UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA



CARERRA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TEMA:

REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA ZONA SUR DE LA CIUDAD DE GUARANDA

AUTORES:

CUNALATA TOAINGA NANCY MARISOL
PAZMIÑO GUZMÁN ERIKA ALEXANDRA

DIRECTOR DEL PROYECTO:

MSc. PEDRO ANDRÉS PEÑAFIEL ARCOS

PUYO–ECUADOR

Julio

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe Cunalata Tosinga Nancy Marisol con C.I. 1804403458 y Pumiño Guzmán Erika Alexandra con C.I. 0202480950, hacemos constar que somos autores del Trabajo de Integración Curricular titulado "Análisis del sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, MSc. Pedro Peñafiel. En tal sentido, manifiesta la originalidad de la correspondiente del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 29 días del mes de Julio de 12021.

Pumiño Guzmán Erika Alexandra
CI. 0202480950

Cunalata Tosinga Nancy Marisol
CI. 1804403458

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda"** fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal:

Firmado electrónicamente por:
BILLY DANIEL CORONEL ESPINOZA

MSc. BILLY DANIEL CORONEL ESPINOZA

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
KAREM YAEL CAZARES CARRION

MSc. Karem Yael Cazares Carrión

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
KAREL DIEGUEZ

MSc. Karel Diéguez Santana

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Certificado No. 131-SAU-UEA-2021

Puyo, 16 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a las estudiantes: Cunalata Toainga Nancy Marisol con C.I. 1804493458 y Pazmiño Guzmán Erika Alexandra con C.I. 0202480950, con el Tema: **"Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda.",** de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación MSc. Peñafiel Arcos Pedro Andrés, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 9%, Informe generado con fecha 16 de julio de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ITALO
MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Pazmiño-Cunalata.pdf (D110518418)
Submitted	7/16/2021 3:15:00 PM
Submitted by	Ricardo Abril
Submitter email	rvabril@uea.edu.ec
Similarity	9%
Analysis address	rvabril.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf Fetched: 7/16/2021 3:16:00 PM	2
SA	**TESIS COMPLETA CORRECCION.pdf** Document TESIS COMPLETA CORRECCION.pdf (D14204608)	1
SA	**tesis Henry Trujillo.docx** Document tesis Henry Trujillo.docx (D35760397)	1
W	URL: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf Fetched: 7/16/2021 3:16:00 PM	1
SA	**LLUMIGUANO CHELA DIANA BEATRIZ.pdf** Document LLUMIGUANO CHELA DIANA BEATRIZ.pdf (D110456453)	12
SA	**PATRICIO REA.pdf** Document PATRICIO REA.pdf (D15303686)	1
W	URL: https://docplayer.es/80826075-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html Fetched: 10/16/2019 8:07:41 AM	4
SA	**tesis Pamela.docx** Document tesis Pamela.docx (D32474525)	1
SA	**tesis urkund.docx** Document tesis urkund.docx (D34241748)	8
W	URL: https://core.ac.uk/download/pdf/234576297.pdf Fetched: 9/7/2020 5:09:00 AM	1
W	URL: https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/filtros-para-aguas-residuales/ Fetched: 7/16/2021 3:16:00 PM	1

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Nancy Marisol Cuenca Tenango y Erika Alexandra Pantoja Guzmán, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos contenidos en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoría, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.

Pantoja Guzmán Erika Alexandra

CI: [illegible]

Cuenca Tenango Nancy Marisol

CI: [illegible]

DEDICATORIA

Dedico con todo el corazón e infinita gratitud el presente trabajo de titulación a mi querida madre Rosa Elena Toainga, le agradezco por su amor incondicional, sus consejos y valores por ser la persona que me motivo a continuar con mis estudios quién siempre confió en mí y jamás dio nada por perdido, aunque no estés presente físicamente vives eternamente en mis recuerdos y en mi corazón. Tu bendición me cobija a diario me protege y me encamina para ser una persona de bien, te amo madre mía.

A mis hermanos Alexandra, Yolanda, Daniel, Wilfrido y a mi sobrino Fabián por alentarme y creer en mí durante todo este proceso, por ser mis guías, y mi fuente de motivación en los momentos difíciles quienes siempre estuvieron a mi lado bridándome su apoyo incondicional, su respaldo y han hecho posible lograr cumplir con el objetivo anhelado. Gracias infinitas, mis queridos hermanos.

A mis amigos en especial a Carlos Pérez te considero una persona valiosa y agradezco a Dios por ponerte en mi camino. Espero que, a pesar de los años, nuestra amistad siga igual de fuerte y verdadera.

Marisol Cunalata

AGRADECIMIENTO

A mi familia por ser parte activa de todo este proceso quienes con su apoyo incondicional me motivaron siempre a luchar por alcanzar mi sueño que hoy se hace realidad.

Al Director de tesis MSc. Pedro Peñafiel, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, quién aporto con su conocimiento para culminar con éxito la ejecución del proyecto de titulación.

Al la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPA-G) especialmente al Ing. Raúl Allán por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto investigativo, por ser nuestro amigo y guía durante todo este proceso.

A la Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y de esta manera ser parte activa de la sociedad.

Marisol Cunalata

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado especialmente a mi querida madre Vilma Guzmán la cual siempre me apoya tratando de que reciba la mejor educación posible motivándome a seguir adelante todos los días, a mis hermanas Isabel Pazmiño por siempre estar cuidarme a medida que crecía, a mi hermana Valeria Pazmiño por siempre estar hay cuando necesitaba algo tratando de que nada me faltase.

Erika Pazmiño

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia que ha sido una parte fundamental en mi vida con todo su apoyo he podido llegar hasta donde estoy el día de hoy

A la EMAPAG de la ciudad de Guaranda por abrirme las puertas en sus instalaciones, y de manera muy especial el Ingeniero Raúl Allan ha sido un buen amigo e instructor siempre se dio un tiempo para enseñarme.

A nuestro tutor MSc. Pedro Peñafiel por el acompañamiento que nos ha brindado durante todo el proceso de titulación.

A la Universidad Estatal Amazónica en la cual tuve la suerte de recibir una buena educación con buenos docentes que siempre estuvieron apoyándome.

Al Instituto de Talento al Fomento Humano por la ayuda económica que recibida durante toda la carrera universitaria.

Erika Pazmiño

RESUMEN

El presente estudio plantea el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado en la zona Sur de la ciudad de Guaranda, donde las aguas generadas son descargadas hacia el cuerpo de agua sin un tratamiento adecuado contaminado el río de la ciudad y generando molestias en los habitantes ubicados a las orillas del río. Para esto se realizaron tres mediciones del caudal, se caracterizó el agua mediante análisis fisicoquímico y microbiológico mediante los métodos descritos en el Manual de agua potable (APHA/AWWA). Se analizó el estado actual de la planta de tratamiento y plantearon alternativas de rediseño para recuperar la mayor parte de la infraestructura física existente, una vez seleccionado el tratamiento adecuado se realizó el dimensionamiento de los sistemas a implementar en el lugar los cuales fueron comparados los procesos existentes, mediante los resultados de las caracterizaciones se obtuvo un índice de biodegradabilidad de 0,19 y un caudal máximo de diseño de 75 L/seg. Los sistemas seleccionados consisten en un sistema de cribado de finos y gruesos, desarenador, coagulación/floculación por medio de dosificación de PAC y Chemfloc, sedimentador rectangular, filtro rápido que aplicada como medio la antracita y los lechos de secado el área del lugar es de 0,44 ha.

Palabras clave: aguas residuales, PAC, índice de biodegradabilidad, antracita, dosificación.

Abstract

This study proposes the redesign of the wastewater treatment system located in the southern area of the city of Guaranda, where wastewater is discharged into the water body without adequate treatment, contaminating the city's river and causing discomfort to the inhabitants located on the banks of the river. For this purpose, three flow measurements were taken, and the water was characterized by physicochemical and microbiological analysis using the methods described in the Drinking Water Manual (APHA/AWWA). The current state of the treatment plant was analyzed and redesign alternatives were proposed to recover most of the existing physical infrastructure. Once the appropriate treatment was selected, the sizing of the systems to be implemented at the site was carried out and the existing processes were compared; the results of the characterizations showed a biodegradability index of 0.19 and a maximum design flow of 75 L/sec. The selected systems consist of a fine and coarse screening system, desander, coagulation/flocculation by PAC and Chemfloc dosing, rectangular settler, rapid filter using anthracite as media and drying beds. The site area is 0.44 ha.

Key words: wastewater, PAC, biodegradability index, anthracite, dosing

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I 1
1. Introducción 1
1.1. Planteamiento del problema 3
1.2. Objetivos 4
1.2.1. Objetivo General 4
1.2.2. Objetivos Específicos 4
1.3. Justificación 5
CAPÍTULO II 7
2. Fundamentación teórica 7
2.1. Antecedentes 7
2.2. Agua 8
2.3. Aguas residuales 9
2.4. Características de las aguas residuales 9
2.4.1. Características físicas 10
2.4.2. Características químicas 11
2.4.3. Características biológicas (aguas negras) 14
2.5. Etapas consideradas en el tratamiento del agua residual 16
2.6. Medición del caudal del agua residual 16
2.7. Clasificación de las aguas residuales 17
2.8. Muestreo de las aguas residuales 19
2.8.1. Tipos de muestreo de muestreo de las aguas residuales 19
2.9. Tratamiento de aguas residuales 19
2.10. Etapas de tratamiento del agua residual 20
2.11. Límites de descarga 21
2.12. Sistema de alcantarillado 22
2.12.1. Sistemas de alcantarillado convencionales 23
2.12.2. Sistemas de alcantarillado no convenciones 23
2.13. Índice de biodegradabilidad 24
2.13.1. Tratamientos según el índice de biodegradabilidad 24
2.13.2. Procesos para el tratamiento de aguas residuales 25
2.14. Estudio de impacto ambiental 25
2.14.1. Metodología de Leopold para la identificación de impactos 25
2.15. Marco legal 26

CAPÍTULO III 27
3. Metodología 27
3.1. Localización 27
3.1.1. Ubicación geográfica de la ciudad de Guaranda 27
3.1.2. Ubicación del sistema de tratamiento 28
3.1.3. Clima de la zona 29
3.2. Tipo o diseño de investigación 29
3.3. Método de investigación 29
3.3.1. Caracterizar las cargas contaminantes e hidráulicas de las aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda, mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y mediciones de caudales. 30
3.3.1.1. Muestreo 30
3.3.1.2. Métodos y técnicas 31
3.3.1.3. Técnicas 31
3.3.1.4. Métodos 32
3.3.1.5. Índice de biodegradabilidad del agua residual 33
3.3.2. Analizar el estado actual de la planta de tratamiento de la ciudadela Marcopamba, a través de mediciones de las dimensiones de cada operación unitaria, visitas técnicas y revisión de planos. 34
3.3.2.1. Estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales 34
3.3.2.2. Procesos existentes 34
3.3.2.3. Planteamiento de alternativas 36
3.3.3. Seleccionar el tren de tratamiento más adecuado en función de la remoción de carga orgánica, costos de inversión y espacio para realizar las pruebas de tratabilidad. 38
3.3.3.1. Análisis de las alternativas 38
3.3.3.2. Pruebas de tratabilidad para el agua residual 38
3.3.4. Realizar el (re)dimensionamiento de los tratamientos escogidos en la propuesta inicial de tratamiento de aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda 40
3.3.4.1. Datos de partida 41
3.3.4.2. Estimación del caudal 41
3.3.4.3. Canal de entrada 44
3.3.4.4. Pretratamiento 46
3.3.4.5. Medidor del caudal 54
3.3.4.6. Tratamiento primario 56
Dimensionamiento del tanque de coagulación 58
3.3.4.7. Tratamiento terciario 71
3.3.4.8. Tratamiento de fangos 74

CAPÍTULO IV 78
4. Análisis de los resultados 78
4.1. Caracterización del agua residual 78
4.1.1. Resultados de la aforación del agua residual 78
4.1.2. Resultado de la caracterización del agua bruta 80
4.1.3. Índice de biodegradabilidad 83
4.2. Análisis de alternativas 83
4.2.1. Selección de las alternativas 83
4.3. Pruebas de tratabilidad 85
4.3.1. Caracterización del agua residual tratada 91
4.3.2. Remoción de la contaminación 95
4.4. Diseño del (re)dimensionamiento de los tratamientos 103
4.4.11. Mantenimiento del sistema de tratamiento 129
4.4.12. Matriz de Leopold 132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 133
Conclusiones 133
Recomendaciones 134
REFERENCIAS 135
ANEXOS 142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Composición típica de agua residual doméstica bruta 18
Tabla 2-2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce 21
Tabla 3-2: Tratamiento del agua según su biodegradabilidad 25
Tabla 4-3: Recolección de las muestras.....31
Tabla 5-3: Horarios de medición del caudal.....31
Tabla 6-3: Parámetros físicos, unidad y método para caracterizar el agua residual.....32
Tabla 7-3: Parámetros químicos, unidad y método para caracterizar el agua residual..32
Tabla 8-3: Parámetros microbiológicos, unidad y método.....33
Tabla 9-3: Complejidad de las alternativas 38
Tabla 10-3: Características de las rejillas 47
Tabla 11-3: Criterios de diseño para el Desarenador.....51
Tabla 12-3: Límites de aplicación de medidores Parshall 55
Tabla 13-3: Grado de sumergencia.....56
Tabla 14-3: Criterios de diseño del tanque de coagulación 58
Tabla 15-3: Criterios de diseño del tanque de Floculación 62
Tabla 16-3: Criterios para la dosificación 65
Tabla 17-3: Criterios de diseño del sedimentador 68
Tabla 18-3: Valores para el cálculo de la velocidad de arrastre del sedimentador.....70
Tabla 19-3: Criterios para el diseño del filtro rápido 72
Tabla 20-3: Criterios de diseño de un filtro rápido.....73
Tabla 21-3: Magnitud e importancia de Leopold original.....77
Tabla 22-4: Caudal promedio registrado 78
Tabla 23-4: Resultados de la caracterización del agua sin tratar.....81
Tabla 24-4: Índice de biodegradabilidad del agua residual 83
Tabla 25-4: Dosificación de Sulfato de Aluminio y Cal 87
Tabla 26-4: Dosificación de PAC Y Chemfloc 87
Tabla 27-4: Dosificación de Sulfato de Aluminio y Chemfloc 88
Tabla 28-4: Remoción de los sólidos en el sedimentador 89
Tabla 29-4: Remoción de sólidos y color en el filtro 90
Tabla 30-4: Caracterización del agua residual tratada.....92
Tabla 31-4: Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno 95
Tabla 32-4: Remoción de la Demanda Química de Oxígeno 95
Tabla 33-4: Remoción de Tensoactivos 96
Tabla 34-4: Remoción del Fósforo Total.....96
Tabla 35-4: Remoción del Nitrógeno Total Kjeldahl 97
Tabla 36-4: Remoción de los Sólidos Totales 97
Tabla 37-4: Fuente: Remoción del Bario.....98
Tabla 38-4: Remoción del Boro Total 99
Tabla 39-4: Remoción de Cloruros.....99
Tabla 40-4: Remoción de Plata.....100
Tabla 41-4: Remoción de Manganeso Total.....100
Tabla 42-4: Remoción de Hierro Total.....101
Tabla 43-4: Remoción de Fluoruros 102
Tabla 44-4: Oxígeno Disuelto 102
Tabla 45-4: Resultado de los parámetros de inicio y caudales 125

Tabla 46-4: Dimensiones del canal de entrada y rejillas 126
Tabla 47-4: Dimensiones del desarenador.....126
Tabla 48-4: Dimensiones del Parshall 127
Tabla 49-4: Dimensiones del tanque y agitador para la coagulación/floculación 127
Tabla 50-4: Dimensiones del sedimentador 128
Tabla 51-4: Dimensiones del filtro rápido.....128
Tabla 52-4: Dimensiones del lecho de secado.....128

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....16
Ecuación 2.....17
Ecuación 3.....24
Ecuación 4.....41
Ecuación 5.....41
Ecuación 6.....42
Ecuación 7.....42
Ecuación 8.....43
Ecuación 9.....43
Ecuación 10.....43
Ecuación 11.....44
Ecuación 12.....44
Ecuación 13.....45
Ecuación 14.....45
Ecuación 15.....46
Ecuación 16.....47
Ecuación 17.....47
Ecuación 18.....48
Ecuación 19.....48
Ecuación 20.....48
Ecuación 21.....49
Ecuación 22.....49
Ecuación 23.....49
Ecuación 24.....50
Ecuación 25.....50
Ecuación 26.....50
Ecuación 27.....51
Ecuación 28.....52
Ecuación 29.....52
Ecuación 30.....52
Ecuación 31.....52
Ecuación 32.....53
Ecuación 33.....53
Ecuación 34.....53
Ecuación 35.....53
Ecuación 36.....53
Ecuación 37.....54
Ecuación 38.....54
Ecuación 39.....54
Ecuación 40.....55
Ecuación 41.....56
Ecuación 42.....56
Ecuación 43.....58
Ecuación 44.....58
Ecuación 45.....59

Ecuación 46.....59
Ecuación 47.....59
Ecuación 48.....60
Ecuación 49.....60
Ecuación 50.....60
Ecuación 51.....61
Ecuación 52.....61
Ecuación 53.....61
Ecuación 54.....62
Ecuación 55.....62
Ecuación 56.....62
Ecuación 57.....63
Ecuación 58.....63
Ecuación 59.....63
Ecuación 60.....63
Ecuación 61.....64
Ecuación 62.....64
Ecuación 63.....64
Ecuación 64.....65
Ecuación 65.....65
Ecuación 66.....66
Ecuación 67.....66
Ecuación 68.....66
Ecuación 69.....66
Ecuación 70.....67
Ecuación 71.....67
Ecuación 72.....68
Ecuación 73.....69
Ecuación 74.....69
Ecuación 75.....69
Ecuación 76.....70
Ecuación 77.....70
Ecuación 78.....72
Ecuación 79.....73
Ecuación 80.....73
Ecuación 81.....73
Ecuación 82.....73
Ecuación 83.....74
Ecuación 84.....75
Ecuación 85.....75
Ecuación 86.....75
Ecuación 87.....76
Ecuación 88.....76
Ecuación 89.....76
Ecuación 90.....76

CAPÍTULO I

1. Introducción

Las fuentes hídricas son empañadas constantemente por la descarga de aguas residuales sin tratamiento adecuado a pesar de que el agua es y se considera como un importante recurso y su gestión ambientalmente responsable un reto para resolver el citado problema. En efecto, según Unuofin (2020), "Es irónico como la mayoría de los compuestos que la sociedad consume diariamente representen grandes daños a la fauna acuática y a la misma salud humana"

El crecimiento poblacional genera una enorme cantidad de aguas residuales, cuyas descargas, sin tratamiento previo, comprometen la calidad del agua, por lo que el destino de dichas aguas son objeto de varios estudios que tienen como objetivo implementar y mejorar las técnicas de tratamiento con el único propósito de otorgar el saneamiento adecuado a las mismas.

En dicho contexto, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) desempeñan un papel fundamental en el tratamiento de las aguas residuales urbanas y rurales, por un lado; por otro, para el tratamiento en cuestión busca sentar las bases de un ambiente sano y garantizar el "Buen Vivir" y los derechos de la naturaleza: una de las obligaciones del Estado, por lo que el saneamiento de las aguas residuales constituye una obligación de los GAD, en tanto el incumplimiento vulnera el derecho citado (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

De igual modo, la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), genera variados beneficios, entre ellos, permite la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual, posibilitando el uso posterior del agua en procesos productivos; sin embargo, a pesar de las ventajas señaladas los GAD optan por la opción economicista que reduce la implementación a un tema de costos.

Aquello explica las razones por las cuales la gran mayoría de municipios optan por descargar las aguas residuales a los ríos más cercanos. Estamos ante un primer problema referido a que los GAD desde esta arista son los mayores contaminadores de agua. (Goméz, 2003).

El área urbana de la ciudad de Guaranda se encuentra en un constante proceso de expansión generada por un agresivo proceso de migración interna. El proceso de urbanización citado ha dado lugar a que el GAD no se encuentre preparado para atender la demanda de servicios de agua potable (segura) y alcantarillado, agravado en el hecho de que no cuenta con el servicio de saneamiento de las aguas residuales.

