, ya que de esto depende el buen funcionamiento de las mismas y brindaría una extensión de la vida útil de las plantas de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ANDI, & Desarrollo, B. I. (1997). Manual de caracterización de aguas residuales industriales .

APHA. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater (22th ed.). Washington, DC: American Public Health Association.

Benítez, M. I. (2021). Manejo de las aguas residuales en el sector empresarial de Cienfuegos. *Ingeniería Hidráulica y ambiental*, 42(2). Recuperado el 4 de 5 de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S168003382021000200039

Chang, J. (2012). *Calidad del Agua*. Guayaquil. Obtenido de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad de Agua Unidad](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad)

Chiluiza, K. B. (2022). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia san andrés, cantón píllaro, provincia tungurahua. Ambato: universidad técnica de ambato.

Coral, K. (2013). *Control de la contaminación de aguas residuales*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Coral, K. (2013). *Control de la contaminación de aguas residuales*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Cordova, I. V. (2019). Caracterización e inertización de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua bellavista y puengasí, para su.

Cruz, H. (2019). Evaluación de macronutrientes y metales en los lodos residuales de la laguna de la estabilización secundaria de “El Espinar”- Puno. Universidad Nacional del Altiplano.

DAS. (2017). *Tratamiento de efluentes para la industria de cosmética*. Obtenido de <http://www.das-argentina.com.ar/tratamiento-efluentes-industria-cosmetica.html>

Díaz, E., Alavarado, A., & Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1), 78-97. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

DMQ. (2013). *Secretaria de Medioambiente DMQ*. Recuperado el 2022, de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjvnlSEkLjRAhXIDMAKHc9hD2EQFggYMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.quitoambiente.gob.ec%2Fambiente%2Findex.pA&url=http%3A%2F%2Fwww.quitoambiente.gob.ec%2Fambiente%2Findex.pA&>

Elías, X. (2012). *Reciclaje de residuos industriales. Residuos solidos urbanos y fangos de depuradora*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=8yWSZEbQSXgC&dq=fuerzas+de+atraccion+carbo>

Erazo, R., & Cárdenas, J. (2000). Planta de tratamiento de aguas residuales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 3(1). Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v03_n1/planta.htm

Fernández, L. S., Kulich, E. I., & Gutiérrez, C. M. (2018). Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador. *Revista Centro Azucar*.

Fuentes, R., Melgar, E., & Pineda, L. (2018). *Capítulo VI diseño de planta de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/021233/021233_Cap6.pdf

Gallego, M. (2006). Producción más limpia en la industria alimentaria .

Gómez, J. (2016). Caracterización y evaluación del tratamiento de agua y efluentes generados en el proceso de extracción de aceite de palma en la empresa palmar del río. Universidad internacional sek.

H. CONGRESO NACIONAL. (2004). *Ambito y principios de la gestion ambiental*. La comision de legislacion y codificacion.

Henríquez, f. J. (2020). Diseño y evaluación de un proceso de tratamiento de aguas servidas en base a celdas de combustible microbiológicas. Santiago de Chile: universidad de Chile.

Herrera, M. (2015). Diseño de la planta de tratamiento de agua potable para el sistema de riego. Universidad Internacional SEK.

HIDROTEC. (4 de mayo de 2021). *HIDROTEC*. Obtenido de Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas (Actualizado 2021): <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

Huallpara Lliully, L., Ormachea Muñoz, M., & García Moreno, M. E. (4 de octubre de 2017). Evaluación de la calidad de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas residuales de la ciudad de la paz, Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 104-111. Recuperado el 3 de marzo de 2022

IAGUA. (4 de mayo de 2022). *Club lagua* . Obtenido de La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana: <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana>

Iara, R., Soares, C., Suher, C., & Dione, M. (2011). *Tratamiento De Agua*. Tratamiento De Aguas. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>

INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Recuperado el 9 de abril de 2022, de http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=

López, C. H. (2022). Diseño de un plan de medidas de control para operaciones demantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales tipo Imhoff". UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.