Por dicha razón la empresa pública municipal, EMAPA-G -junto al GAD municipal- ha considerado prioritaria la rehabilitación/modernización del sistema de tratamiento de aguas servidas existente en la zona sur de la ciudad, a considerar que "la puesta en marcha de este proyecto permitirá mejorar las condiciones de vida de los habitantes, la reducción de la carga contaminante emitida diariamente al río de la ciudad".

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente las aguas residuales generadas en la ciudad de Guaranda son descargadas sin un tratamiento previo a los cuerpos de agua, generando un fuerte impacto que no solo afecta a los ecosistemas acuáticos y al medio ambiente sino también a las personas que se encuentran localizadas a las orillas de los ríos que por lo general hacen uso de estas aguas para diferentes actividades.

Debido al constante crecimiento poblacional en el casco urbano de la ciudad, se ha generado una alta demanda del sistema de alcantarillado, este se fue implementado conforme se daba esta necesidad, por lo que este sistema presenta una discontinuidad, ocasionando cuatro puntos de descarga diferentes de las aguas residuales en el río Guaranda.

Uno de los puntos de descarga se encuentra localizado en la zona Sur de la ciudad en la ciudadela Marcopamba, generando un fuerte impacto visual y olfativo, que no solo afecta a los moradores de esta zona, sino también a las poblaciones orillas abajo del río, ya que hacen uso de esta agua para fines agrícolas, ganaderos y actividades diarias como el lavado de ropa.

Por la ubicación de cada uno de los puntos de descarga no ha sido posible conectarlos todos ya que el costo de embaulado sería demasiado alto y se podría generar fugas en el mismo afectando de igual forma al cuerpo de agua, por lo que no se pueden tratar las aguas de los cuatro puntos de descarga en una sola planta.

En la actualidad existe construida una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que se encuentra ubicada en la zona sur específicamente en la ciudadela Marcopamba la cual entro en funcionamiento pocos meses para dejar de funcionar pese a la gran inversión que se realizó en la misma, razón por la cual se sigue contaminando los efluentes de río Guaranda dejando de lado el cumplimiento de la normativa de calidad ambiental, generando graves daños a los ecosistemas acuáticos y al medio ambiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar una propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar las cargas contaminantes e hidráulicas de las aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda, mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y mediciones de caudales.
- ✓ Analizar el estado actual de la planta de tratamiento de la ciudadela Marcopamba, a través de mediciones de las dimensiones de cada operación unitaria, visitas técnicas y revisión de planos.
- ✓ Seleccionar el tren de tratamiento más adecuado en función de la remoción de carga orgánica, costos de inversión y espacio para realizar las pruebas de tratabilidad.
- ✓ Realizar el (re)dimensionamiento de los tratamientos escogidos en la propuesta inicial de tratamiento de aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda.

1.3. Justificación

El recurso agua es escaso y además no renovable, aquello da lugar a que la escasez del agua sea uno de los problemas que la sociedad no puede resolver sin la existencia de una conciencia social ambiental responsable que adopte nuevas pautas culturales de consumo sostenido y sostenible del recurso, por tanto es conocido por toda la humanidad la importancia del recurso agua, lo cual convierte al agua en un bien preciado que incluso como estrategia de protección de las fuentes han empezado a ser cotizada en bolsa (mercado internacional) las tierras en las que se encuentra este recurso (IPS, 2020).

En el caso nacional, el agua dulce es un recurso relativamente abundante, aquello explica las casi inexistentes propuestas de interés por gestionar este recurso de manera ambiental y socialmente responsable.

Actualmente, cerca del 61,86% de los GAD municipales tratan las aguas sin que ello implique se trate de una gestión técnica de calidad, mientras que un 38,14% no realiza ningún tratamiento, así un 56,39% dispone/vierte el agua residual en los ríos, el 26,32% en quebradas y el restante 19,55% disponen en sitios como el mar y pantano artificial (INEN, 2015).

La ciudad de Guaranda sufre varios problemas ambientales significativos adquiriendo la situación de drama y emergencia ambiental la ausencia de estrategias y políticas de saneamiento de las aguas residuales. En ese contexto, el presente proyecto de investigación tiene como objetivo gestionar acciones técnico/científicas con la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda.

Para previo diagnóstico (re)diseñar la planta de tratamiento (in)existente, teniendo como eje transversal el aprovechamiento de la infraestructura existente e implementar algunos procesos adicionales que según la investigación y el uso sostenido del agua requiera el sistema, para tratar las aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad y sentar pautas culturales de uso racional del recurso.

El proyecto pretende rediseñar y proponer estrategias técnicas conducentes a reducir la carga contaminante vertida diariamente al río Guaranda, coadyuvando al cumplimiento de la normativa vigente establecida en el andamiaje legal ambiental vigente por parte de la autoridad municipal, para con ello reducir el elevado grado de incumplimiento de las normas ambientales susceptibles de acciones de control sancionatorias.

Un hecho que queda al descubierto refiere a la imposibilidad de gestionar los puntos de descarga de tal manera que constituya un sistema integral de tratamiento de aguas, aquello no es posible puesto que las aguas generadas en los cuatro puntos de descarga existentes en la ciudad debido a la irregularidad del terreno y lo escaso de los recursos económicos desfavorecen.

Por dichas razones la investigación propone intervenir en una de las fuentes, específicamente la ubicada en el Barrio Marcopamba como una forma de fomentar el uso sostenido y racional del recurso agua, por un lado; por otro, sentar las bases de concienciación de la importancia de diseñar políticas de saneamiento de las aguas.

Al tiempo de recomendar que los técnicos de planificación territorial incorporen la variable ambiental y en especial la de tratamiento de aguas en los planes y programas de desarrollo urbano/rural de la ciudad de Guaranda, es decir el diseño de nuevas plantas para tratar las demás descargas de la ciudad debe partir de estudios técnicos social y ambientalmente responsables.

El proyecto de (re)diseño de la planta en cuestión tiene como grupo 9.350 habitantes de la zona sur de la ciudad de Guaranda, los que serán beneficiados de manera directa pues el (re)diseño finalmente garantizará el buen vivir de la población, minimiza los impactos ambientales negativos, lo cual contribuirá a la conservación de los ecosistemas y el medio ambiente y uno de los primeros efectos será la mejora las actividades productivas agrícolas y pecuarias de la zona de influencia.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación teórica

2.1. Antecedentes

Agora (2021), afirma “La mitad de las aguas residuales generadas en todo el mundo se vierten sin un tratamiento al medio ambiente siendo desalentador ya que las aguas tratadas han crecido solo del 20 al 40%”.

Los componentes de estas aguas son variados desde materia orgánica, sólidos suspendidos, metales, entre otros, razón por la cual la legislación ecuatoriana desde una óptica preventiva establece una serie de parámetros para que las descarga sean reguladas y reciban un tratamiento previo adecuado.

Los efectos de no tratar las aguas residuales son variados destacando la generación de malos olores en los lugares cercanos a la descarga, proliferación de vectores que causan/afectan la salud humana, ocasionando infecciones en la piel, parasitosis, micosis, y gastroenteritis por la ingesta de este tipo de aguas, adicionalmente afecta la flora y fauna, especialmente las actividades pecuarias que en su mayoría son de subsistencia.

La Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA, 2010) reconoce al recurso agua como “uno de los recursos más importantes”, al tiempo de señalar que gran parte de la contaminación de los cuerpos de agua “está relacionada con el acelerado crecimiento urbano observado en la actualidad”. También, la citada secretaria determina estrategias y compromisos para promover cambios en la cultura de la sociedad destinada a eliminar el errado uso de este recurso.

Actualmente, los hogares cotidianos hacen uso del agua diariamente para satisfacer sus necesidades vitales, las aguas usadas son expulsadas de los hogares sin control alguno, explicado la ausencia de estrategias conducentes a generar una cultura de uso racional y ambientalmente responsable del agua por parte de la ciudadanía.

En tanto, son menos que pobre las acciones dirigidas a la mitigación del impacto en las aguas, sumado un nulo control y cuasi cero políticas de reducción de los impactos de estas en los vertederos finales por parte de los organismos responsables.

Las aguas residuales que genera la ciudad de Guaranda repercuten en la salud de los habitantes y el medio ambiente ya que la contaminación es constante/continua. El tema en cuestión se agrava debido a la ausencia de conciencia ambiental referida al hecho de

que estamos hablando de las aguas de la cuenca hídrica más grande de América al Pacífico: Cuenca del Guayas. La ciudad de Guaranda constituye la denominada Cuenca Alta del Guayas (González, Rivadeniera, & Vasconez, 2016).

Efectivamente:

"Los ríos Daule y Babahoyo forman el (Guayas 2), fuente de riqueza hídrica en la denominada Cuenca Baja del Guayas (CBG), tiene elevada correlación con los flujos hídricos de la Cuenca Alta del Guayas (CAG). Los territorios agrícolas y habitacionales ubicados en las cuencas de los ríos Guayas, Daule y Babahoyo son afectados por grandes volúmenes de sedimentación" (ibídem,2020).

La superficie comprometida por las corrientes hídricas de la Cuenca Alta del Guayas "corresponde al 12,57% del territorio nacional, la población de esta cuenca se estima suma 5'592.025 habitantes", lo cual significa algo más del 39,37% del total de la población nacional, la extensión regional en cuestión deja al descubierto que el cuerpo de agua termina por conectarse a afluentes que pasan por otras ciudades generando un impacto completamente irreversible en tanto este problema de contaminación no sea abordado desde la fuente.

2.2. Agua

El agua es un líquido insípido, incoloro e inodoro. Se trata de un compuesto químico representado por la formula H_2O, la cual indica que es la combinación de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno. Sin embargo, el agua químicamente pura es un líquido extremadamente escaso y difícil de obtener, debido a que es un solvente casi universal en donde prácticamente todas las sustancias son solubles hasta cierto grado. A causa de esta propiedad, el agua se contamina frecuentemente por las substancias con las que entra en contacto (Sheppard, 1992).

Insistimos, el recurso natural agua es limitada, mantiene una utilidad vital para la sostenibilidad humana y de otros seres vivos; además, es clave para la producción de alimentos. Por ello, existe de facto una política de agua atada al tema agrario, al respecto anotamos que el carácter multifuncional de la actividad agraria hace que su análisis no pueda limitarse a los aspectos económicos (Lagger et al., 2000). "El agua puede encontrarse en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Un ejemplo de esto es el ciclo del agua.

El 3% es agua dulce y lo restante es agua salada" (Pureaqua, 2019), realidad que induce/demanda/impone el realizar procesos de gestión integral del agua, incluyendo el tratamiento de las aguas residuales y su vertido final, en el único propósito de garantizar la sostenibilidad del recurso citado.

2.3. Aguas residuales

Identificamos como aguas residuales a aquellas cuya composición es variada por su uso y por la descarga de aguas sean de uso municipal, industrial, comercial, servicios agrícolas, pecuarios, domésticos incluyendo fraccionamientos y otros usos, que pudiesen generar una modificación en la composición inicial de las aguas perturbando a su calidad originaria (Mirella, Aguas residuales, 2016).

Las aguas residuales, por su naturaleza, al momento de su descarga no pueden ser reutilizadas en las actividades que las hayan generado u otras diferentes, ya que éstas al ser vertidas en los cuerpos de agua sin tratamiento previo pueden de hecho, así llegar a genera alteraciones en los ecosistemas terrestres y acuáticos, incluso pueden llegar a poner en riesgo la salud humana (Miranda G. L., 2017).

Mientras exista el hombre en la tierra y las conductas de vida moderna existentes no se modifiquen en la sociedad la generación constante de aguas residuales es inevitable y en determinado momento irreversible sus efectos, por lo que partir de la identificación y conocimiento de las características de las aguas servidas o utilizadas es de suma importancia para abordar una vía de correcto/acertado tratamiento.

2.4. Características de las aguas residuales

La calidad del agua residual está dada por su caracterización con base en sus parámetros físicos, químicos y biológicos, así como su flujo. Las características de las aguas residuales de una comunidad tienen grandes variaciones que dependen de factores como el consumo de agua potable, el tipo de sistema de alcantarillado, sistemas individuales de excretas, reconociendo la variación horaria.

La composición del agua dependerá del uso que se les den a las aguas, un bajo consumo del agua genera una composición más concentrada (Olmos , Marques, & Moreto, 2003).

2.4.1. Características físicas

"Los parámetros físicos son aquellos parámetros del agua que responde a los sentidos del tacto, olor y sabor los más utilizados son sólidos en suspensión, turbiedad, color, olor, sabor y temperatura" (Gómez, 2003).

- **Color**

El color de las aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. Si es causado por sólidos suspendidos se denomina *color aparente*, mientras que el causado por sustancia disueltas y coloidales se denomina *color verdadero*, se obtiene por medio de una muestra filtrada. El color en aguas residuales se debe a la infiltración en sistemas de recolección, descargas industriales y a la descomposición de compuestos orgánicos (Garzón & Espino, 2020).

- **Conductividad**

La conductividad eléctrica del agua es una medida de la capacidad de ésta para transportar la corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades de la Comunidad Europea la conductividad en cuestión se expresa como siemens por metro (S/m) pero por simplicidad se utiliza µS/cm a una temperatura de 25°C.

La conductividad del agua está relacionada con la concentración eléctrica, la solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varia en conformidad con la temperatura del agua (Solís , Zuñiga, & Mora, 2018).

- **Olor y sabor**

La presencia de sabores y olores desagradables (pueden ser agradables) pueden provenir por la presencia de microrganismos como algas, actinomicetos, cianobacterias, la presencia de hidrocarburos, de desinfectantes o sus subproductos, la presencia de estos parámetros organolépticos en el agua segura (potable) han sido ampliamente reconocidos y la mayoría de los países incluyen estos aspectos en su normativa de forma cualitativa (Vázquez, 2013).

- **Sólidos Totales**

Los sólidos se identifican como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación –generalmente- entre 103 y 105 °C, aquí no se consideran como sólidos aquella materia que se pierde durante la evaporación debido

a la alta presión del vapor, éstos a su vez se clasifican según se sedimentan: sólidos suspendidos, sedimentables, coloidales y disueltos y según su volatilidad: sólidos fijos y volátiles (Pérez, 2019).

- **Temperatura**

Este parámetro controla la existencia de biota en el agua, la cual tolera ciertos grados de temperatura, de igual forma la temperatura acelera las reacciones que envuelven la dilución de sólidos y disminuye la solubilidad de los gases, debido a que los elementos orgánicos no se oxidan (Cortes, 2015).

- **Turbiedad**

Es una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas. Sirve, principalmente, para conocer la cantidad de luz que es absorbida por el material suspendido, fenómeno explicado por la desintegración y erosión de materiales arcillosos, limo, o rocas, pero también por los restos de plantas y microorganismos, igualmente la presencia de jabones y detergentes en las aguas residuales domésticas e industriales causan, un aumento de turbiedad en el agua (Garzón & Espino, 2020).

2.4.2. Características químicas

Las características químicas de las aguas residuales pueden ser estudiadas en tres partes: orgánicos, inorgánicos, y los gases que se encuentran presentes en este tipo de aguas. Existen componentes *orgánicos e inorgánicos*.

En los primeros, se encuentran: Proteínas, Carbohidratos, Aceites y Grasas, Tensoactivos, Fenoles y Pesticidas y en los *inorgánicos* se encuentran el pH, Cloruros, Nitrógeno, Fósforo, Azufre y Metales Pesados y los Gases se componen de Oxígeno, Hidrógeno Sulfurado y Metano (Valladolid, 2019).

- **Alcalinidad**

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para reaccionar con ácidos fuertes a un pH determinado, esto es, una medida de su capacidad para neutralizar ácidos y se debe, principalmente, a la presencia de sales de ácidos débiles, contribuyendo también las bases débiles y fuertes (Sierra, 1983).

- **Aceites y grasas**

Generalmente son consideradas como grasas y aceites los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, formando "una copia inmiscible con el agua", recubren la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas, causando problemas a la actividad biológica y mantenimiento del agua.

Los aceites y grasas de origen animal comúnmente son biodegradables y tratados en platas de tratamiento biológico, mientras que los aceites y grasas de origen mineral pueden no ser biodegradables requiriendo un pretratamiento para ser removido antes de otros tratamientos (Cortes, 2015).

- **Demanda Química de oxígeno (DQO)**

Posibilita conocer la concentración de fracciones biodegradables como las no biodegradables de la materia orgánica, incluyendo la de aquellos compuestos orgánicos que puedan ser oxidados químicamente, esta variable es aplicada de manera extendida para definir el material carbónico, sea biodegradable o no, presente el agua residual (Menéndez & Dueñas, 2018 pág. 97).

- **Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es la dosis de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, es, por lo tanto, una disposición del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos; en tanto, para su remoción lo más recomendable son procesos biológicos (Cuesta & Díaz, 2020 pag. 6).

- **Fósforo**

El fósforo es un elemento químico y a su vez constituye un parámetro importante a considerar en el análisis de la calidad del agua ya que a concentraciones elevadas de éste y otros nutrientes tiende a generar problemas ambientales –serios-.

Variables como el pH y la temperatura son condiciones que ayudan a la eutrofización en los cursos de agua, destacando el hecho de que concentraciones superiores a 0.1 mg L-1 son suficientes para inducir una proliferación de cianobacterias (González, De Los Santos , & De León, 2019 pag. 1).

- **Metales pesados**

Los metales pesados son contaminantes que por su persistencia y facilidad de transporte a grandes distancias alcanzan fácilmente a los cuerpos de agua, generando un alto riesgo para la *biota,* los que por lo general provienen de diversas fuentes propias de la actividad humana e industrial, destacando actividades tales como las petroleras, agrícolas, metalúrgicas, azucareras e incluso urbanas y sanitarias o fitosanitarias (herbicidas e insecticidas).

Cabe indicar que, la elevada toxicidad que generan los metales pesados tiende a acumularse en la *biota* e ingresa a la *cadena trófica* llegando a organismos superiores incluyendo al hombre (Flores, Del Angel, Frías, & Gómez, 2018 pág. 42).

- **Nitrógeno**

Este elemento químico constituye un parámetro que reduce el nivel de oxígeno en el agua, además es tóxico para la vida acuática, por tal razón representa un riesgo para la salud humana y fauna. El químico en cuestión es responsable del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos, debido a los efectos del nitrógeno en el agua y recurso tierra la legislación nacional e internacional establece límites máximos permisibles del mismo (Ambiental, 2019).

El nitrógeno puede encontrarse disuelto en el agua en diversos estados de oxidación: *nitrógeno amoniacal* (NH_4+-NH_3), *nitrato* (NO_3-) o *nitrito* (NO_2-), el estado (presencia) más habitual de este químico es el estado de oxigenación del nitrógeno amoniacal que también corresponde al nitrógeno orgánico, la mayor parte se hidroliza a nitrógeno amoniacal, estos se suelen medir juntos y se denomina *Nitrógeno Kjeldahl Total* (NKT) (Carrera, 2017 pag. 2).

- **Oxígeno disuelto**

Uno de los indicadores de mayor impacto –positivo o negativo- del agua constituye la cantidad de oxígeno disponible en el agua. En efecto, sí la cantidad de oxígeno es alta se puede decir/afirmar que la calidad del agua es de óptima calidad, a su vez sí la cantidad de oxígeno disminuye la calidad del agua también disminuye, generando, en este caso, problemas para la vida acuática (Carchipulla, 2019 pag. 11).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH, se mide por medio de una escala de 0 a 14, representa la acidez o alcalinidad de un cuerpo de agua: de 0-7 se considera al agua como *ácida* y de 7 a 14 se identifica al agua como *alcalina* y un pH de 7 indica *neutralidad*.

La presencia de SO_2 y CO_2 disueltos pueden generar acidez en el agua, por lo general el agua residual que es descargada suele presentar valores ácidos altos (Minaya, 2017 pág. 38).

2.4.3. Características biológicas (aguas negras)

Las aguas negras (servidas) contienen una elevada cantidad de organismos vivos, gran parte de éstos son indetectables al ojo humano y para su visualización se requiere usar el microscopio, puesto que gran parte de microrganismos se mantienen con vida en las aguas residuales muchos de los cuales, por ejemplo, consumen el oxígeno del agua y con ello afectan la vida de las especies acuáticas.

Uno de los motivos para el tratamiento de las aguas servidas constituye la necesidad de controlar y de ser posible eliminar la presencia de estos organismos, en tanto el éxito del tratamiento de las aguas en cuestión constituye la degradación y descomposición de los organismos citados.

En el marco citado podríamos afirmar que los organismos vivos son los empleadores en una planta de tratamiento y estos son administrados por un operador que instala las condiciones necesarias para que puedan realizar el trabajo de control y degradación.

Los microorganismos microscópicos presentes en las aguas negras pertenecen a dos tipos generales:

Bacterias: Organismos eubacteriales procarioticos unicelulares, los que morfológicamente se clasifican en cocos, bacilos, curvados o vibrones, espirales, espinillas o espiroquetas y filamentosas.

Son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, los organismos bacteriales patógenos que acompañan las excretas humanas originan uno de los problemas más graves en áreas de malas condiciones sanitarias (Romero, 1999).

Las bacterias se clasifican en dos grupos principales:

- **Bacterias parásitas:** Las bacterias parasitarias de las aguas residuales provienen del tracto intestinal de las personas y de animales cuyas deyecciones van a parar en las aguas negras (Departamento de sanidad del Estado de Nueva York, 199).

  Entre estas bacterias se puede incluir tipos específicos como las bacterias patógenas, las cuales se generan de personas afectadas con enfermedades tales como cólera, fiebre tifoidea, disentería u otras enfermedades intestinales, la presencia de estas bacterias es una de las razones por la que las aguas residuales deben tener una recolección y tratamiento adecuado (Departamento de sanidad del Estado de Nueva York, 1999 pág. 22).

- **Bacterias saprófitas:** Se alimentan de la materia orgánica muerta, para esto descomponen sólidos orgánicos para obtener el sustento necesario y a su vez generan desechos que contienen sólidos orgánicos e inorgánicos, su importancia en el tratamiento de aguas residuales radica en la capacidad natural para descomponer los sólidos orgánicos. Las bacterias mueren una vez que cumplen con su papel en la descomposición (Departamento de sanidad del Estado de Nueva York, 1999 pág. 22).

Otros organismos microscópicos: Al igual que las bacterias en el agua residual están presentes otros organismos de tipo animal y vegetal que no son visibles, estos pueden presentar o no movilidad, pueden provenir de desechos orgánicos o del suelo, pueden ser aerobios, anaerobios o facultativas cuando se habla del requerimiento de oxígeno, en algunos casos los desechos de estos organismos son el alimento de bacterias saprófitas (Departamento de sanidad del Estado de Nueva York, 1999 pág. 24).

Otros organismos macroscópicos: Estos pueden ser visualizados fácilmente, en este grupo se puede incluir a gusanos u otros vectores que pueden estas presenten en las aguas, muchos de estos organismos son esenciales para la descomposición de la materia en la naturaleza (Departamento de sanidad del Estado de Nueva York, 1999 pág. 24).

Virus: Al igual que las bacterias los virus están presentes en todo tipo de aguas, cabe indicar que de entre todos los virus los patógenos virales son peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, al tiempo de mantener importancia económica, en efecto

el tratamiento de aguas busca convenir los métodos tradicionales con la desinfección para mejores resultados en la remoción (Andreu, y otros, 2020 pág. 2).

2.5. Etapas consideradas en el tratamiento del agua residual

En la solución/abordaje de los problemas generados por las aguas residuales generalmente se aplican/ejecutan las siguientes etapas:

- Medición del caudal.
- Análisis del agua residual por medio de la identificación de las caracterizaciones fisicoquímicas, biológicas y pruebas de tratabilidad requeridas para analizar la carga contaminante.
- Selección, previo análisis, de los tratamientos de agua más adecuados para que éstos cumplan con los parámetros establecidos en la normativa ambiental.
- Diseño y construcción.
- Operación y mantenimiento de los sistemas construidos (Bermeo, 2016 pág. 17).

2.6. Medición del caudal del agua residual

La medición del caudal o aforo es un aspecto importante que considerar en el diseño de un sistema de tratamiento de agua. Piragua (2016), señala: “El caudal es el volumen de agua que pasa por una sección especifica (ríos, quebradas, arroyo, etc) en un tiempo determinado”.

El aforo del caudal se realiza considerando las caracteristicas que tiene la sección, un aspecto importante a considerar en la cuantificación del aforo constituye el tiempo en el que se genere más caudal, asi como las caracteristicas ambientales incluidos el caudal de las precipitaciones lluviosas, los acuíferos, entre los principales métodos para obtener/cuantificar el caudal podemos señalar los siguientes –generalmente- identificados en la literatura científica como indicadores:

Método volumétrico.- Este método consiste en obtener un cociente que resulta de comparar el volumen sobre tiempo, para ello se utiliza un recipiente de *colimen conocido*, el cual se abarrotará debiendose calcular el tiempo que tarda en llenarse.

$$\mathbf{Q=\frac{V}{T}} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Q: Caudal (L/s)

V: Volumen (L)

T: Tiempo (s)

Método del vertedero: Este método propuesto por Azevedo y Acosta (1976) es el más usado como aforador, por poseer una estructura de fácil construcción, considera la longitud y la cresta.

$$Q=1,84\times L\times H^{\frac{3}{2}}$$ Ecuación 2

Donde:

L:Cresta (m)

H: Carga (m)

2.7. Clasificación de las aguas residuales

Aguas lluvia: Son caudales que en su mayor parte proceden de drenajes o escorrentías. Se caracterizan, generalmente, por ser aportaciones intermitentes de gran volumen y alta concentración de los contaminates durante los 15 a 30 primeros minutos de iniciado el fenómeno, pasado dicho tiempo los caudales arrastran exclusivamente materia en suspensión (Sánchez, 2011).

Además, incorporan la carga contaminante al atravesar la atmósfera y por lavado del terreno. En algunos casos, suelen tener un elevado calor absoluto en el contaminante, como es la escorrentía agropecuaria (Sánchez, 2011).

Aguas residuales domésticas: Este tipo de aguas se generan en actividades domiciliarias como limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas, entre otras, cuyas caracteristicas se tornan peligrosas para el ambiente y el ser humano, en éstas se incluyen la producción de alimentos en los puestos de venta (restaurantes, ventas de alimentos al mayor y por menor) los que pueden contener desechos humanos como los coliformes, grasas, detergentes, entre otros (Saboya, 2018).

Aguas residuales industriales: Estas aguas se derivan del desarrollo de actividades productivas que generalmente transforman materias primas en bienes intermedios o de uso final, se incluye en estas las actividades mineras, agrícolas, energéticas, agroindustrales (OEFA, 2015).

Aguas municipales: Son aguas producidas por los hogares, escuelas, negocios e industrias a partir de desagues administrados por la gestión municipal, entre las que destacan las aguas usadas en lavamanos, duchas, lavanderias, cocción de alimentos, inodoros y otros desagues ubicados dentro de viviendas, edicicios y otro tipo de instalaciones físicas (CLEAN TEQ WATER, 2020).

Cabe indicar que los caudales de este tipo de aguas son los que justifican la necesidad de implementar/diseñar/ejecutar plantas de tratamiento a ser operadas bajo la responsabilidad de los municipios (CLEAN TEQ WATER, 2020).

Las(tabla 1), refiere los valores tipicos de la composición de las denominadas aguas residuales domésticas brutas:

Tabla 1-2: Composición típica de agua residual doméstica bruta

Composición típica del agua residual doméstica bruta				
		Concentración		
Contaminantes	**Unidades**	**Débil**	**Media**	**Fuerte**
Sólidos totales (ST)	mg/L	350	720	1200
Disueltos, totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/L: 5 días, 20 °C (DBO_5, 20°C)	mg/L	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoniaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfato	mg/L	20	30	50

Composición típica del agua residual doméstica bruta				
		Concentración		
Contaminantes	**Unidades**	**Débil**	**Media**	**Fuerte**
Alcalinidad (como $CaCO_3$)	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	11. 0/100 ml	$10^6 - 10^7$	$10^7 - 10^8$	$10^7 - 10^9$
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	ug/L	<100	100-400	>400

Fuennte: Metcalf & Eddy, 2000
Realizado: Marisol Cunalata y Erika Pazmiño

2.8. Muestreo de las aguas residuales

Una caracterización acertada del agua residual demanda aplicar una técnica apropiada de muestreo para asegurar la obtención de resultados representativos del caudal global de aguas residuales y no –solamente- del caudal que circula en la fase de muestreo.

Una condición necesaria para que la muestra sea representativa, demanda la selección de preferencia de sitios con flujo de elevada turbulencia donde el agua residual se encuentre altamente homogenizada; sin embargo, el sitio de muestreo debe seleccionarse en base a cada problema individual de estudio (Romero Rojas, 1999).

2.8.1. Tipos de muestreo de muestreo de las aguas residuales

- **Muestra instantánea, puntual, individual:** Es la muestra tomada al azar con relación al tiempo y/o lugar de un volumen de agua) (INEN 2176, 2013).

- **Muestra compuesta:** Es la formada por dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas de la cual se puede obtener un resultado promedio de una característica determinada. Las proporciones para la mezcla se basan en las mediciones del tiempo y flujo (INEN 2176, 2013).

2.9. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales –básicamente- consiste en remover el material contaminante, orgánica e inorgánico, el cual se encuentra en forma de *sólidos en suspensión y disuelto*s, con el único fin de que el agua alcance un nivel de calidad aceptable que cumpla los parámetros establecidos en la normativa ambiental nacional.

En efecto según las características del agua el técnico propone el tratamiento más adecuado y esto conlleva al uso de energías y reactivos químicos a utilizar en función de

las tecnologías seleccionadas para generar un tratamiento óptimo (Nayola , Sagastume, & Guereca, 2013).

2.10. Etapas de tratamiento del agua residual

- **Tratamiento Preliminar**

Esta etapa de tratamiento consiste en la remoción de todos los *sólidos gruesos* como botellas, latas, roscas, bolsas, pedazos de cartón o madera, fibras tipo telas o materiales finos como semillas hisopos, residuos plásticos o de maneras que pudiesen afectar los tratamientos posteriores (TSSINTERNACIONAL, 2018).

- **Tratamiento Primario**

Esta etapa consiste en la eliminación de los sólidos en suspensión a través de operaciones físicas como la sedimentación o por medio de coagulantes, los cuales permiten la eliminación de al menos 60% de sólidos suspendidos, el 25% al 40% de la DBO. En este tipo de tratamiento destaca la sedimentación primaria, precipitación química, filtros gruesos, flotación, oxidación, floculación y filtración (Alvarez, 2020).

- **Tratamiento Secundario**

Los tratamientos secundarios también conocidos como tratamientos biológicos se basan en la eliminación de la materia orgánica biodegradable para ello emplean métodos sean aerobios o anaerobio (Ramalho R. S., 1996, pág. 253)

- **Tratamiento Terciario**

Es un proceso adicional a los tratamientos mentados que tiene como objetivo la eliminación de los llamados contaminantes remanentes, mismos que pueden encontrarse en estado coloidal o suspendido, a través de este tratamiento no solo se reduce la carga contaminante a ser vertidos en los cuerpos de agua, sino que también permite la reutilización de los recursos hídricos (Valdivielso, 2021).

- **Tratamiento de Fangos**

Los fangos son en esencia lodos o biosólidos, o sea subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante procesos mecánicos, biológicos y químicos de purificación de las aguas servidas en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los fangos contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micronutrientes, metales pesados y agua. Están formados, principalmente, por agentes contaminantes, debido a la acumulación de materias en suspensión y compuestos orgánicos en las condiciones de tratamiento (Díaz, Veliz, & Bataller, 2015 pág. 1-2).

2.11. Límites de descarga

La contaminación que se emite a los cuerpos de agua, entendida como la descarga de aguas residuales sin ningún tratamiento e incumpliendo las normas emitidas por la autoridad ambiental nacional, la cual establece límites de descarga a ser acatados por los municipios (Tabla 2), organismos que tienen la competencia del tratamiento de aguas residuales, la preservación de la vida acuática y a la recuperación de los cuerpos de agua.

Tabla 2-2: 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	30,0
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al		5,0
Arsénico Total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro Total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro Total	CN	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
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	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Unidad de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5dias)	DBO_5	mg/L	1000

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo Total	P	mg/L	10,0
Hierro Total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Material Flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio Total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados Totales	mg/L	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados	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	1 600
Sulfatos	SO4	mg/L	1000
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

Fuente: Registro Oficial – Edición Especial N.° 387 – Miércoles 4 de noviembre de 2015 - 21
Realizado por: Marisol Cunalata – Erika Pazmiño

2.12. Sistema de alcantarillado

Tradicionalmente constituye un conjunto de tuberías y obras complementarias necesarias, integradas e interconectadas para recolección de aguas residuales o pluviales (Secretaría del Agua, 2015).

2.12.1. Sistemas de alcantarillado convencionales

Los sistemas de alcantarillado convencionales son aquellos que permiten el transporte de las aguas residuales desde amplias zonas urbanas, residenciales e industriales hacia un destino final, entre estos tenemos:

- **Sistemas sanitarios**

Este sistema está compuesto por una serie de instalaciones físicas destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales generadas por un determinado sector poblacional hacia una planta de tratamiento (Castro, 2019 pág 7).

- **Sistemas pluviales**

Es un sistema diseñado con la finalidad de transportar el agua lluvia procedente de calles, tejados y otras fuentes. Este tipo de sistema no incluye la recogida de las aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 120).

- **Sistemas combinados**

Una red de alcantarillado combinado es aquel que tiene como propósito transportar aguas de origen pluvial y aguas residuales a un mismo sitio en un mismo tiempo de conducción. Un sistema combinado considera como vertedero o parte del sistema de destino final de aguas servidas a las quebradas y ríos (EMAAP-Q, 2009).

2.12.2. Sistemas de alcantarillado no convenciones

Este tipo de sistemas a pesar de no ser recomendados técnica y científicamente por lo general existen en aquellos lugares o zonas de difícil recolección, por un lado; por otro, donde por las características del espacio y restricciones topográficas, no es ni ha sido posible la implementación de sistemas de alcantarillado convencionales.

La función de estos sistemas está determinada por la posibilidad de dar una recogida a las aguas generadas en las viviendas para que finalmente puedan tener una adecuada disposición final (EPM, 2019).

Los sistemas de alcantarilla no convencional se clasifican por la tecnología aplicada y se limitan a la evacuación de las aguas, entre los cuales podemos tener:

- **Sistemas de alcantarillado simplificados**

El sistema de alcantarillado simplificado es una tecnología de saneamiento externo que elimina las aguas residuales del entorno doméstico, conceptualmente puede ser similar al alcantarillado convencional pero las características de diseño se adaptan a la situación del lugar, esta red reduce diámetros y espacios, es decir ahorra recursos de inversión (Sobrinho, 2018).

Este tipo de sistema de alcantarillado o alcantarillados a presión por gravedad no permiten el arrastre de sólidos, eliminan los sólidos de la vivienda por medio de un tanque interceptor, para que después el agua sea transportada a una planta de tratamiento o sistema de alcantarillado convencional por medio de tuberías de pequeño diámetro que no sigue una gradiente de energía uniforme y puede trabajar a presión en algunos tramos (Picón, 2019 pág. 27).

- **Sistemas de alcantarillados condominales**

En este sistema la red pública ya no necesita cubrir cada parcela de tierra o estar presente en cada calle, sino, simplemente, proporcionar un único punto de conexión a cada manzana, por lo que la longitud de red es más corta que el de un sistema convencional (Melo, 2005).

2.13. Índice de biodegradabilidad

El índice en cuestión se calcula por medio de la comparación (relación) existente entre el DBO_5 sobre el DQO, este índice posibilita tener un mayor y mejor conocimiento sobre la contaminación de las aguas residuales, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\textbf{Índice de biodegradabilidad} = \frac{\textbf{DBO}_5}{\textbf{DQO}} \qquad \text{Ecuación 3}$$

2.13.1. Tratamientos según el índice de biodegradabilidad

Según Romero (2018) “El índice de biodegradabilidad permite conocer la naturaleza del efluente e indica el tratamiento adecuado para este, ya sea un tratamiento fisicoquímico o biológico”. A continuación se plantean los índices y el tratamiento más adecuado según el índice de biodegradabilidad:

Tabla 3-2: Tratamiento del agua según su biodegradabilidad

Relación	Índice	Biodegradabilidad	Tratamiento
$\frac{DBO_5}{DQO}$	< 0,2	Poco biodegradable	Fisicoquímico
	0,4	Biodegradable	Fisicoquímico-Biológico
	> 0,5	Más biodegradable	Biológico

Fuente: (Alba, y otros, 2006)
Realizado por: Marisol Cunalata – Erika Pazmiño

2.13.2. Procesos para el tratamiento de aguas residuales

Procesos físicos: Este método aplica la separación física, generalmente de sólidos, la cual depende de las propiedades física de los contaminantes, como la viscosidad, tamaño de partícula, flotabilidad, básicamente. Entre los procesos físicos podemos encontrar el tamizado, la precipitación, separación y filtración de sólidos (Rodríguez, 2020).

Procesos químicos: Son aquellos métodos que dependen de las propiedades químicas del contaminante o reactivo incorporado al agua. Podemos destacar la eliminación del hierro y del oxígeno, la eliminación de fosfatos y nitratos, la coagulación, los procesos electroquímicos, la oxidación, intercambio de iones, etc. (Rodríguez, 2020)

Procesos biológicos: Constituyen una serie de procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos -entre las que destacan las bacterias- para llevar a cabo la eliminación de componentes "indeseables" del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre estos componentes.

Este tipo de proceso tradicionalmente consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P) (Antonio Fernández, y otros, 2006 pág. 30-31).

2.14. Estudio de impacto ambiental

2.14.1. Metodología de Leopold para la identificación de impactos

Se trata de una matriz que presenta entradas y salidas. Las columnas, o sea las entradas, registran las acciones del proyecto; las filas, contienen las salidas, es decir los componentes del medio y características de los efectos. La matriz presenta una lista de 100 acciones y 90 elementos medioambientales, cada acción debe ser considerada sobre cada uno de los componentes del entorno de manera que permita detectar su interacción, es decir los posibles impactos (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971).

2.15. Marco legal

El presente Proyecto de investigación está basado en el siguiente andamiaje ambiental jurídico legal, mismo que puede ser atendido como la arquitectura ambiental legal.

Partimos de la Constitución de la República del Ecuador, la cual por primera vez en la historia ambiental de la nación otorga derechos a la naturaleza la cual se encuentra en el Título II Derechos del buen vivir fundamentados en el art. 12, 14, además, establece la responsabilidad de los municipios en dotar de todos los servicios públicos de agua potable (segura) y el saneamiento adecuado de las mismas, se fundamenta en el Título V Régimen del buen vivir art. 264 y 411 (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Por otro lado, el Código Orgánico del Ambiente en los Título III y IV menciona el derecho de la población en vivir en un ambiente sano y la obligación jurídica de los daños o impactos ambientales que causare al ambiente (Código Orgánico del Ambiente (COA), 2017).

Sin embargo, el en su artículo 55 del COOTAD menciona la responsabilidad/obligación de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) de prestar servicios de calidad a la ciudadanía sin vulnerar sus derechos establecidos en la ley (Código Orgánico Organización Territorial y Autonomía Descentralización (COOTAD), 2010).

La Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua en los Capítulos II, III y VI contempla los principios de gestión adecuada que debe brindar en lo relacionado con los recursos hídricos según lo establecido en los art. 37, 38 del citado cuerpo legal. Igualmente, el derecho de la Pacha Mama y la Conservación del Agua que implanta/garantiza en el art. 64; en tanto, las prohibiciones de verter las aguas residuales sin previo tratamiento que contaminen el recurso hídrico se encuentran fundamentada en el art. 80 (Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Por último, la Ley Orgánica de Salud en los artículos 4, 96, 102, 104 y 105, dispone y reconoce al Misterio de Salud Pública como la entidad de derecho público encargada de proteger el derecho a la salud de los seres humanos; por lo tanto, dentro de las obligaciones en cuestión establece la obligación de dar un tratamiento adecuado a los desechos sólidos y las aguas residuales generadas en estas entidades (Ley Orgánica de Salud, 2006).