Lozada, D. S. (2022). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia moraspungo, cantón,pangua, provincia de cotopaxi. Ambato: universidad técnica ambato.

MAE. (2009). *Plan de manejo del Refugio de Vida Silvestre y Marino Costero Pacoche*. Ministerio de Ambiente del Ecuador. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/11+PLAN+DE+MANEJO+P+ACOCHÉ.pdf/0f2534aa-bb52-4ca6-b4b2-9d63502c32dc>

MAE. (2015). Acuerdo Ministerial 097. Norma de calidad Ambiental y de descarga de Efluentes : Recurso Agua. Libro VI Anexo I. Recuperado el 2022

Martín, A., & Osés, M. (2013). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguasresiduales con el procesos de lodos activados. Tomo I*. Comision Estatal de Agua de Jalisco, Dirección de operaciones deplantas de tratamiento de aguas residuales., Jalisco. Obtenido de www.ceajalisco.gob.mx/publicaciones/pdf/plantas_tratam_tomo1.pdf

Mosquera, G. I. (2017). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria cosmética envapress cía. Ltda., a través de la

caracterización de los efluente para el cumplimiento ambiental dela normativa vigente. Quito.

Pacheco, V. (2011). *Aspectos biológicos de la calidad del agua*. In Ebook Sobre Tratamiento De Aguas.

Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Editorial Reverté, S.A.

Robles, B. (2019). Población y muestra. *Pueblo continente*, 30(1), 245-246.
doi:<http://doi.org/10.22497/PuebloCont.301.30121>

Robles, M. M. (2018). Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de méxico. Toluca, méxico: universidad autónoma.

Romero Rojas, J. (2013). *Tratamiento de aguas residuales-Teoria y principios de diseño*. Bogota: Escuela colombiana de ingenieria.

Roth. (2016). *Depuración de Aguas Residuales*. Obtenido de http://www.roth-spain.com/files/Tarifa-Catalogo_Roth_Depuracion_de_aguas_residuales.pdf

Sabando, v. E., & zambrano, f. E. (2022). *Zambrano falcones emelyn valentina planta de tratamiento de agua residual*. Calceta: escuela superior politécnica agropecuaria de manabí.

Salvador, G., & Eranzo, A. (2014). Diseño y construcción de un reactor uasb a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos. Universidad Internacional Sek.

Salvador, G., & Erazo, A. (2014). Diseño y construcción de un reactor uasb a escala delaboratorio para el tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos. Universidad Internacional Sek.

Secretaria de Ambiente. (2008). *Resolución No 0002-Dma-2008*. DIRECCION METROPOLITANA AMBIENTAL (Vol. 72).

SENAGUA. (2009). *Delimitacion y codificacion de unidades hidrograficas del Ecuador*. Quito. Obtenido de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/delimitacion-codificacion-Ecuador.pdf>

Sierra Ramirez, C. (2011). *Calidad del agua, Evaluación y Diagnostico*. Medellin: Ediciones de la U.

Sierra, C. (2011). *Calidad del agua : Evaluacion y diagnóstico* . Universidad de Medellin.

SINIA. (2004). *Tecnología de Lodos Activados*. Gobierno de Chile. CONAMA. Obtenido de http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf

Solano, M. F., & Chávez, M. G. (2022). *Diseño de una Planta Piloto de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales domésticas, para ser usada con fines académicos*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Spellman, F., & Drinan, J. (2020). *Manual del Agua Potable Tomo III*. Zaragoza: ACRIBIA.