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica de la ciudad de Guaranda

Guaranda, cabecera cantonal y capital de la provincia Bolívar, ubicada en el centro del Ecuador, específicamente en la Hoya de Chimbo, limita al norte con la provincia de Cotopaxi, al sur con los cantones San José de Chimbo y San Miguel, al este con las provincias de Chimborazo y Tungurahua, al oeste con los cantones Las Naves, Caluma y Echeandía.

La ciudad de Guaranda está integrada por tres parroquias urbanas: Guanujo, Gabriel Ignacio de Veintimilla y Ángel Polibio Chávez, posee una superficie de 9.5 km^2, la ciudad en cuestión es una de las más altas de región debido que se encuentra en un rango altitudinal de 2.668 msnm.



Figura 1. Parroquias urbanas de la ciudad de Guaranda
Fuente: Marisol Cunalata - Erika Pazmiño

3.1.2. Ubicación del sistema de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas servidas objeto de estudio del proyecto de investigación está ubicada en la ciudadela Marcopamba, lado sur de la ciudad de Guaranda, específicamente en las coordenadas 722428.00 m E y 9822589.00 m S zona 17M, constituye, geográficamente, el punto más bajo de la ciudad al registrar una altitud de 2.654 msnm (Figura 2)



Figura 2. Ubicación de la planta de tratamiento
Fuente: Marisol Cunalata – Erika Pazmiño

3.1.3. Clima de la zona

Territorialmente, el cantón Guaranda, específicamente la zona urbana y de influencia del proyecto, posee una temperatura que varía de entre los cuatro grados centígrados a los siete grados, un clima propio de la zona andina y de los páramos fríos, además existen pequeñas extensiones de terreno con microclimas.

A causa de la disposición geográfica del cantón se evidencia un fuerte descenso de su territorio desde alturas andinas dominadas por un clima frío que a veces registra temperaturas de entre uno y dos grados centígrados, hasta llegar a una especie de valle rodeado por siete colinas, mismas que atenúan en cierta medida los efectos del viento y condicionan las variaciones de temperaturas en un amplio rango.

Las temperaturas bajas se presentan en la zona (andina) alta de noviembre hasta abril y las más elevadas desde mayo a octubre. Es decir, la ciudad de Guaranda desde la óptica de clima se caracteriza por poseer dos temporadas: una de lluvias y otra de sol, denominadas invierno y verano en su orden.

3.2. Tipo o diseño de investigación

El presente estudio de tipo descriptivo busca recoger/sistematizar información in situ de cada una de las variables que influyen directa e indirectamente en la calidad del agua residual por medio del uso de la técnica de revisión.

Cuantitativo, porque a través de la caracterización del agua residual en el laboratorio, la cuantificación de las aforaciones y el uso de modernas técnicas de cálculo de varios indicadores relacionados con el tratamiento de aguas se logra medir y determinar las necesidades reales de la planta, identificación del espacio e instalaciones requeridas y los tratamientos idóneos a implementar para poder rediseñar la misma y que por ende cumpla con los objetivos de tratamiento y reducción de contaminantes.

3.3. Método de investigación

La investigación se basa en los criterios fundamentales del conocimiento humano: inducción, deducción, análisis y síntesis. En efecto, la rigurosidad científica/académica de la investigación se apoya en la revisión bibliográfica, hemeroteca y entrevistas a expertos relacionados con el tema.

La demanda de calidad científica de la investigación da lugar a que la misma parta de un selectivo análisis de la bibliografía y documentación relacionada con el tema de estudio,

para dar lugar a una profunda sistematización de referencias bibliográficas, para, previo análisis, proceder a sintetizar las de mayor interés.

En efecto, “los métodos de información bibliográfica para la investigación son aquellos que permitirán al usuario utilizar la información registrada en determinados documentos para llevar a cabo su propia investigación (Eco, 2002).

Adicional, se emplean papers, monografías, libros y páginas Web, cuyos contenidos previa recolecta, selección, análisis, dan lugar a la presentación de cuadros, modelos de cálculo, resultados coherentes, entre otros, definidos con relación a los objetivos planteados.

3.3.1. Caracterizar las cargas contaminantes e hidráulicas de las aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda, mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y mediciones de caudales.

3.3.1.1. Muestreo

El muestreo de agua se define como “el análisis que se realiza a partir de muestras concretas recogidas en un lugar y un momento determinados, que presentan unas características concretas” (Fluideco, 2019), por un lado; por otro, cabe indicar que el proceso de toma de una muestra de agua obligadamente es manual, acción per se laboriosa: “se emplean frascos de vidrio para recoger las muestras y llevarlas posteriormente a laboratorios donde serán examinadas en base a unos determinados parámetros” (ibidem, 2020).

En dicho contexto, con el fin de analizar la calidad del agua residual se tomaron muestras en el punto de descarga a diferentes horas; para realizar el análisis fisicoquímico se tomaron como muestra dos litros de agua por caracterización en envases de vidrio color ámbar limpios y sin contaminantes, en efecto los envases fueron llenados al ras sin generar burbujas y de inmediato las muestras fueron etiquetadas (día, mes, año, hora, sitio, recolector).

Por otra parte, la recolección de muestras para el análisis biológico se tomó en envases de plástico de 100 ml por caracterización, proceso realizado mediante el llenado directo del frasco dejando un espacio con la finalidad de evitar posibles contaminaciones por contacto con la tapa, acto seguido fueron etiquetados y almacenados por separado (unas de otras) para evitar la contaminación de éstas.

La recolección de muestras fue realizada en el mes de febrero del 2021, las caracterizaciones del agua suman seis, las que cumpliendo con todas las normas técnicas de seguridad ambiental fueron trasladadas al laboratorio de la EMAPA-G, ubicado en la ciudadela Chaquisca, lugar en el cual fueron realizadas las caracterizaciones fisicoquímicas, microbiológicas y pruebas de tratabilidad, cumpliendo con las normas técnicas respectivas.

Tabla 4-3: Recolección de las muestras

Toma de muestra	Hora	Ingreso al laboratorio	Hora
9/2/2021	7:30	**9/2/2021**	8:50
11/2/2021	7:00	**11/2/2021**	8:50
15/2/2021	8:30	**15/2/2021**	9:30
18/2/2021	8:30	**18/2/2021**	9:15
24/2/2021	8:00	**24/2/2021**	8:40
27/2/2021	7:00	**27/2/2021**	8:50

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

3.3.1.2. Métodos y técnicas

3.3.1.3. Técnicas

Las técnicas utilizadas si bien fueron descritas y explicadas en líneas anteriores son: caudal y análisis de laboratorio

- **Caudal**

La medición del caudal se realizó in situ en el punto de descarga, ubicado en la ciudadela Marcopamba, el proceso de recopilación muestral se realizó tres veces durante los siguientes días:

Tabla 5-3: Horarios de medición del caudal

Inicio		Final	
Día	**Hora**	**Día**	**Hora**
Viernes, 4 de junio del 2021	8:30	Viernes, 4 de junio del 2021	18:30
Sábado, 5 de junio del 2021	7:00	Sábado, 5 de junio del 2021	17:30
Miércoles, 9 de junio del 2021	23:00	Miércoles, 9 de junio del 2021	3:30

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Específicamente, para medir los caudales se seleccionó y utilizó el método del vertedero, debido a que según Azevedo y Acosta (1976) para casos como el de la orografía de Guaranda es necesario considerar la longitud de la cresta y la altura que alcanza el agua

residual que está siendo descargada en el cuerpo de agua. La medición del caudal se realizó en intervalos de treinta minutos (Anexo A).



Figura 3. Vertedero rectangular
Fuente: (Garay, 2016)

- **Análisis de laboratorio**

El análisis de muestras se realizó en el laboratorio de la EMAPA-G, ubicado en la ciudadela Chaquisca, el citado laboratorio utiliza las técnicas establecidas en el MANUAL DE AGUA HACH 2000, por ser la de mayor uso y efectividad en el (Anexo B) se establecen las técnicas empleadas para cada uno de los parámetros analizados.

3.3.1.4. Métodos

Tabla 6-3: Parámetros físicos, unidad y método para caracterizar el agua residual

Parámetro	Unidad	Método
Color	PtCo	Colorímetro
Sólidos totales disueltos	mg/L	Conductímetro
Sólidos totales	mg/L	Conductímetro
Potencial de hidrógeno		Potenciómetro
Temperatura	°C	Termómetro
Conductividad	uS/cm	Conductímetro

Fuente: Laboratorio del Emapa-G
Realizado por: Marisol Cunalata y Erika Pazmiño

Tabla 7-3: Parámetros químicos, unidad y método para caracterizar el agua residual

Parámetro	Unidad	Método
Aceites y grasas	mg/L	Espectrofotométrico
Arsénico Total	mg/L	Espectrofotométrico
Aluminio	mg/L	Espectrofotométrico
Bario	mg/L	Espectrofotométrico
Boro	mg/L	Espectrofotométrico
Cadmio	mg/L	Espectrofotométrico

Parámetro	Unidad	Método
Cianuro	mg/L	Fotométrico
Cloro activo	mg/L	Espectrofotométrico
Cloruros	mg/L	Espectrofotométrico
Cobalto	mg/L	Espectrofotométrico
Cobre	mg/L	Espectrofotométrico
DQO	mg/L	Espectrofotométrico
DBO_5	mg/L	Fotométrico
Estaño	mg/L	Fotométrico
Plomo	mg/L	Fotométrico
Fluoruros	mg/L	Espectrofotométrico
Fósforo Total	mg/L	Espectrofotométrico
Hierro Total	mg/L	Espectrofotométrico
Manganeso Total	mg/L	Espectrofotométrico
Níquel	mg/L	Espectrofotométrico
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	Espectrofotométrico
Oxígeno Disuelto	mg/L	Fotométrico
Plata	mg/L	Fotométrico
Plomo	mg/L	Fotométrico
Sulfuros	mg/L	Espectrofotométrico
Sulfatos	mg/L	Espectrofotométrico
Tensoactivos	mg/L	Espectrofotométrico
Zinc	mg/L	Fotométrico

Fuente: Laboratorio del Emapa-G
Realizado por: Marisol Cunalata y Erika Pazmiño

Tabla 8-3: Parámetros microbiológicos, unidad y método

Parámetro	Unidad	Método
Escherichia Coli	Col/100 Ml	Filtración de membrana al vacío

Fuente: Laboratorio del Emapa-G
Realizado por: Marisol Cunalata y Erika Pazmiño

3.3.1.5. Índice de biodegradabilidad del agua residual

Una vez obtenidas las muestras y los resultados de las pruebas y análisis de laboratorio se proceden a seleccionar un índice de biodegradabilidad de agua residual considerando las posibilidades reales de tratamiento del agua y las condiciones de estas previas a su disposición final.

3.3.2. Analizar el estado actual de la planta de tratamiento de la ciudadela Marcopamba, a través de mediciones de las dimensiones de cada operación unitaria, visitas técnicas y revisión de planos.

3.3.2.1. Estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Actualmente, el sistema de tratamiento en análisis está compuesto por los siguientes procesos de tratamientos: un tanque rompe presión a la entrada de la planta, seguido por un canal rectangular que direcciona el agua residual hacia el desarenador, posteriormente éste se conecta a una trampa de grasa, el proceso -más adelante- cuenta con un sedimentador y seguido el agua servida pasa a los filtros para finalmente ser descargada al río a través de un canal.

3.3.2.2. Procesos existentes

La planta de tratamiento cuenta con los siguientes sistemas de tratamiento de aguas servidas:

Tanque rompe presión. - Uno de los fines del tanque es la reducción de la velocidad del agua residual con el propósito de que la misma ingrese hacia la planta de tratamiento. El tanque de hormigón armado posee las siguientes dimensiones: 1,64 m y 1,64 m (ancho, longitud), profundidad de 1,55 m.



Figura 4. Tanque rompe presión

Canal de entrada. – El canal en franco deterioro es una acequia rectangular de cemento que tiene como fin direccionar el agua residual a otros tratamientos. El canal de aproximadamente 15 metros de longitud tiene una altura total de 0,67 m un ancho 0,55 m y un borde de 0,22 m.



Figura 5. Canal de la entrada del agua

Desarenador. – Constituye una serie de trampas distribuidas dentro de una superficie de 20 x 11 x 1,75 m (largo, ancho, profundidad) con un volumen de 385 m^3 de capacidad, tiene como propósito retirar partículas y otros sólidos no tan grandes no absorbidos o retenidos en el desbaste.



Figura 6. Desarenador

Trampa de grasas. – Este sistema de varias cajas de cemento tiene como propósito atrapar grasas y aceites que puedan afectar el proceso de tratamiento de agua servida, tiene las siguientes dimensiones 11 x 6,5 x 3 m (largo, ancho y profundidad), con un volumen de 214 m^3; sin embargo, su objeto no es claro y al parecer en el caso que nos ocupa no cumple las normas técnicas que el proceso demanda.



Figura 7. Tanque de grasas

Sedimentador. – Una vez realizado el proceso de desarenado según las normas técnicas pasa al proceso de sedimentación. El sedimentador de la planta en análisis consta de una canal de entrada con un aliviadero que reduce la velocidad del caudal, para sedimentar por gravedad las zonas: son: lodos, sedimentación y salidas. Las dimensiones del sedimentador son 21 m x 14 x 2,30 (ancho, largo, profundidad) y un volumen de 676,2 m^3.



Figura 8. Sedimentador

Filtros. – La planta para este proceso cuenta con seis filtros de 7 m x 16 m x 1,70 m (ancho, largo, profundidad) y un volumen de 190 m^3.



Figura 9. Filtros

3.3.2.3. Planteamiento de alternativas

Según la caracterización realizada del agua residual se plantean las siguientes alternativas de rediseño a emplear en la planta de tratamiento existente, el tratamiento fue simulado mediante el programa Vensim Ple el cual permite la elaboración de diagramas de texto sencillos para un posterior análisis y selección de la opción más viable.

Los sistemas planteados deben estar en función de reducir de mejor manera la carga contaminante, metales, cloruros y nutrientes presentes en el agua residual además de requerir de un consumo mínimo de energía. La alternativa uno considera la adición de

los siguientes químicos: policloruro de aluminio (PAC) como coagulante y Chemfloc floculante.

Alternativa 1: Coagulación/floculación con Policloruro de aluminio y Chemfloc

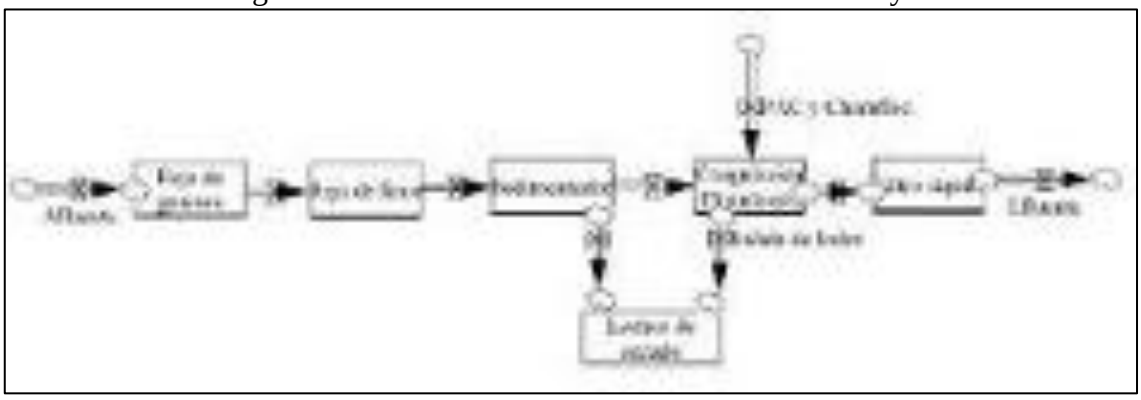


Figura 10. Alternativa 1 de tratamiento

De igual forma, la alternativa dos considera la adición de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulante y Cal como floculante para remover la contaminación presente en el agua residual.

Alternativa 2: Coagulación/floculación con sulfato de aluminio y cal

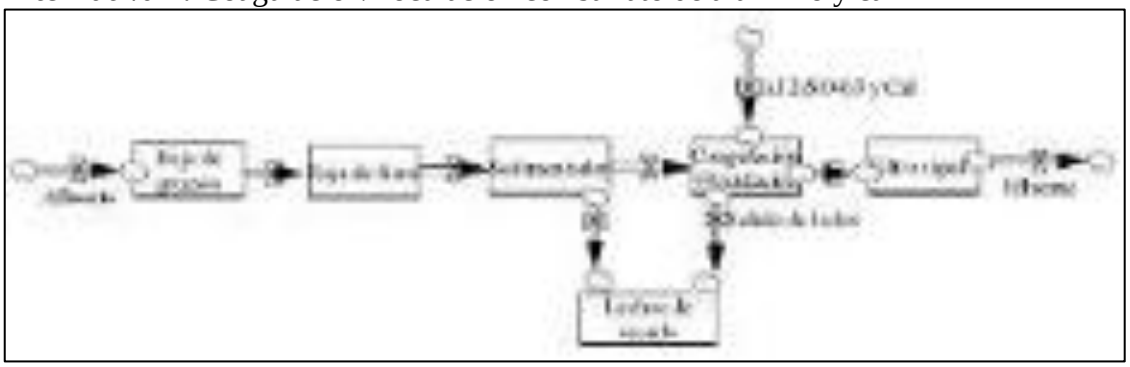


Figura 11. Alternativa 2 de tratamiento

Por último, la alternativa tres considera la adición de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Chemfloc para llevar a cabo el proceso de coagulación/floculación.

Alternativa 3: Coagulación/floculación con sulfato de aluminio y Chemfloc

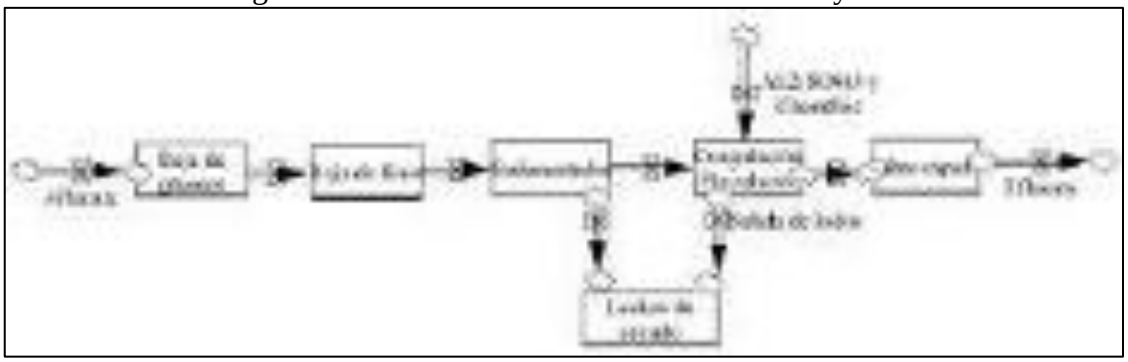


Figura 12. Alternativa 3 de tratamiento

3.3.3. Seleccionar el tren de tratamiento más adecuado en función de la remoción de carga orgánica, costos de inversión y espacio para realizar las pruebas de tratabilidad.

3.3.3.1. Análisis de las alternativas

Para seleccionar el tratamiento más adecuado se realizó un análisis que consiste en analizar la capacidad de remoción que ofrece el tratamiento, los costos que representan su construcción y mantenimiento, además de la complejidad de la operación y el consumo de energía que este requiere a este sistema se le otorga una calificación siendo 1 la condición más favorable, 0,5 la condición intermedia y 0,1 la condición más negativa.

Tabla 9-3: Complejidad de las alternativas

	Remoción de carga orgánica	Remoción de metales	Remoción de cloruros	Remoción de nutrientes	Costo de inversión	Costo de mantenimiento	Espacio	Complejidad en la operación	Consumo energético	Total
A1	1	1	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,8
A2	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,3
A3	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

3.3.3.2. Pruebas de tratabilidad para el agua residual

Una vez realizado el cálculo del índice de biodegradabilidad y realizar el análisis de las diferentes alternativas de tratamiento que requiere el agua residual, previo muestreo de cada uno de los parámetros del agua descargada diariamente al río se procede a realizar comparaciones con aquellos que establece la normativa ambiental vigente para identificar los parámetros que superan los límites establecidos.