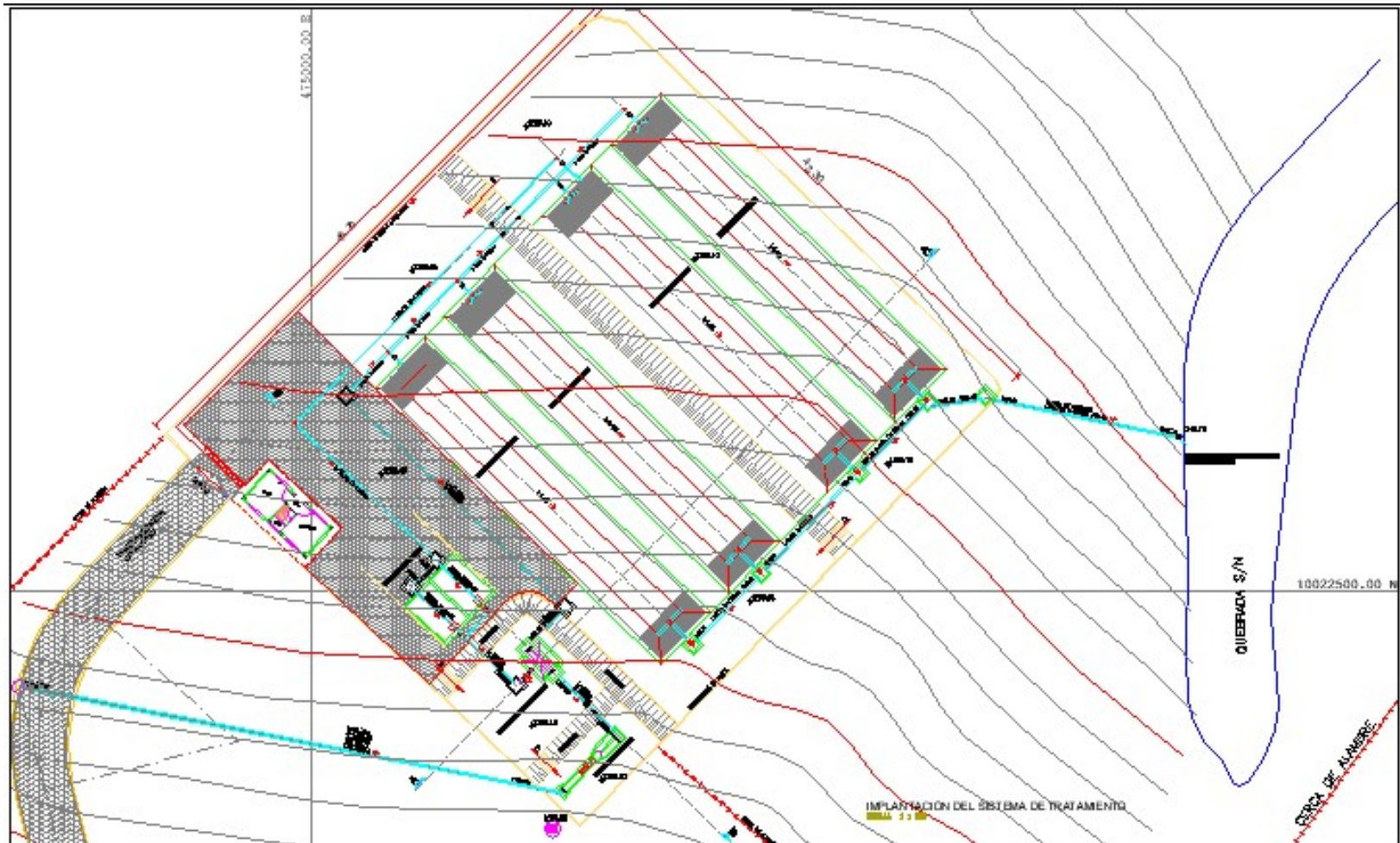
Suárez, Z., & Chaves, S. (2022). *Presencia del SARS-CoV-2 (COVID-19) en las aguas servidas y el papel de las plantas de tratamiento de aguas residuales en su eliminación*. *Prospectiva*, 20(1). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8297784>

Suplemento del Registro Oficial 353, 23-X-2018. (2018). *LEY ORGÁNICA DE SALUD*.