Por medio de las pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio se logra establecer los tratamientos más adecuados a implementar y la capacidad de remoción de cada uno de éstos, los que serán aplicados en una planta que opere a escala real.

En el caso de la coagulación y floculación se puede identificar cuáles son las dosis óptimas de reactivo, velocidad y tiempo que una vez aplicado el tratamiento recomendado puede eliminar el mayor volumen de carga contamínate.

En las instalaciones del laboratorio de la EMAPA-G, como resultado de la intervención del presente proyecto los técnicos de la citada empresa con las investigadoras, utilizando los recursos existentes, diseñan y ponen en funcionamiento una planta piloto, misma que permite ejecutar cada uno de los tratamientos seleccionados para el tratamiento del agua residual muestreada.

Acción que demanda en su momento el uso de mallas metálicas con separación de 10 mm para retener los sólidos, cuatro tinas plásticas rectangulares, dos baldes de 12 litros, insumos que permiten generar simulaciones de los tratamientos a ser aplicados (sedimentador, desarenador, coagulación – floculación, filtro de antracita y los lechos de secado para los lodos residuales) y poder verificar los niveles de eficiencia de cada uno.

Por otra parte, el proceso de coagulación/floculación fue realizado utilizando la técnica de prueba de jarras, para ello se diluyó el coagulante policloruro de aluminio (PAC) al 4%, 3%, 5% con agua destilada en un matraz aforado de 100 ml con el propósito de conocer los niveles de reacción y proceder a seleccionar la que se considere como la mejor reacción.

Para la selección del floculante se utilizó una balanza analítica con el fin de seleccionar el volumen óptimo de cantidad a preparar y que a su vez genere coherencia con los fines propuestos para el tratamiento del agua residual. Además, se realizó una dilución de 15 gramos de sulfato de aluminio $AL_2(SO_4)_3$ y cal en dos matraces aforados de 1000 ml con el fin de conocer que químicos pueden generar una mejor remoción de la contaminación en el agua residual según los resultados obtener las mejores dosis para implementarlo en la planta de tratamientos.



Figura 13. Dilución del coagulante
Fuente: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Una vez seleccionadas las dosis óptimas de reactivos se realizan ocho pruebas con el agua residual necesarias para determinar el tratamiento primario de éstas, el procedimiento fue el siguiente:

- Se analizan los siguientes parámetros: turbiedad, conductividad, pH, sólidos totales disueltos en el agua residual.
- Llenado de dos vasos de precipitación con 1000 ml de agua residual, los que son colocados en la prueba de jarras.
- Adición en la muestra de agua residual de la dosis del coagulante y floculante.
- Cuantificación y análisis del tiempo de demora de sedimentación del flóculo (del lodo generado).
- Finalmente se analiza y comparan los parámetros iniciales con aquellos obtenidos después de la prueba de jarras para cuantificar el porcentaje de remoción del tratamiento.

Para realizar el análisis de la eficiencia del proceso de sedimentación se aplicaron dos pruebas. La primera, utiliza un vaso de precipitación de 1000 ml y mediante etiquetado se registra el proceso de sedimentación después del tratamiento primario (floculación); la segunda, consiste en llenar con el agua objeto del tratamiento primario una tina rectangular, este tipo de pruebas permiten determinar el tiempo que tardan en sedimentar los sólidos presentes en un volumen específico de agua.

Igualmente, en el proceso de filtración se emplean dos métodos. El primero, hace uso de una bandeja rectangular la cual se procede a llenar con grava y antracita. El segundo, utiliza un soporte universal y un embudo de filtración, a continuación, se procede a establecer el tiempo que tarde en filtrar el agua, para de inmediato proceder al análisis de los parámetros físicos como conductividad, pH, sólidos totales disueltos y turbiedad para analizar la eficiencia y calidad del tratamiento utilizado.

3.3.4. Realizar el (re)dimensionamiento de los tratamientos escogidos en la propuesta inicial de tratamiento de aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad de Guaranda

Un (re)diseño de un sistema de tratamiento de aguas servidas demanda procesar variada información que en su momento será clave para la sostenibilidad y viabilidad de este.

3.3.4.1. Datos de partida

Determinación de la población futura

Este indicador requiere el uso de información fáctica generada en organismos oficiales sumada la utilización de métodos de proyección de la población recomendados por los organismos internacionales. Sin embargo, por lo general se usa la fórmula siguiente:

$$\mathbf{Pf}=Pa\ (1+i)^{t} \qquad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Pf: Población futura

Pa: Población Actual (9350[1])

i: Índice de crecimiento de la planta (1,57% [2])

t: Proyección de la planta (20 años)

Dotación de agua

La dotación hace referencia a la cantidad de agua asignada por habitante, considerando el consumo de las pérdidas físicas en el sistema, esta se obtiene por medio del caudal promedio registrado sobre la población actual.

$$\mathbf{Dot}=\frac{\mathbf{Qmd}}{\mathbf{Pa}} \qquad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Dot: dotación de agua (L/hab. día)

Qmd: Caudal medio diario (L/ día)

Pa: población actual (hab)

3.3.4.2. Estimación del caudal

Caudal registrado

Este caudal se obtiene por medio de registros diarios instantáneos en la sección de descarga por medio del registro del caudal se puede obtener la caudal promedio y el caudal máximo registrado en un tiempo determinado.

1 Municipio de Guaranda, Planificación

2 INEN

Caudal ilícito

El aporte de estas aguas proviene principalmente por conexiones equivocadas que se hacen de las aguas lluvias domiciliarias, vertientes y de conexiones clandestinas hacia el sistema de alcantarillado (GT, 2018).

Caudal medio diario

El caudal medio diario resulta de la diferencia entre el caudal registrado y el caudal de conexiones ilícitas que terminan por conectarse al sistema de alcantarillado.

$$\mathbf{Qmd = Qpdr - Qci} \qquad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Qmd: Caudal medio diario (L/seg)
Qpdr: Caudal promedio diario registrado (L/seg)
Qci: Caudal de conexiones ilícitas (L/seg)

Caudal máximo

El caudal máximo resulta de diferencia entre el caudal máximo registrado y el caudal de conexiones ilícitas este se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Qmáx = Qmr - Qci} \qquad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

Qmáx: Caudal medio diario (L/seg)
Qmr: Caudal máximo registrado (L/seg)
Qci: Caudal de conexiones ilícitas (L/seg)

Determinación del caudal del caudal de diseño

De acuerdo con (Yerén, 2017) el caudal de diseño permite determinar la probabilidad de ocurrencia de distintas magnitudes de crecida, esta debe ser precisa ya que establece la estructura requerida para el saneamiento del agua residual; para esto se proyecta en una poblacion futura y el consumo de agua.

Para la determinación del caudal de diseño se aplican los criterios establecidos en la "Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes".

Caudal medio diario futuro de aguas residuales

Este caudal permite hacer una estimación de las descargas que se emitirán al cuerpo de agua en los siguientes años, para esto se determina la población futura y la dotación de agua consumida.

$$\mathbf{Qmdf} = \left(\frac{\mathbf{Pf} \times \mathbf{Dot}}{\mathbf{1000}}\right) \qquad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

Qmdf: Caudal medio diario futuro de aguas residuales (L/seg)

Pf: Población futura (hab)

Dot: Dotación (L/hab. día)

Coeficiente de mayoración

Se estima por medio de la relación del caudal máximo instantáneo sobre el caudal medio diario en un mismo periodo (INEN, 1992).

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{Qmáx}}{\mathbf{Qmd}} \qquad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

M: coeficiente de mayoración

Qmáx: Caudal máximo (L/seg)

Qmd: Caudal medio diario (L/seg)

Caudal máximo diario futuro de aguas residuales

El caudal máximo de aguas residuales que se podría observar en cualquier año dentro del periodo de diseño, normalmente se lo calcula para el final del periodo de diseño (INEN, 1992).

$$\mathbf{Qmáxdf} = \mathbf{Qmdf} \times \mathbf{M} \qquad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Qmáxdf: Caudal máximo diario futuro de aguas residuales (L/seg)

Qmdf: Caudal medio diario futuro de aguas residuales

M: Coeficiente de mayoración

Caudal de infiltración

La infiltración de aguas en el sistema de alcantarillado se genera por fisuras en los conectores, en juntas ejecutadas de manera deficiente, en la unión de colectores y demás estructuras, su estimación debe realizarse a partir de aforos donde el consumo de agua sea mínimo, por recomendación de la empresa del departamento técnico de EMAPA-G se asume un valor de 2.

Caudal medio de diseño

El caudal medio de diseño se determinará sumando el caudal promedio de aguas servidas domésticas, más el caudal de efluentes industriales admitidos al sistema de alcantarillado y el caudal medio de infiltración y el caudal de aguas ilícitas (INEN, 1992).

$$\mathbf{Qmdf = Qmdf + Qin + Qci} \qquad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Qmd: Caudal medio diario futuro de aguas residuales (L/seg)

Qmdf: Caudal medio diario futuro (L/seg)

Qci: Caudal de conexiones ilícitas (L/seg)

Caudal máximo de diseño

$$\mathbf{Qmd = Qmdf + Qin + Qci} \qquad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

Qmd: Caudal máximo diario futuro de aguas residuales (L/seg)

Qmdf: Caudal máximo diario futuro (L/seg)

Qin: Caudal de infiltración (L/seg)

Qci: Caudal de conexiones ilícitas (L/seg)

3.3.4.3. Canal de entrada

Los canales pueden ser naturales (ríos, arroyos) o artificiales. La función principal es el transporte de un líquido hacia un destino final, en las plantas de tratamiento de aguas residuales, este sistema permite el transporte del agua residual para que estas reciban un tratamiento, tienen una estructura física bien definida.



Figura 14. Canal de entrada
Fuente: (Asocanal, 2009)

Área hidráulica

Para obtener el área hidráulica del canal se establece una relación del caudal que ingresa a la planta sobre la velocidad

$$A=\frac{Qd}{V} \qquad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

A: Área (m^2)

Qd: Caudal de diseño (m^3/s)

V: Velocidad, se toma un valor de 0,45 m/s valor tomado del Código ecuatoriano de la construcción

Base del canal

Se considera 0.56 m del canal existente en la planta el cual transporta las aguas residuales a posteriores tratamientos.

Tirante normal

Se calcula la relación que existente del área sobre la base del canal a continuación se estable la siguiente ecuación.

$$y=\frac{A}{b} \qquad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

y: Tirante normal (m)

b: base del canal (m)

Altura total: la altura total del canal adiciona a la altura del tirante de agua una altura de seguridad para mejorar la efectividad del canal a continuación se propone la siguiente ecuación:

$$Ht = y + Ho$$ Ecuación 15

Donde:

Ht: Altura total (m)

Ho: Altura de seguridad se asume un valor de 0,50 m

3.3.4.4. Pretratamiento

Cribado

El cribado, también llamado desbrozo, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. La distancia o las aberturas de las rejillas del cribado dependen del objeto de éstas, en tanto su limpieza se hace de manera manual o mecánicamente. Los productos bien pueden ser destruidos por incineración, digestión anaerobia, o por traslado al vertedero. Los sólidos recogidos suelen clasificarse en finos y gruesos (Ramalho, 1991 pág 92).



Figura 15. Rejillas
Fuente: (Estruagua, 2019)

Rejillas de limpieza manual

Las rejillas de limpieza manual se rastrillan con una placa perforada donde drenan los desechos antes de ser retirados para su eliminación, si esta es realizada con poca frecuencia, cuando el remanso causado por la acumulación de sólidos finalmente se libera por la limpieza, puede provocar oscilaciones bruscas de flujo, estas oleadas de velocidad pueden reducir la eficiencia de captura de los sólidos (Metcalf & Eddy, 1995).

Tabla 10-3: Características de las rejillas

Características	Limpieza Manual	Limpieza Automática
Tamaño de barro: Anchura, mm Profundidad, mm	 5 – 15 25 – 37,5	 5 – 15 25 – 37,5
Separación entre barras, mm	25 – 50	15 – 75
Pendiente en relación con la vertical, grados	25 – 50	50 – 82,5
Velocidad de aproximación, m/s	150	150
Pérdida de carga admisible, mm	150	150

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Reja de gruesos

Longitud de las barras

$$L=\frac{Ht}{sen\ ø} \qquad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

L: Longitud de la reja (m)

Ht: altura total (m)

ø: Ángulo de la inclinación (°)

Número de barras

$$C=\frac{W-ndb}{n+1} \qquad \text{Ecuación 17}$$

Despejando:

$$n=\frac{W-C}{C+db}$$

Donde:

C: Claro de barras (apertura) (m)

W: Ancho del canal (m)

n: Número de espacios

n+1: Número de barras

db: Espesor de la barra (m)

Velocidad de acercamiento, aguas arriba:

$$\mathbf{Va=\frac{Q}{(W-db)h}} \qquad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

Va: Velocidad de acercamiento (m/s)

Q: Caudal (m^3/s)

W: Ancho del canal (m)

h: Tirante hidráulico (m)

db: Espesor de la barra (m)

Velocidad a través de la reja

Cálculo previo para realizar:

$$\mathbf{Ar= n \times db \times h} \qquad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

Ar: Área de las rejas (m^2)

n: Número de espacios (m)

h: Tirante hidráulico (m)

$$\mathbf{Vr=\frac{Q}{A-Ar}} \qquad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

Vr: Velocidad a través de la reja (m/s)

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área del canal (m)

Ar: Área de las rejas (m^2)

Pérdida de carga en las rejillas: La pérdida de carga en las rejillas es también conocida como pérdida de energía, esta es la diferencia de alturas antes y después de las rejillas; está relacionada con la frecuencia con la que se limpia y la cantidad de material desecho que se lleva al agua a tratar (Ramalho R. S., 1996).

$$\mathbf{hL = \frac{1}{0,7}\left(\frac{V^2r - V^2a}{2g}\right)} \qquad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

hL: Pérdida hidráulica (m)

Vr: Velocidad a través de la reja (m/s)

Va: Velocidad de acercamiento (m/s)

g: Gravedad (9,8 m/s^2)

Rejas de finos

Longitud de las barras

$$\mathbf{L = \frac{Ht}{sen\ ø}} \qquad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

L: Longitud de la reja (m)

h: Tirante hidráulico (m)

hb: Borde libre (m)

ø: Ángulo de la inclinación (°)

Número de barras

$$\mathbf{C = \frac{W - ndb}{n + 1}} \qquad \text{Ecuación 23}$$

Despejando:

$$\mathbf{n = \frac{W - C}{C + db}}$$

Donde:

C: Claro de barras (apertura) (m)

W: Ancho del canal (m)

n: Número de espacios

n+1: Número de barras

db: Espesor de la barra (m)

Velocidad de acercamiento, aguas arriba:

$$\mathbf{Va=\frac{Q}{(W-db)h}} \qquad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

Va: Velocidad de acercamiento (m/s)

Q: Caudal (m^3/s)

W: Ancho del canal (m)

h: Tirante hidráulico (m)

db: Espesor de la barra (m)

Velocidad a través de la reja

Cálculo previo para realizar:

$$\mathbf{Ar= n \times db \times h} \qquad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

Ar: Área de las rejas (m^2)

n: Número de espacios (m)

h: Tirante hidráulico (m)

$$\mathbf{Vr=\frac{Q}{A-Ar}} \qquad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

Vr: Velocidad a través de la reja (m/s)

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área del canal (m)

Ar: Área de las rejas (m^2)

Pérdida de carga en las rejillas:

$$\mathbf{hL} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{0,7}}\left(\frac{\mathbf{V^2r} - \mathbf{V^2a}}{\mathbf{2g}}\right) \qquad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

hL: Pérdida hidráulica (m)

Vr: Velocidad a través de la reja (m/s)

Va: Velocidad de acercamiento (m/s)

g: Gravedad (9,8 m/s^2)

Desarenador

Un desarenador es una estructura física que permite la eliminación de materiales como arenas, arcillas, gravas y similares con un peso cercano a 2,65 g/cm^3 y tamaños superiores a los 0,15 mm de diámetro. Este tipo de tratamiento es de cierta manera obligado ya que protege las tuberías y accesorios, permitiendo la erosión y acumulación de las materias en los tratamientos posteriores (Albuja, Pinos , & Samaniego, 2013).



Figura 16. Desarenador de flujo Horizontal
Fuente: (Jef, 2016)

Tabla 11-3: Criterios de diseño para el Desarenador

CRITERIOS DE DISEÑO		
Parámetros	**Rango**	**Unidades**
b: Ancho del canal	1	m
ρH2O	999,2	Kg/m^3
htolva	0,5	M
V: viscosidad dinámica	0,01146	$N*s/m^2$

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Área del desarenador falta la tabla

$$A=\frac{Qmáxd}{V}$$ Ecuación 28

Donde:

A: Área del desarenados (m^2)

V: velocidad se asume (0,30 m/s)

Qmáxd: Caudal máximo de diseño (m^3/s)

Tirante de agua

$$y=\frac{A}{b}$$ Ecuación 29

Donde:

Y: tirante de agua (m)

b: ancho del canal valor asumido de la tabla 5

Velocidad sedimentación

$$Vs=\frac{1}{18\ m}g\left(\frac{\rho s-1}{\eta}\right)d^2$$ Ecuación 30

Donde:

Vs: Velocidad de sedimentación (cm/seg)

D: Diámetro de la partícula (0,1 mm)

n: Viscosidad cinemática

ps: Peso específico relativo de la arena (2,65 g/c m^3)

Cálculo de la viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del agua, que depende la temperatura medida de forma in situ en el campo siendo esta 15°C.

$$\eta=\frac{v}{\rho\ H2O}$$ Ecuación 31

Donde:

V: viscosidad dinámica (0,01146 N x s/m^2)

ρH2O: densidad del agua (999.2 kg/ m^3)

Se procede a remplazar en la ecuación de Stokes:

$$Vs=\frac{1}{18}g\left(\frac{\rho a-\rho}{\mu}\right)d^2 \quad \text{Ecuación 32}$$

Área de sedimentación

$$As=\frac{Qmáxd}{Vs} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

As: Área de sedimentación (m^2)

Longitud del canal

$$Ls=\frac{As}{b} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

Ls: longitud del canal (m)

Área para almacenar arena

$$Aa=b\times htolva \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

Aa: Área para almacenar arena (m^2)

htolva: valor asumido de la tabla 5

Volumen para almacenar área

$$Va=Ls\times Aa \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

Va: Volumen para almacenar arena (m^3)

Volumen de arena

Según OMS (1981), señala que la cantidad de arena recogida por el desarenador varía de 7.5 a 90 L por cada 1000 m^3 de agua residual, por lo que adoptamos un valor medio de 50 L (0.05 m^3) por cada 1000 m^3, este valor debido a que el sistema de alcantarillado es combinado

Volumen medio diario sedimentado de arena:

$$\textbf{Vol arena} = \frac{\textbf{cantidad arena} \times \textbf{Qmed}}{\textbf{1000}} \qquad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

V arena diario: Volumen de arena diario (m^3)

Volumen anual de sedimentación de arena:

$$\textbf{Vol arena anual} = \textbf{Vol arena diario} \times \textbf{365} \qquad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

Vol arena anual: Volumen de área anual (m^3)

V arena diario: Volumen de arena diario (m^3)

Número de limpieza por año del desarenador

$$\textbf{Nl} = \frac{\textbf{Vol arena}}{\textbf{Va}} \qquad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

Nl: Número de limpiezas

3.3.4.5. Medidor del caudal

Canal Parshall

Esta estructura es ampliamente usada en canales de riego, plantas de agua residual y de agua potable (segura), generalmente es utilizada para la medición de caudales y la mezcla de sustancias químicas, se aplica en varios campos de la ingeniería, su diseño consta de una concentración del flujo y una elevación base, para que dentro o cerca se produzca el flujo crítico (Benavides, 2019).

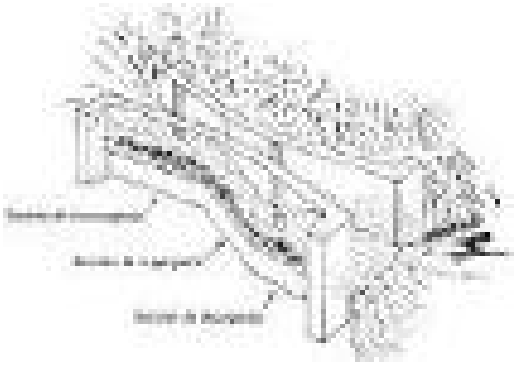


Figura 17. Canaleta parshall
Fuente: (FAO, 1997)

Altura de la cresta:

$$Ha=\frac{Q^{\frac{1}{1,57\ X\ W^{0,026}}}}{(0,3716W)^{\frac{1}{1,57W^{0,026}*3,281}}}$$

Ecuación 40

Donde:

Q: Caudal de diseño (m^3/s)

W: Ancho, valor asumido de la tabla 6

Tabla 12-3: Límites de aplicación de medidores Parshall

Ancho W (pulg)	Q min (L/seg)	Qmáx (L/seg)
1	0,28	5,67
2	0,57	15,15
3	0,85	28,31
6	1,42	110,44
9	2,58	252
12	3,11	455,9
18	4,24	696,5
24	11,9	937,3
36	17,27	1427,2
48	36,81	1922,7
60	45,31	2424
72	73,62	2931

Fuente: (Silva, 2004)
Realizado por: Marisol Cunalata y Erika Pazmiño

Altura de la garganta

$$Hb=S \times Ha \qquad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

Hb: Altura de la garganta (m)

S: Grado de sumergencia tabla 7

Ha: Altura de la cresta (m)

Grado de sumergencia

Tabla 13-3: Grado de sumergencia

Ancho de la garganta W		**Máxima sumergencia (Hb/Ha)**
Pulgada-Pie	**Cm**	
3 a 9 pulgadas	7,5 – 22,9	0,6
1 – 8 pies	30,5 – 244	0,7
10 – 50 pies	305 – 1525	0,8

Fuente: (Arboleda, 2000)
Realizado por: Marisol Cunalata y Erika Pazmiño

Pérdida de carga

$$P=\frac{5,072}{(W+4,57)^{1,46}}(1-S)^{0,72}xQ^{0,67} \qquad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

P: Pérdida de carga (m)

W: Ancho, valor asumido de la tabla 6

S: Grado de sumergencia tabla 7

Q: Caudal de diseño (m^3/h)

3.3.4.6. Tratamiento primario

Coagulación – Floculación

La separación de la materia en suspensión presente en el agua por sedimentación presenta, en muchos casos, dificultades que llevan a la necesidad de aumentar el área del

sedimentador y emplear tiempos de residencia más elevados, en estos casos la coagulación – floculación es un tratamiento fisicoquímico empleado para mejorar la separación de las partículas en el agua (Miranda, y otros, 2018 pág. 64).

La clarificación del agua, el espesamiento y la deshidratación de los lodos depende de una correcta aplicación de las teorías de coagulación y floculación, ejecutados en los ensayos de laboratorio mediante la prueba de jarras, los cuales permiten simular el proceso de los coagulantes-floculantes en el agua en un laboratorio (Miranda, y otros, 2018 pág. 64).



Figura 18. Coagulación/floculación
Fuente: (TIMSA, 2016)

Algunos de los floculantes y coagulantes más utilizados son:

- **Sulfato de aluminio**

Es una de los más utilizados por su costo bajo y sencilles de reproducción, una de las desventajas en su aplicación es los ajustes que deben realizarse en el pH (Miranda, y otros, 2018).

- **Policloruro de aluminio**

En los ultimos años el producto en cuestión ha tenido gran influencia en el tratamiento de aguas, ya que no deja residuos y mejora la calidad el agua tratada, por lo general no requiere ajustes en el pH, no deja residuos de aluminio en el agua, sin embargo cuando el pH es mayor a 8,5 este coagulante no resulta tan eficaz (Irigo Sismó, 2018).

- **Cloruro férrico**

Es un producto eficaz en un intervalo muy amplio de pH (desde pH= 4 hasta pH = 12), aunque presenta un elevado consumo de alcalinidad y puede dejar un ligero color café al agua tratada (Miranda, y otros, Cloruro férrico, 2018 pág. 65).

- **Sulfato férrico**

Es uno de los coagulantes de menor costo, alta velocidad de reacción, su pH óptimo es de 3,5 a 7,0, no necesita un floculante, pero su desventaja es el color que genera en el agua tratada y la elevada dosificación para que se produzca la reacción (Miranda, y otros, 2018 pág. 65).

Dimensionamiento del tanque de coagulación

Para realizar el dimensionamiento del tanque de agitado para llevar a cabo el proceso de coagulación/ floculación, se toma en cuenta el caudal que ingresa al proceso y el tiempo que tardan en formarse los flóculos.

Tabla 14-3: Criterios de diseño del tanque de coagulación

Parámetro	Rango	Unidad
Caudal de diseño	270	(m^3/h)
Tiempo de residencia hidráulica	4	(min) (Prueba de Jarras)
Sobredimensionamiento del tanque	20	(%)

Fuente: (Isla de Juana, 2005)
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Caudal de diseño por línea

$$\mathbf{Qdiseño\ línea = \frac{Qd}{nl}} \qquad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

Qdiseño línea: Caudal de diseño por línea (m^3/h)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

nl: Número de líneas

Volumen del tanque de agitado

$$\mathbf{Vt = \frac{Tr \times Qd}{60}} \qquad \text{Ecuación 44}$$

Donde.

Vt: Volumen del tanque de agitado (m^3)

Tr: Tiempo de residencia (min)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

Sobredimensionamiento del tanque: De acuerdo con Pallares (2020), el volumen debe sobredimensionarse un veinte por ciento. Para esto se presenta la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Vf = Qd \times 20\%} \qquad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

Vf: Volumen final (m^3)

Qd: Caudal de diseño (m^3/s)

Diámetro del tanque de agitado

$$\mathbf{Da = \sqrt[3]{\frac{4 \times Vf}{\pi}}} \qquad \text{Ecuación 46}$$

Donde.

Da: Diámetro del tanque (m)

Vt: Volumen del tanque (m^3)

Altura del tanque de agitado

$$\mathbf{h = Da} \qquad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

h: Altura del tanque (m)

Da: Diámetro del tanque (m)

Dimensiones del agitador de coagulación

Según Martinez y Yugcha (2018), para determinar las dimensiones del agitador es necesario utilizar las semejansas geometricas estandarizadas, de un sistema de agitación tipo turbinas se presentan a continuación.

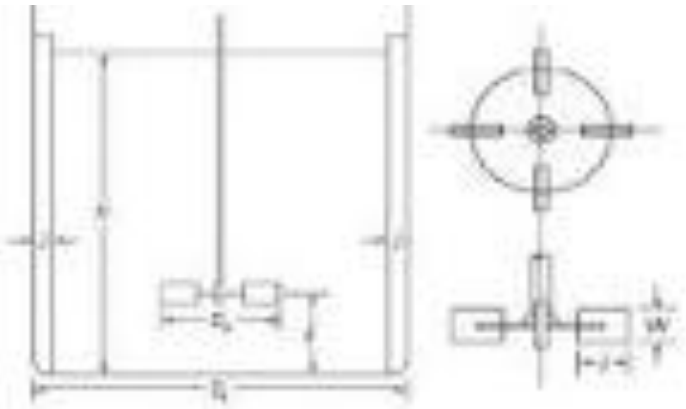


Figura 19. Diseño del tanque de agitado
Fuente: (Fuentes, 2017)

Distancia que tiene el agitador

$$\frac{Da}{Dt}=\frac{1}{3} \qquad \text{Ecuación 48}$$

$$Dt=\frac{1}{3}\times Da$$

Donde:

Da: Diámetro del tanque (m)

Dt: Diámetro del agitador (m)

Altura

$$\frac{H}{Dt}=1\ m \qquad \text{Ecuación 49}$$

$$H = 1\ m \times Dt$$

Donde

H: Altura (m)

Dt: Distancia del agitador (m)

Deflectores

$$\frac{J}{Dt}=\frac{1}{12} \qquad \text{Ecuación 50}$$

$$\mathbf{J=\frac{1}{12}\times Dt}$$

Donde:

J: Deflectores (m)

Dt: Distancia del agitador (m)

Distancia desde la base del tanque hasta donde empieza el agitador

$$\mathbf{\frac{E}{Dt}=\frac{1}{3}}$$ Ecuación 51

$$\mathbf{E=\frac{1}{3}\times Dt}$$

Donde:

E: Distancia de la base al agitador (m)

Dt: Distancia del agitador (m)

Ancho de las hélices de la turbina

$$\mathbf{\frac{W}{Da}=\frac{1}{5}}$$ Ecuación 52

$$\mathbf{W=\frac{1}{5}\times Da}$$

Donde:

W: Ancho (m)

Da: Diámetro del tanque (m)

Longitud de las hélices

$$\mathbf{\frac{L}{Da}=\frac{1}{4}}$$ Ecuación 53

$$\mathbf{L=\frac{1}{4}\times Da}$$

Donde:

L: Longitud (m)

Da: Diámetro del tanque (m)

Tabla 15-3: Criterios de diseño del tanque de Floculación

Parámetro	Rango	Unidad
Caudal de diseño	270	(m^3/h)
Tiempo de residencia hidráulica	6	(min) (Prueba de Jarras)
Sobredimensionamiento del tanque	20	(%)

Fuente: (Isla de Juana, 2005)
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Caudal de diseño por línea

$$\mathbf{Qdiseño\ línea = \frac{Qd}{nl}} \qquad \text{Ecuación 54}$$

Donde:

Qdiseño línea: Caudal de diseño por línea (m^3/h)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

nl: Número de líneas

Volumen del tanque de agitado

$$\mathbf{Vt = \frac{Tr \times Qd}{60}} \qquad \text{Ecuación 55}$$

Donde.

Vt: Volumen del tanque de agitado (m^3)

Tr: Tiempo de residencia (min)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

Sobredimensionamiento del tanque: De acuerdo con Pallares (2020), el volumen debe sobredimensionarse un veinte por ciento. Para esto se presenta la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Vf = Qd \times 20\%} \qquad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

Vf: Volumen final (m^3)

Qd: Caudal de diseño (m^3/s)

Diámetro del tanque de agitado

$$Da=\sqrt[3]{\frac{4 \times Vf}{\pi}} \qquad \text{Ecuación 57}$$

Donde.

Da: Diámetro del tanque (m)

Vt: Volumen del tanque (m^3)

Altura del tanque de agitado

$$h= Da \qquad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

h: Altura del tanque (m)

Da: Diámetro del tanque (m)

Dimensiones del agitador de floculación

Distancia que tiene el agitador

$$\frac{Da}{Dt}=\frac{1}{3} \qquad \text{Ecuación 59}$$

$$Dt=\frac{1}{3} \times Da$$

Donde:

Da: Diámetro del tanque (m)

Dt: Diámetro del agitador (m)

Altura

$$\frac{H}{Dt}=1\ m \qquad \text{Ecuación 60}$$

$$H=1\ m \times Dt$$

Donde

H: Altura (m)

Dt: Distancia del agitador (m)

Deflectores

$$\frac{J}{Dt}=\frac{1}{12}$$ Ecuación 61

$$J=\frac{1}{12}\times Dt$$

Donde:

J: Deflectores (m)

Dt: Distancia del agitador (m)

Distancia desde la base del tanque hasta donde empieza el agitador

$$\frac{E}{Dt}=\frac{1}{3}$$ Ecuación 62

$$E=\frac{1}{3}\times Dt$$

Donde:

E: Distancia de la base al agitador (m)

Dt: Distancia del agitador (m)

Ancho de las hélices de la turbina

$$\frac{W}{Da}=\frac{1}{5}$$ Ecuación 63

$$W=\frac{1}{5}\times Da$$

Donde:

W: Ancho (m)

Da: Diámetro del tanque (m)

Longitud de las hélices

$$\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{Da}}=\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{4}} \qquad \text{Ecuación 64}$$

$$\mathbf{L}=\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{4}}\times\mathbf{Da}$$

Donde:

L: Longitud (m)

Da: Diámetro del tanque (m)

Dosificación de químicos

Cálculo de la dosificación óptima de reactivos

Los costos establecidos para la dosificación del policloruro de aluminio (PAC) y Chemfloc fueron proporcionados mediante una cotización proporcionada por la empresa JP Química (Anexo G).

Tabla 16-3: Criterios para la dosificación

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen tanque	L	23.000
Volumen del vaso de precipitación	L	1
Costo del PAC por kg	Dólares	1,10
Costo del Chemfloc por kg	Dólares	9,75
Dosis de PAC	ml	7
Dosis de Chemfloc	ml	7

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Volumen de dosificación de la solución de PAC por día DPAC

$$\mathbf{DPAC}=\frac{\mathbf{VTM}\times\mathbf{DPAC}}{\mathbf{V\ p\ jarras}} \qquad \text{Ecuación 65}$$

Donde:

DPAC: Volumen de la dosificación de la solución de PAC del tanque de mezcla (L/día)

VTM: Volumen del tanque mezclador (L)

DPAC jarras: Dosis óptima del volumen de PAC en la prueba de jarras (mL)

Vp jarras: Volumen vaso de precipitación prueba de jarras (L)

Cantidad de Policloruro de Aluminio

$$\mathbf{CPAC = ConcPAC \times DPAC} \qquad \text{Ecuación 66}$$

Donde:

CPAC: Cantidad de Policloruro de Aluminio en peso por día (kg/día)

ConcPAC: Concentración de PAC óptimo en la prueba de jarras (0,4 g/L)

DPAC: Volumen de la dosificación de la solución de PAC del tanque de mezcla (L/día)

Precio de PAC por día

$$\mathbf{Precio\ PAC{*}día = CPAC \times Costo\ PAC} \qquad \text{Ecuación 67}$$

Donde:

Precio de PAC*día: precio de PAC por día (dólares)

CPAC: Cantidad de Policloruro de Aluminio en peso por día (kg/día)

Cálculo de la dosificación óptima de Chemfloc

Volumen de dosificación de la solución de Chemfloc por día DChemfloc

$$\mathbf{DChemfloc} = \frac{\mathbf{VTM \times DChemfloc}}{\mathbf{Vp\ jarras}} \qquad \text{Ecuación 68}$$

Donde:

DPAC: Volumen de la dosificación de la solución de Chemfloc del tanque de mezcla (L/día)

VTM: Volumen del tanque mezclador (L)

DPAC jarras: Dosis óptima del volumen de Chemfloc en la prueba de jarras (mL)

Vp jarras: Volumen vaso de precipitación prueba de jarras (L)

Cantidad de Chemfloc

$$\mathbf{CChemfloc = ConcChemfloc \times DChemfloc} \qquad \text{Ecuación 69}$$

Donde:

CChemfloc: Cantidad de Policloruro de Aluminio en peso por día (kg/día)

ConcChemfloc: Concentración de Chemfloc óptimo en la prueba de jarras (g/L)

DChemfloc: Volumen de la dosificación de la solución de Chemfloc del tanque de mezcla (L/día)

Precio de Chemfloc por día

$$\textbf{Precio Chemfloc*día} = \textbf{CChemfloc} \times \textbf{Costo Chemfloc} \qquad \text{Ecuación 70}$$

Donde:

Precio de Chemfloc*día: precio de Chemfloc por día (dólares)

CChemfloc: Cantidad de Chemfloc en peso por día (kg/día)

Potencia del agitador

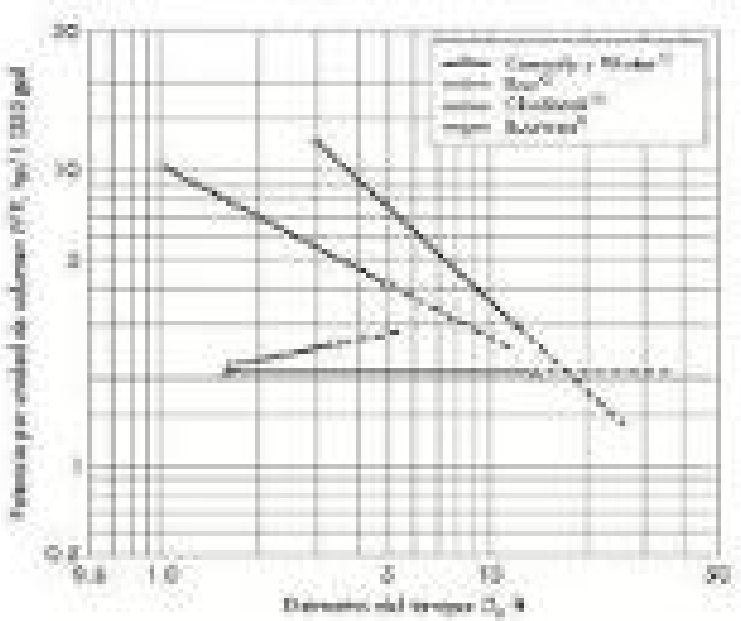


Figura 20. Parámetros para la potencia del agitador
Fuente: (Isla de Juana, 2005)

$$\frac{\textbf{3,9 hp}}{\textbf{P/V}} \times \frac{\textbf{264,17 gal}}{\textbf{1 m3}} \times \textbf{Vt} = \qquad \text{Ecuación 71}$$

Donde:

P/V: Potencia por unidad de volumen (hp)

Vt: Volumen del tanque sobredimensionado (m^3)

Sedimentador

Este proceso resulta o demanda de una serie de tratamientos previos, consiste en retirar los sólidos suspendidos que se puedan encontrar en el agua. En este sistema, el agua se

puede mantener de 0,5 a 3 horas o más, tiempos suficientes para que entre el 45% al 65% de sólidos suspendidos puedan pasar al fondo y que estos finalmente sean removidos para tratar los lodos restantes, estos sistemas pueden generar mejores resultados cuando los sistemas anteriores a éste conllevan una buena remoción previa (Valdez & Vázquez, 2003, pag. 113).



Figura 21. Sedimentador lamelar
Fuente: (Tepca, 2019)

Tabla 17-3: Criterios de diseño del sedimentador

Características	**Valor**	**Unidades**
Tiempo de retención hidráulica	2 -4	Horas
Carga superficial	30-60	m^3/m^2/día
Tirante hidráulico se asume el existente en la PTAR	2,30	m
Borde libre	0,3-0,5	m
Relación largo ancho	3-5	m

Fuente: (Código Ecuatoriano de la Construcción, 2019)**.**
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Área superficial

$$\mathbf{As= \frac{Qd}{Ha}} \qquad \text{Ecuación 72}$$

Donde:

As: área superficial (m^2)

Qd: Caudal diseño (m^3/día)

Ha: Carga superficial ($m^3/m^2/$ d)

Ancho del tanque sedimentador

$$\mathbf{L= 5W} \qquad \text{Ecuación 73}$$

$$\mathbf{L= 5W}$$

$$As= 5W$$

$$As= (5W)W=5W^2$$

$$\mathbf{W= \sqrt{\frac{As}{s}}}$$

Donde:

As: Área superficial (m^2)

s: Relación largo ancho

L: Largo del tanque del sedimentador (m)

W: Ancho del tanque sedimentador (m)

Largo del tanque sedimentador (m)

Largo del tanque de sedimentación se asume el valor de 14 m existente en la PTAR.

Volumen del tanque sedimentador

$$\mathbf{V=As \times h} \qquad \text{Ecuación 74}$$

Donde:

V: Volumen (m^3)

As: Área superficial (m^2)

h: Tirante hidráulico valor que se asume de la tabla 9

Tiempo de retención hidráulica

$$\mathbf{Trh= \frac{V}{Qm}} \qquad \text{Ecuación 75}$$

Donde:

Trh: Tirante hidráulico (horas)

V: Volumen (m^3)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

Velocidad de arrastre

Tabla 18-3: Valores para el cálculo de la velocidad de arrastre del sedimentador

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Constante que depende del material arrastrado	K	0,04	Adimensional
Densidad de las Partículas	S	1,25	Adimensional
Aceleración de la fuerza de gravedad	G	9,81	m/s^2
Factor de fricción de Darcy Weisbach	F	0,025	Adimensional
Diámetro de las partículas	D	0,0002	m

Fuente: Darcy Weisbach
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Velocidad de arrastre

$$Vs = \left[8\left(\frac{K(s-1)gd}{f}\right)\right]^{0,5} \qquad \text{Ecuación 76}$$

Donde:

Vs: Velocidad de arrastre (m/s)

K: Constante en material unigranular (adimensional)

s: Densidad de las partículas (m)

f: Factor de fricción de Darcy Weisbach (adimensional)

Caudal de diseño por línea

$$\text{Qd por línea} = \frac{Qd}{n} \qquad \text{Ecuación 77}$$

Donde:

Qd por línea: Caudal de diseño por línea (m^3/h)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

n: Número de líneas (adimensional)

3.3.4.7. Tratamiento terciario

Filtración

Para obtener mejores resultados y poder cumplir con los objetivos de calidad al tratar las aguas se aplican los filtros, para esto se disponen de diferentes tecnologías como son: ultrafiltración, microfiltración, nanofiltración y ósmosis inversa, este último entendido como el proceso de filtración por membranas, faculta la retención de partículas con un tamaño de 1nm y 100 nm (tamaño de los virus, coloides, macroproteínas, etc.) y sales concentradas (Verco, 2017).