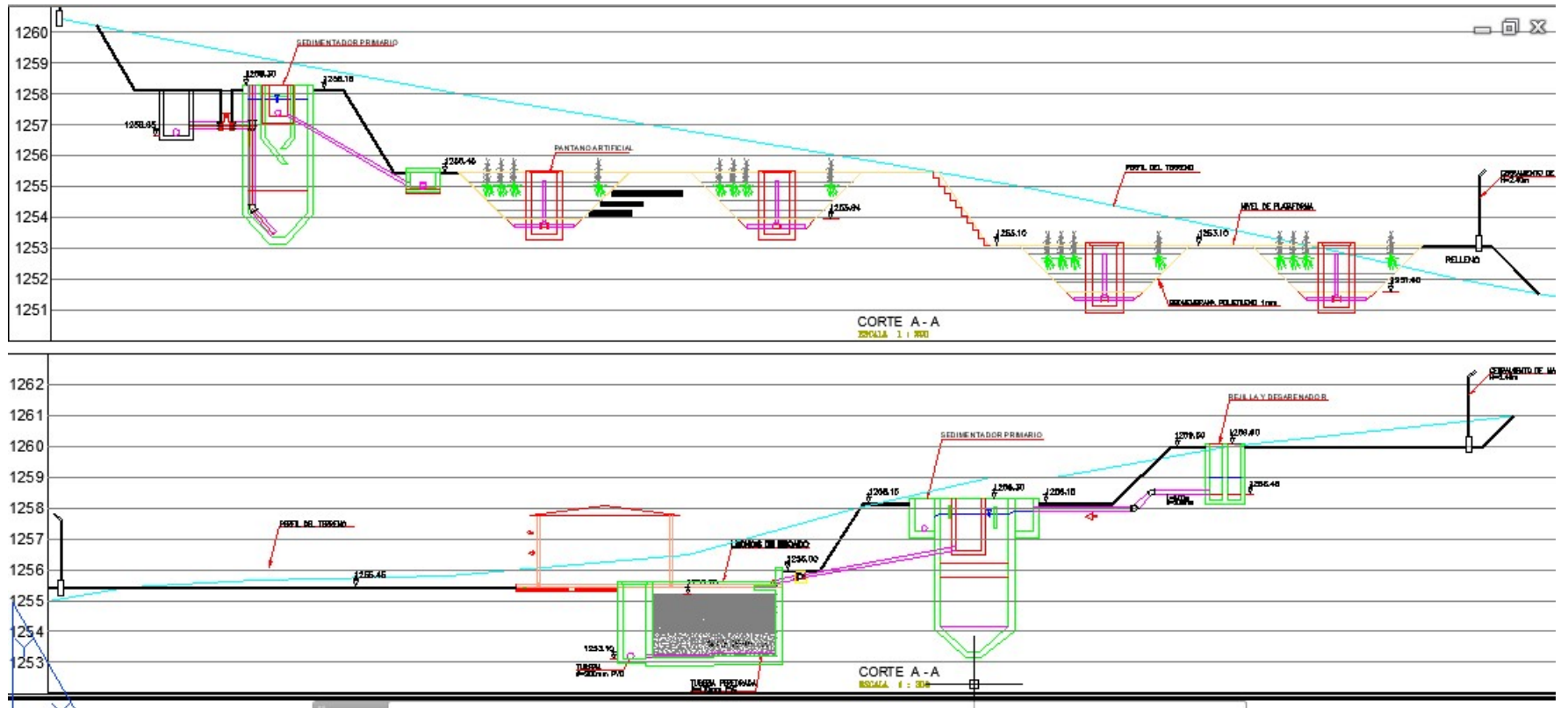
UPTC. (2007). *Análisis de aguas*. Obtenido de https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf

ANEXOS

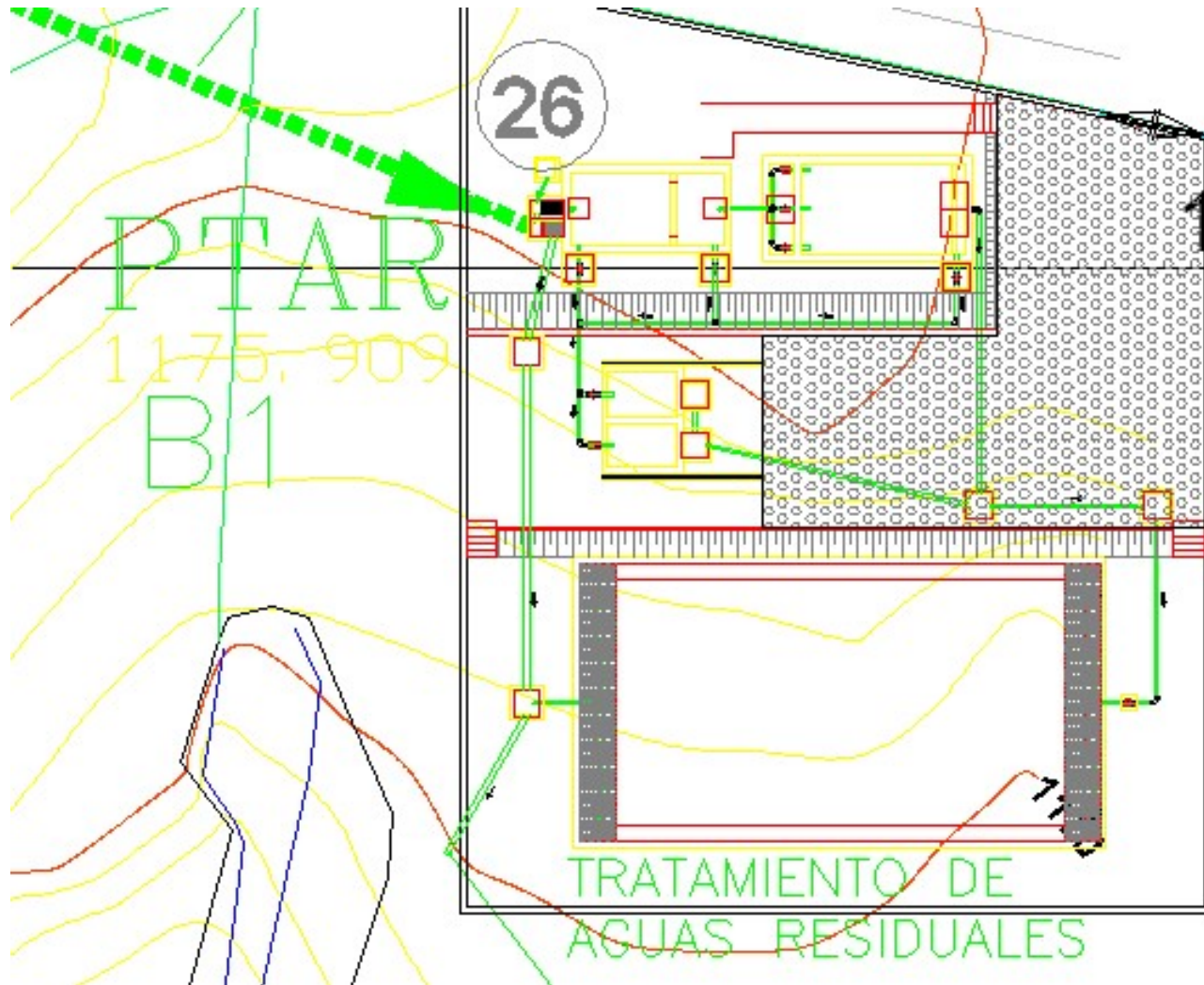
Anexo A: Planos de ubicación de la planta Ingapi.