En general, se considera la filtración como el paso de un fluido a través de un medio poroso que retiene la materia que se encuentra en suspensión. En las principales instalaciones de filtración, los filtros sueles ser abiertos, mientras los filtros cerrados suelen utilizarse para instalaciones pequeñas menor de $40m^3$ /h (Flores, 2012).

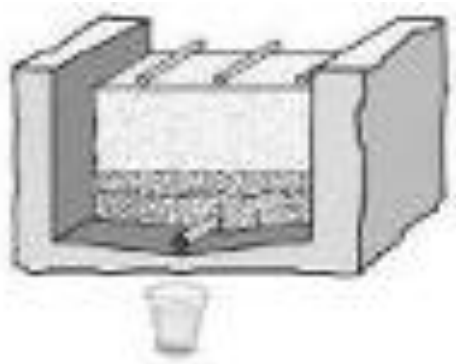


Figura 22. Filtro
Fuente: (Pérez, 2020)

Se pueden distinguir los siguientes tipos de filtración:

Filtración lenta

Puede emplearse como tratamiento final del agua cruda prefiltrada, para mejorar la calidad bacteriológica y remover las partículas suspendidas más finas. Puede utilizarse como tratamiento único de la calidad del agua cruda cuando esta mantiene una turbiedad no mayor a 15 NTU, bajo color menor a 20 UPS y un NMP de coliformes fecales por debajo de 500 (RAS - 2000, 2000).

Filtración rápida

Debe filtrarse agua previamente tratada (coagulación floculación con o sin sedimentación o flotación) para lograr la remoción de las últimas que no hayan sido retenidas por el sedimentador (RAS - 2000, 2000). Entre los tipos filtros rápidos podemos encontrar:

- **Filtros directos**

La filtración puede ser de contacto (sin floculación, ni sedimentación) o filtración directa propiamente dicha sin sedimentación, pero con coagulación/floculación total o parcial), aquí se utiliza como medio filtrante un medio poroso formado por material granular como: arena, grava, antracita (condorchem, 2019).

- **Filtros convencionales**

Se aplica para pulir los tratamientos finales de mezcla rápida, floculación y sedimentación, generalmente se aplica cuando se realiza la coagulación de barrido, la turbiedad de ingreso a los filtros no debe ser mayor a 8 NTU y el color no mayor de 20 UC (RAS - 2000, 2000).

Dimensionamiento de un sistema de filtración rápida

Tabla 19-3: Criterios para el diseño del filtro rápido

Características	Filtro rápido
Rango de filtración (m/h)	5 – 15
Tamaño de lecho (m^2)	50 – 100
Profundidad del lecho (m) Arena	 0,5 – 100
Material adsorbente (Antracita)	0,4
Grosor de la arena Tamaño efectivo (mm) Coeficiente de informidad	 0,4 – 0,7 1,4 – 1,7
Altura del drenaje	0,10 – 0,25
Requerimiento de agua de lavado (% del caudal tratado)	1 – 6

Fuente: (Código Ecuatoriano de la Construcción, 2019)**.**
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Unidades de filtro: Estas unidades pueden requerir de un mantenimiento o en caso de que fallará, lo recomendable es instalar más de un sistema de filtración, ya que en casos de sistemas continuos como es el caso de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, no pueden darse fallas en los sistemas.

$$n=0.044\sqrt{Qd} \qquad \text{Ecuación 78}$$

Donde:

n: Unidades del filtro

Q: Caudal de diseño (m^3/día)

Cálculo del área del filtro: Se obtiene mediante la relación de caudal de diseño sobre el rango de filtración, a continuación, se plantea la ecuación:

$$\mathbf{Af=\frac{Qd}{Rf}} \qquad \text{Ecuación 79}$$

Donde:

Af: Área del filtro (m^2)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

Rf: rango de filtración, valor establecido de la (tabla 11)

Coeficiente de mínimo costo

$$\mathbf{Kc=\frac{2nf}{nf+1}} \qquad \text{Ecuación 80}$$

Donde:

Kc: Coeficiente mínimo de costo

n: Unidades de filtro

Longitud del filtro rápido

$$\mathbf{Lf=\sqrt{Af\ x\ Kc}} \qquad \text{Ecuación 81}$$

Donde:

Lf: Longitud del filtro (m)

Af: Área del filtro (m^2)

Kc: Coeficiente de mínimo costo

Ancho del filtro rápido

$$\mathbf{Af=\sqrt{\frac{Af}{Kc}}} \qquad \text{Ecuación 82}$$

Donde:

Af: Área del filtro (m)

Kc: Coeficiente de mínimo coste

Altura del lecho filtrante

Tabla 20-3: Criterios de diseño de un filtro rápido

Parámetro	Valor
Altura del borde libre (cm)	20 – 40

Parámetro	Valor
Altura del agua sobre la superficie de lecho (cm)	>40
Pendiente del fondo del lecho (%)	>12,5
Separación de las losas/ladrillos (cm)	2 – 3
Ancho de las losas/ladrillos (cm)	10 – 15
Velocidad de descarga de lavado (m/s)	0,02
Velocidad en el canal de lavado (m/s)	1 – 1,5

Fuente: (Bucay, 2014)
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

$$\mathbf{Hf=Fs\ (H\ agua + H\ lecho + H\ cs + H\ drenaje)} \qquad \text{Ecuación 83}$$

Donde:

Hf: altura del lecho filtrante (m)

Fs: Para esto se asume un valor del 12% por recomendación de la dirección técnica de la EMAPA-G

H agua: Altura del agua sobre la superficie del lecho (m)

H lecho: Profundidad del lecho de arena (m)

H cs: Altura de la antracita (m)

H drenaje: Altura del drenaje (m)

3.3.4.8. Tratamiento de fangos

Lechos de secado

El criterio de los lechos de secado de lodo constituye uno de los métodos más simples y económicos para la deshidratación de lodos estabilizados, lo que facilita el manejo y disposición final; este método consiste en utilizar filtros poco profundos, llenos de arena y grava, con un sistema de drenaje que permite recoger los lixiviados, el lodo no debe aplicarse en capas demasiado gruesas ya que no permite un secado rápido, además deben tratarse los lixiviados generados (Tilley, y otros, 2018).

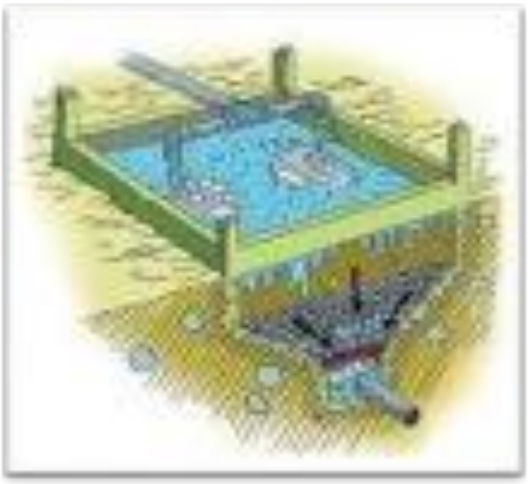


Figura 23. Lecho de secado
Fuente: (Plan Nacional de calidad turística, 2008)

Carga sólidos que ingresa al sedimentador

$$\mathbf{C = Q \times SS \times 0{,}0864} \qquad \text{Ecuación 84}$$

Donde:

C: Carga sólidos que ingresa en el sedimentador (kg SS/día)

Q: Caudal promedio de aguas residuales (m^3/día)

SS: Sólidos en suspensión en el agua residual (mg/l)

Masa de sólidos que conforman los lodos

$$\mathbf{Msd = (0{,}5 \times 0{,}7 \times C) + (0{,}5 \times C)} \qquad \text{Ecuación 85}$$

Donde:

Msd: Masa de sólidos que conforman los sólidos (kg SS/día)

C: Carga de sólidos que ingresan al sedimentador (kg SS/día)

Volumen diario de lodos digeridos

$$\mathbf{Vld = \frac{Msd}{\rho lodo \left(\frac{\%\ sólidos}{100}\right)}} \qquad \text{Ecuación 86}$$

Donde:

Vld: Volumen diario de lodos digeridos (L/día)

ρlodo: Densidad de lodos (1,04 kg/l)

% sólidos: Sólidos contenidos en el lodo (8%-12%)

Volumen de lodos a extraerse del tanque

$$\mathbf{Vel=\frac{Vld \times Td}{1000}} \qquad \text{Ecuación 87}$$

Donde:

Vel: Volumen de lodos a extraerse del tanque (m^3)

Td: Tiempo de digestión en días

Área del lecho de secado de lodos

$$\mathbf{Als=\frac{Vel}{H}} \qquad \text{Ecuación 88}$$

Donde:

Als: área del lecho de secados (m^2)

Vel: Volumen de lodos a extraerse del tanque (m^3)

H: altura asumida del tratamiento existente en la PTAR (1,70 m)

Área individual de los lechos de secado

$$\mathbf{Als1=\frac{Vel}{N° \ lechos}} \qquad \text{Ecuación 89}$$

Donde:

Als1**:** Área individual de los lechos de secado

Longitud del lecho de secado

$$\mathbf{L=\frac{Als1}{b}} \qquad \text{Ecuación 90}$$

Donde:

b: Ancho del lecho (4 m)

3.3.4.9. Valoración e identificación de impactos ambientales

El impacto ambiental de una planta de tratamiento de agua residual siempre es y será positivo, dejando en claro que nos referimos al funcionamiento, puesto que la fase de construcción de la obra física de facto tiene efectos negativos.

Para evaluar los impactos ambientales que tendrá el rediseño del sistema de tratamiento de aguas servidas de Marcopamba en la ciudad de Guaranda se procede a implementar y evaluar las categorías que constan en la Matriz de Leopold original.

El método consiste en identificar cuáles serán los factores ambientales afectados por las acciones realizadas en la implementación del proyecto. Para la valoración se aplica una escala del 1 al 10, previo análisis de la magnitud de los eventos por medio de la intensidad y afectación que la intervención reviste, también se valora la importancia en función de la duración e influencia de cada uno de los impactos.

Tabla 21-3: Magnitud e importancia de Leopold original

MAGNITUD			**IMPORTANCIA**		
Calificación	**Intensidad**	**Afectación**	**Calificación**	**Duración**	**Influencia**
1	Baja	Baja	1	Temporal	Puntual
2	Baja	Media	2	Media	Puntual
3	Baja	Alta	3	Permanente	Puntual
4	Media	Baja	4	Temporal	Local
5	Media	Media	5	Media	Local
6	Media	Alta	6	Permanente	Local
7	Alta	Baja	7	Temporal	Regional
8	Alta	Media	8	Media	Regional
9	Alta	Alta	9	Permanente	Regional
10	Muy alta	Alta	10	Permanente	Nacional

Fuente: (Naranjo, 2015)
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

CAPÍTULO IV

4. Análisis de los resultados

4.1. Caracterización del agua residual

4.1.1. Resultados de la aforación del agua residual

La medición del caudal se realiza mediante observaciones in situ, por un lado; por otro, se realizan registros durante tres días los horarios de medición del caudal el viernes se lo realiza de 8:30 am a 18:30 pm, el sábado de 7:00 am a 17:30 pm la disimilitud entre estos horarios se da por la presencia de lluvia las cuales generan un aumento brusco del caudal dificultando la medición de este ya que el caudal tiene aumentar alrededor de cincuenta veces más del caudal normal.

El miércoles se midió de 23:00 pm a 3:30 am este último con el fin de obtener el caudal de aguas ilícitas que pudiesen estar ingresando al sistema de alcantarillado, ya que estas horas la generación de aguas residuales deberían ser mínimas, sin embargo, se registra un caudal el cual no contiene olor ni color.

Además, se realizó una medición de cloro in situ para determinar si la presencia de esta puede ser desfogues de agua potable dando negativo a la presencia de este parámetro por lo que se puede determinar que son aguas de vertientes que son conectadas al sistema de alcantarillado y evidenciado la presencia de aguas ilícitas.

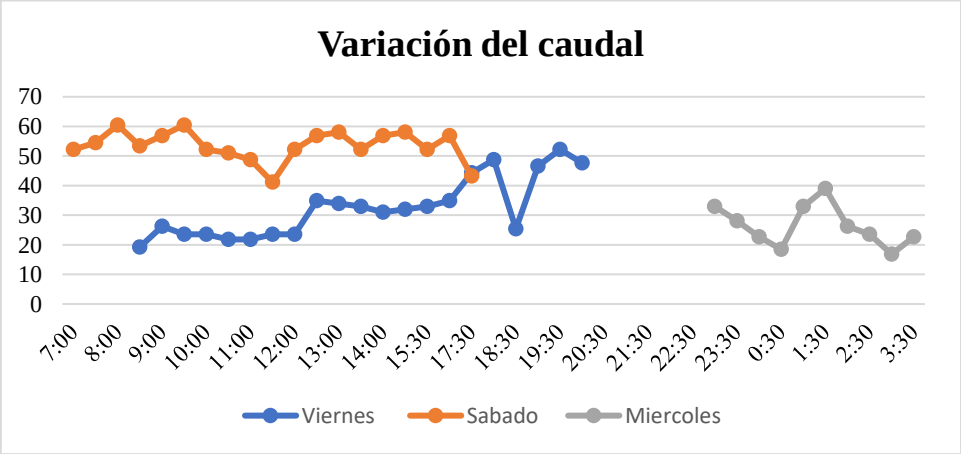


Gráfico 1. Variación del caudal durante el día
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Tabla 22-4: Caudal promedio registrado

Días de registrados	Caudal Promedio (L/seg)
Viernes, 4 de junio del 2021	32,41
Sábado, 5 de junio del 2021	53,56

Días de registrados	Caudal Promedio (L/seg)
Miércoles, 9 de junio del 2021	26,34

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Para determinar el caudal se realizaron diferentes mediciones en el transcurso del día, mismas que fueron promediadas y permiten conocer como varia el consumo de agua en los días. En la (Tabla 22-4), se puede observar que en días de descanso (feriados) el caudal es mayor el cual cuantifica 53,56 L/seg; sin embargo, el consumo disminuye notoriamente en días de la semana dando un total de 32,41 L/seg.

Además, se realizó la caracterización en horas donde la actividad humana es mínima con el propósito de determinar la posibilidad de existencia de otras aguas de origen diferente que podrían estar ingresando al sistema de alcantarillado, el cual es de tipo combinado.

Por dicha razón se realizan registros durante la madrugada, dando un resultado de 26,34 L/seg, aquello permite determinar la existencia de un "caudal ilícito" que se combina con las aguas residuales generadas en la zona sur de la ciudad.

El "caudal ilícito" (anexo A) tiene características tales como: no presenta color, olor, ni arrastre de sólidos de tipo alguno, sin embargo, es un caudal considerable que se mantiene constante en horas de la madrugada.

El caudal registrado presenta una seria de variación (gráfica 1), la cual permite observar las horas en las que existe mayor consumo, en efecto el viernes es el día de mayor consumo, destacando que entre las a 15:30 a 16:00 se genera un mayor consumo de agua, mismo que observa un descenso a partir de las 18:30, para volver a subir a medida que transcurren las horas hasta cerca de las 22:00.

El sábado registra como uno de los días de mayor consumo de agua, puesto que la investigación identifica que el caudal de agua se mantiene en un rango de 50 a 60 L/seg, mismo que se reduce a un caudal mínimo a las 11:00 y 17:00.

Adicional, se procedió al análisis de las variaciones de caudal en la madrugada, dando como resultado que existe una mayor salida de agua a la 01:30, el resto del tiempo registrado se evidencia variaciones de 20 a 30 L/seg.

4.1.2. Resultado de la caracterización del agua bruta

La caracterización del agua residual se realizó mediante las técnicas establecidas, para el agua residual y el agua tratada (Anexo B).

Según los resultados de la caracterización del agua residual cruda, presentados en la (Tabla 23-4) se analiza, que existe una contaminación muy fuerte de tipo orgánico, químico y microbiológico dentro de los cuales se encuentra los siguientes parámetros: Bario, Boro Total, Cloruros, DQO, DBO_5, Coliformes fecales, Fluoruros, Fósforo Total, Hierro Total, Manganeso Total, Nitrógeno Total Kjeldahl, Plata, Sólidos Suspendidos Totales, Tensoactivos y Zinc que sumados dan un total de 16 parámetros, que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097, Anexo A, específicamente en la tabla nueve donde se establece los límites de descarga para un cuerpo de agua dulce.

Tabla 23-4: Resultados de la caracterización del agua sin tratar

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL								
Parámetros	**Unidad**	**Resultado 1**	**Resultado 2**	**Resultado 3**	**Resultado 4**	**Resultado 5**	**Resultado 6**	**Límite máximo permisible**
Aceites y grasas	mg/L	25	20	22	21	23	15	30
Arsénico Total	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1
Aluminio	mg/L	0,008	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	5,0
Bario	mg/L	4,56	4,34	4,95	4,83	4,68	4,68	2,0
Boro Total	mg/L	2,09	2,08	2,28	2,34	2,64	2,53	2,0
Cadmio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,02
Cianuro Total	mg/L	0,005	0,007	0,007	0,008	0,007	0,008	0,1
Cloro Activo	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
Cloruros	mg/L	1627	1450,08	1487,3	1475,61	1480,31	1496,07	1000
Cobalto	mg/L	0,070	0,06	0,07	0,07	0,06	0,007	0,5
Cobre	mg/L	0,008	0,006	0,007	0,008	0,009	0,007	1,0
Color real	Unidad de color	80	80	85	90	80	70	Inapreciable en dilución:
Cromo hexavalente	mg/L	0,460	0,39	0,41	0,42	0,45	0,42	0,5
Demanda química de Oxígeno	mg/L	870,530	860,41	865,92	871,09	864,91	829,12	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	150,990	162,23	167,08	144,26	175,82	149,27	100
Estaño	mg/L	0,059	0,049	0,052	0,054	0,048	0,037	5,0
Coliformes fecales	NMP/100ml	3200	3100	3140	2800	3002	2800	2000
Fluoruros	mg/L	15,830	14,83	15,08	15,97	15,84	13,25	5,0
Fósforo Total	mg/L	22,64	19,07	21,3	22,61	22,1	17,03	10

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL								
Parámetros	**Unidad**	**Resultado 1**	**Resultado 2**	**Resultado 3**	**Resultado 4**	**Resultado 5**	**Resultado 6**	**Límite máximo permisible**
Hierro Total	mg/L	20,6	18,6	20,04	20,86	19,65	17,34	10
Manganeso total	mg/L	6,63	5,81	5,96	5,82	5,83	4,82	2,0
Níquel	mg/L	0,006	0,005	0,006	0,006	0,007	0,06	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	54,63	51,63	52,93	52,95	51,96	50,68	50
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	6,32	3,08	3,12	3,27	3,08	3,14	30
Oxígeno Disuelto	mg/L	2,96	1,99	2,58	2,64	2,74	2,63	…..
Plata	mg/L	2,64	1,65	1,87	1,62	1,71	1,68	0,1
Plomo	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006	0,2
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	140,680	139,6	140,04	150,69	148,62	140,09	130
Sólidos Totales	mg/L	1652	1648,07	1674,21	1689,04	1642,54	1632,08	1600
Sulfuros	mg/L	0,008	0,008	0,008	0,008	0,007	0,007	0,5
Sulfatos	mg/L	70,670	65,92	67,23	68,63	67,95	66,54	1000
Temperatura	°C	13,960	13,42	13,57	13,54	13,51	13,43	Condición natural ± 3
Tensoactivos	mg/L	3,630	2,9	3,1	3,21	3,18	2,91	0,5
Zinc	mg/L	5,850	5,1	5,24	5,37	5,42	5,39	5,0

Fuente: Laboratorio del EMAPA-G
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

4.1.3. Índice de biodegradabilidad

En la (Tabla 24-4), observamos la relación existente entre la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno del agua residual esta da un valor de 0,19, lo cual permite conocer que el agua residual no contiene elevados niveles de materia biodegradable, por lo que, en principio, no amerita un tratamiento biológico estos casos lo óptimo es ejecutar un tratamiento fisicoquímico.