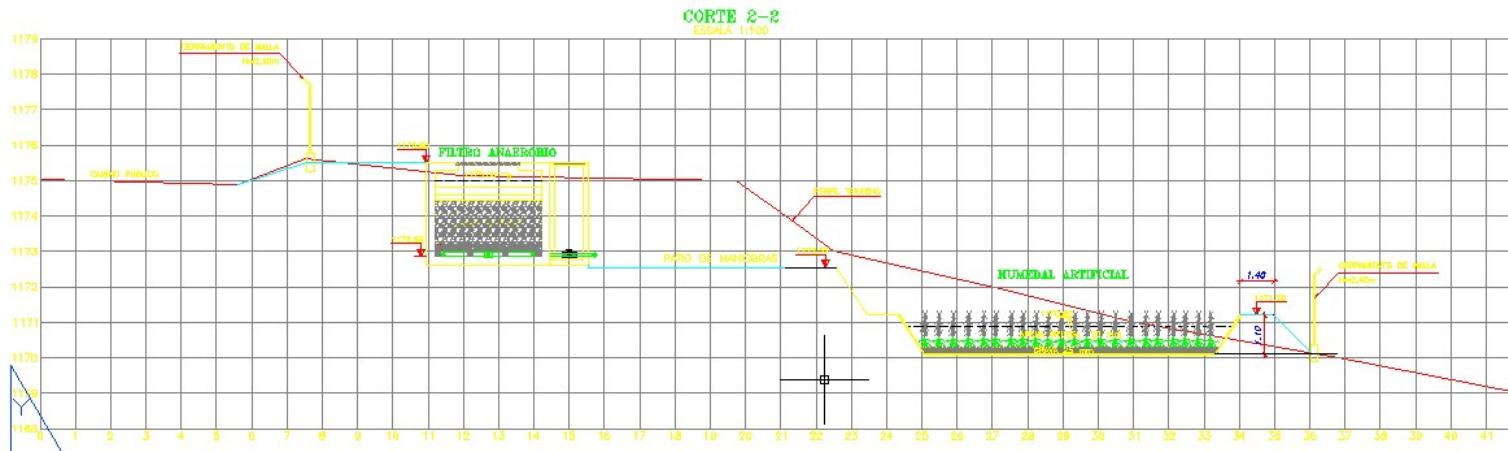
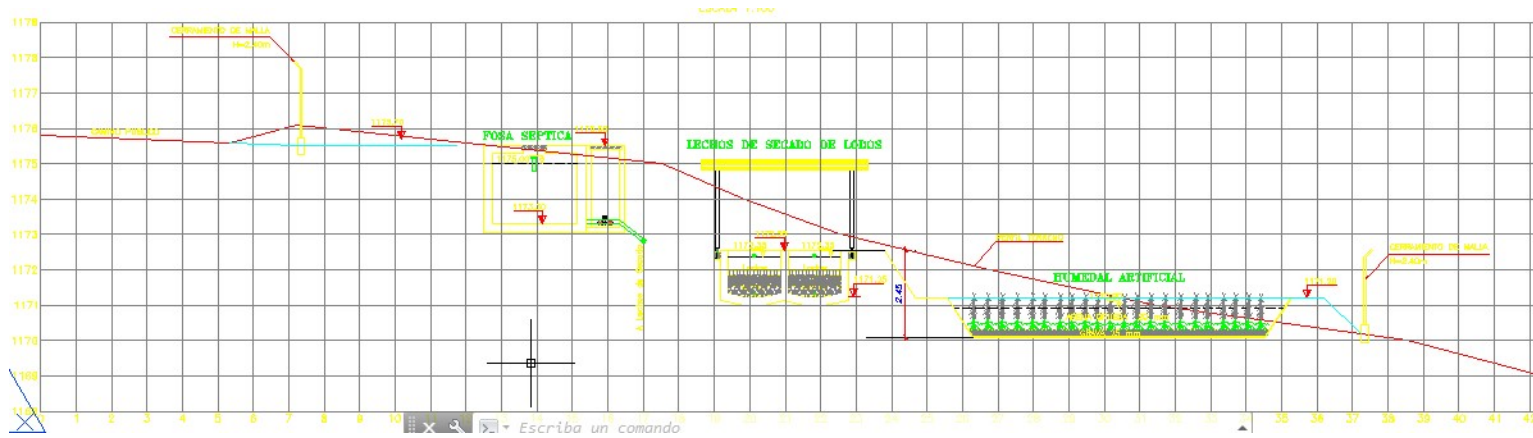
Anexo B Corte A.A de la planta de tratamiento de Aguas residuales Ingapi



Anexo C: Planos de ubicación de la planta Anope



Anexo D: Implementación general Anope



Anexo D-1: Implementación general Anope