Tabla 24-4: Índice de biodegradabilidad del agua residual

ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD		
DBO_5	**DQO**	**$DB0_5$/DQO**
166,44	860,33	0,19

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

4.2. Análisis de alternativas

4.2.1. Selección de las alternativas

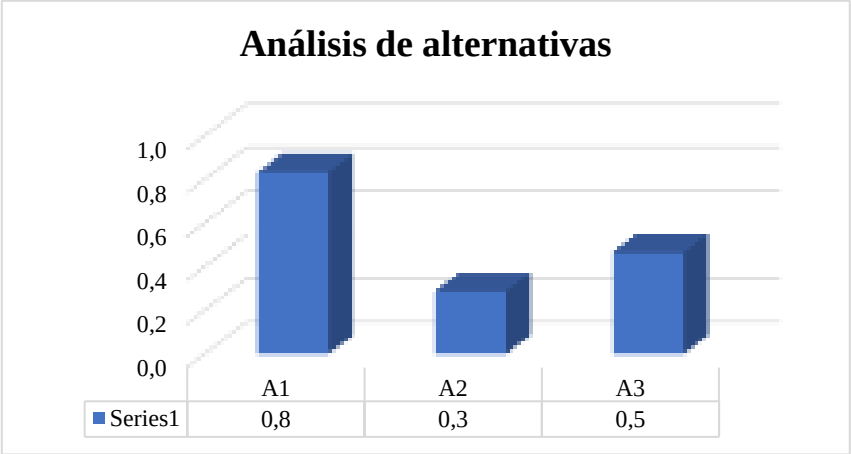


Gráfico 2. Análisis de alternativas
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Las alternativas se plantean en función de las caracterizaciones y aforaciones del agua residual; cada una fue analizada como paso previo para la selección del mejor proceso (Gráfica 2). En efecto, se observa y admite que la alternativa 1, plantea la condición más favorable a emplear con un valor de 0,8; la segunda alternativa, presenta un valor de 0,3, y la tercera de 0,5 sin embargo, su capacidad para remover la carga contaminante es más viable con la primera alternativa.

Propuesta de rediseño definitiva

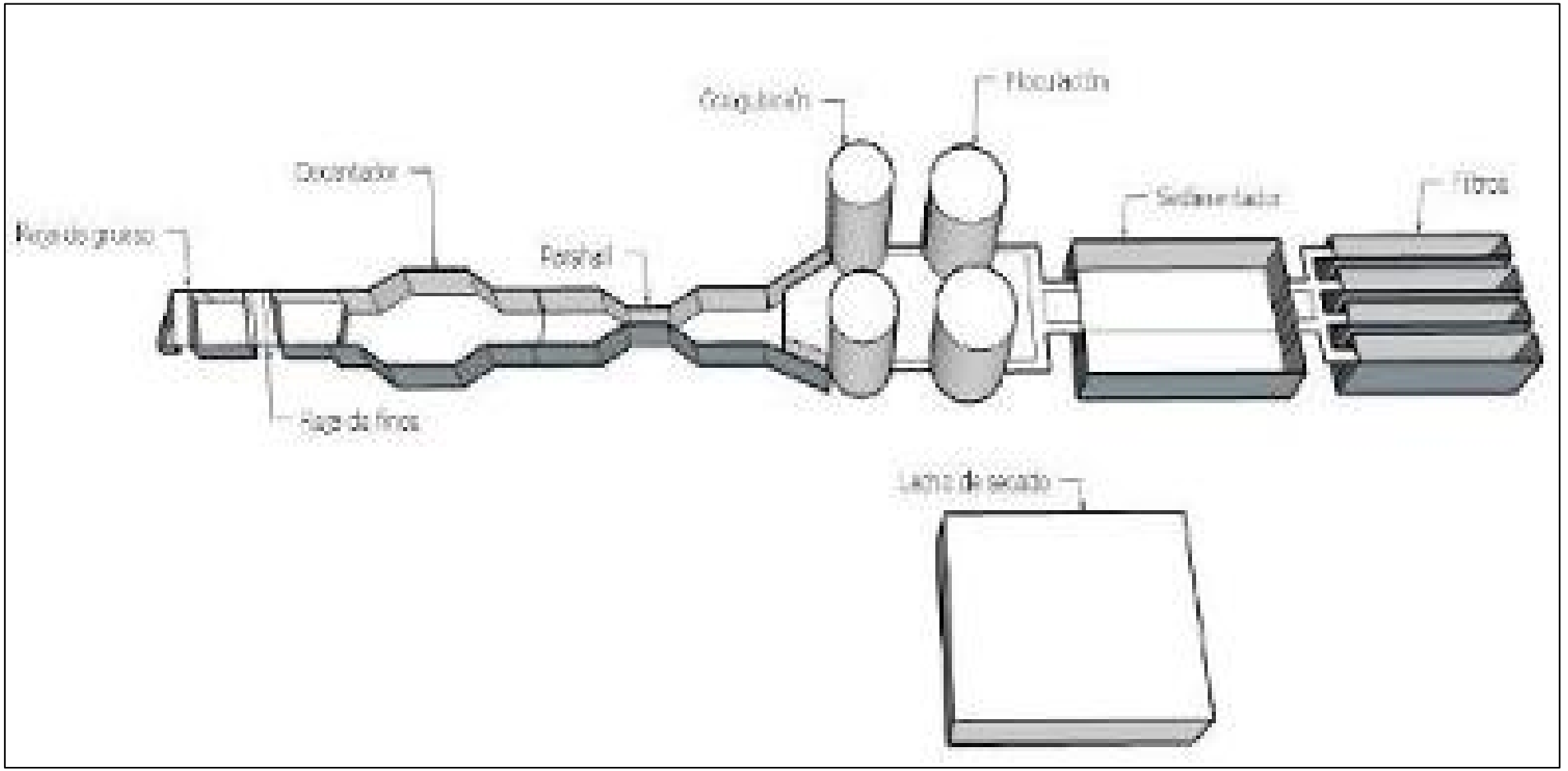


Figura 24. Esquema de la planta de tratamientos
Fuente: Marisol Cunalata – Erika Pazmiño

Es necesario destacar que como propuesta definitiva para el tratamiento de aguas residuales se selecciona la alterativa uno (1), la cual consta de un sistema de rejillas de gruesas y finas –tipo malla- cuya función es según las dimensiones de las celdas retener sólidos grandes que puedan generar inconvenientes en los tratamientos posteriores, permitiendo el paso del agua residual hacia el siguiente pretratamiento.

Para la fase de pretratamiento se propone utilizar un desarenador de flujo horizontal, el cual tiene como propósito remover las partículas de arena y grava que no logró retener el sistema de rejas. Posteriormente se coloca una canaleta parshall, misma que permite tener un control adecuado del caudal y la dosificación de los químicos.

A continuación, el tratamiento debe pasar por un tanque de coagulación y floculación en el cual se realiza la agitación de los químicos (PAC, CHEMFLOC) con el fin de eliminar la mayor carga posible en el agua que ingresa. El lodo residual generado en esta etapa de tratamiento será tratado por medio de lechos de secado.

Consecutivamente, en esta etapa de tratamiento, se coloca un sedimentador rectangular debido a que es fundamental después de dosificar los reactivos químicos. En esta etapa, las partículas tienden a unirse y formar flóculos grandes, por el peso se decantan al fondo del sedimentador por gravedad.

Posteriormente se determina un lecho de lodos con la finalidad de tratar los lodos que se generen en los procesos anteriores y de esta manera dar un tratamiento adecuado y una disposición final.

Finalmente, se debe instalar un filtro rápido de antracita el cual tiene como objetivo permitir la retención de cualquier organismo que pudiese mantenerse presente en el agua residual y no fue eliminado. Acto seguido, el agua tratada es transportada hacia el efluente puesto que se está cumpliendo la norma legal vigente establecida.

4.3. Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad fueron realizadas mediante la implementación de una planta construida por los técnicos de EMAPA-G para simular cada uno de los procesos.



Figura 25. Planta piloto
Fuente: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Rejas

Para simular el proceso de desbaste se procede a aplicar mallas de entre 10 mm para la remoción de sólidos grandes, tales como: latas, papeles, botellas, entre otros. Este sistema dentro de los procesos realizados se comprueba que son óptimos en la remoción de sólidos grandes.

Desarenador

En el proceso del desarenado se procede a verificar la remoción del agua residual, las partículas de arena, semillas, gravas, entre otras, las cuales no son posible ser retenidas por el sistema de rejillas debido que se trata de particular de menor tamaño.

Coagulación/floculación



Figura 26. Test de jarras
Fuente: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

En esta fase se realiza una comparación de los diferentes químicos para dosificar en 1000 ml de agua (Tabla 25-4) se plantea usar una alternativa por medio de sulfato de aluminio

y cal, las dosis requeridas de químicos son altas en el caso de coagulante el requerimiento esta entre 26- 30 ml y de floculante 8 – 14 ml los cuales fueron anteriormente diluidos, sin embargo su reacción sobre el pH es significativa ya que de 7,1 baja a 5,57, tiende a darse un incremento de la acidez, la dosis óptima de 30 ml de coagulante y 10 ml de floculante tiende a generar el mejor porcentaje al momento de remover la turbidez dando un resultado de 2, 8 NTU.

Tabla 25-4: Dosificación de Sulfato de Aluminio y Cal

				pH: 7,1 pH: 5,75				
Dosis Al2(SO4)3 (ml)	**RPM**	**Dosis Cal (ml)**	**RPM**	**Tiempo for. Floc (min)**	**Tiempo Sed. Floc (min)**	**Turbiedad inicial (NTU)**	**Turbiedad final (NTU)**	**Remoción**
26	100	8	100	15	20	9,99	3,6	64%
28	100	7	100	18	26	9,99	3,4	66%
28	100	6	100	20	24	9,99	3,1	69%
30	100	10	100	15	26	9,99	2,8	72%
26	100	14	100	17	30	9,99	3,5	65%
27	100	12	100	18	20	9,99	3,3	67%
30	100	10	100	15	20	9,99	2,87	71%
30	100	10	100	15	20	9,99	2,85	71%

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

La (Tabla 26-4) plantea otra alternativa para la dosificación, basada en el uso del Policloruro de aluminio y Chemfloc para generar la reacción, lo cual permite observar que el tiempo de formación de los flóculos y sedimentación es mínimo en comparación de otras alternativas planteadas, una dosificación de 7ml de coagulante y 7 ml de floculante dan como resultado una remoción de la turbidez de 2 NTU con una agitación que va de rápida a lenta.

Tabla 26-4: Dosificación de PAC Y Chemfloc

				pH: 7,1 pH: 6,9				
Dosis de PAC	**RPM**	**Dosis Chemfloc (ml)**	**RPM**	**Tiempo for. Floc (min)**	**Tiempo Sed. Floc (min)**	**Turbiedad inicial (NTU)**	**Turbiedad final (NTU)**	**Remoción**
2	100	7	50	7	3	9,99	2,1	79%
3	100	9	100	8	2.4	9,99	2,1	79%
4	100	6	50	10	2.3	9,99	2,4	76%
5	100	8	50	8	2.1	9,99	2,6	74%

pH: 7,1 pH: 6,9								
Dosis de PAC	**RPM**	**Dosis Chemfloc (ml)**	**RPM**	**Tiempo for. Floc (min)**	**Tiempo Sed. Floc (min)**	**Turbiedad inicial (NTU)**	**Turbiedad final (NTU)**	**Remoción**
5	100	14	50	9	2,1	9,99	2,4	76%
6	100	10	50	6	2,2	9,99	2,1	79%
7	100	7	50	10	2,3	9,99	2	80%
8	50	9	50	10	2,2	9,99	2,2	78%

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Por último, la (Tabla 27-4) plantea otra alternativa misma que consiste en la adición de sulfato de aluminio como coagulante y Chemfloc para generar los flóculos en un tiempo menor que la dosificación de sulfato de aluminio y cal, sin embargo, el nivel de remoción de turbidez obtenido es de 3 NTU.

Tabla 27-4: Dosificación de Sulfato de Aluminio y Chemfloc

pH: 7,1 pH: 5,92								
Dosis Al2(SO4)3 (ml)	**RPM**	**Dosis Chemfloc (ml)**	**RPM**	**Tiempo for. Floc (min)**	**Tiempo Sed. Floc (min)**	**Turbiedad inicial (NTU)**	**Turbiedad final (NTU)**	**Remoción**
16	100	7	50	16	6,5	9,99	3,4	66%
18	100	9	100	14	6	9,99	3,6	64%
20	100	6	50	16	6,3	9,99	3,3	67%
20	100	8	50	17	6,5	9,99	3,2	68%
22	100	14	50	17	5,28	9,99	3	70%
16	100	10	50	18	6.7	9,99	3,1	69%
20	100	10	50	15	6	9,99	3,4	66%
18	100	9	50	12	6,5	9,99	3,5	65%

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Sedimentador



Figura 27. Sedimentación
Fuente: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

En este proceso se elimina partículas presentes en el agua residual, para el análisis de la eficacia del tratamiento se analizaron los sólidos totales disueltos (STD) presentes en el agua residual al salir de tratamientos anteriores. En este caso de estudio se analiza que la remoción de los STD es del 54% durante un tiempo aproximado de diez minutos.

Tabla 28-4: Remoción de los sólidos en el sedimentador

Remoción en el sedimentador				
Parámetros	Unidad	Inicio	Final	Remoción
STD	mg/L	192	89	54%

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

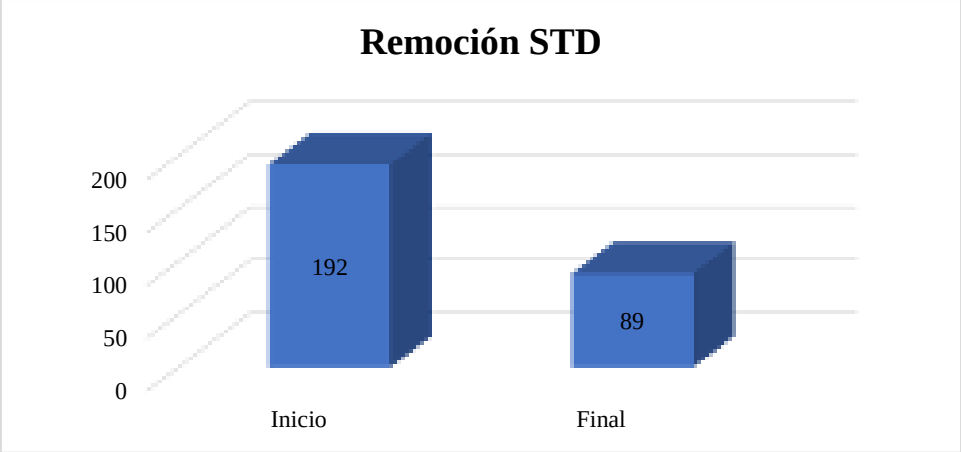


Gráfico 3. Remoción de Sólidos Totales Disueltos

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

Filtro



Figura 28. Filtro rápido

Fuente: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

La eficacia de esta prueba se determina por medio de los siguientes parámetros: STD y color aparente del agua, debido a que el proceso es continuo, el agua ingresa y sale

constantemente, un hecho a destacar refiere a que se dejó el agua en este sistema por cuatro minutos.

Tabla 29-4: Remoción de sólidos y color en el filtro

Remoción en el filtro rápido				
Parámetros	Unidad	Inicio	Final	Remoción
STD	mg/L	89	24	73%
Turbidez	NTU	2	0,92	54%

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

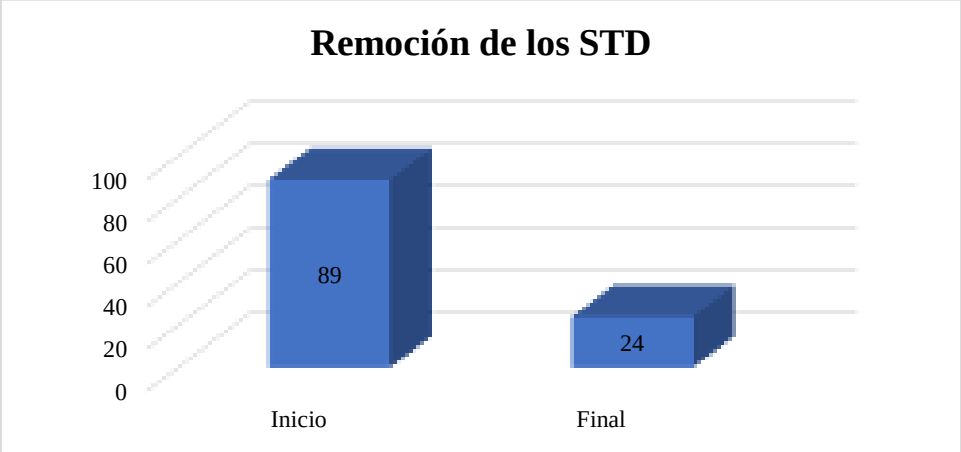


Gráfico 4. Remoción de Sólidos Totales Disueltos en la Filtración

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

En la (gráfica 4), se puede observar que en proceso de filtración existe una remoción del 73% de los sólidos totales disueltos.

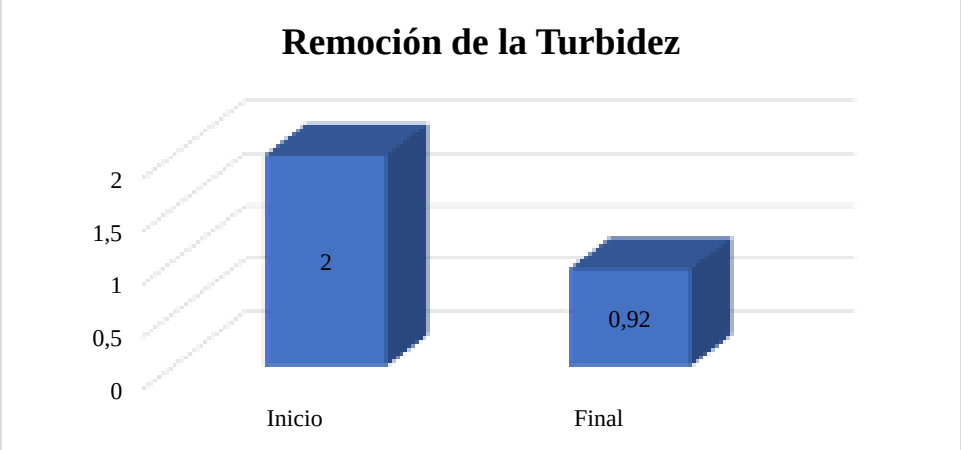


Gráfico 5. Remoción del Turbidez en la filtración

Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

En la (gráfica 5) se evidencia una efectividad en la remoción de la turbidez siendo esta del 54%.

4.3.1. Caracterización del agua residual tratada

Aplicados cada uno de los tratamientos se procedió a realizar seis (6) muestreos del agua tratada para poder realizar las respectivas caracterizaciones y paralelamente proceder a comparar con la normativa vigente y verificar sí existe una reducción de los parámetros que sobrepasan.



Figura 29. Tratamiento del agua residual cruda
Fuente: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

La (Tabla 30-4), establece las caracterizaciones y se puede determinar que cada uno de los parámetros analizados da lugar a que se redujera considerablemente, por lo que no amerita la aplicación de tratamiento adicional para descargar el agua residual.

Tabla 30-4: Caracterización del agua residual tratada

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL TRATADA								
Parámetros	**Unidad**	**Resultado 1**	**Resultado 2**	**Resultado 3**	**Resultado 4**	**Resultado 5**	**Resultado 6**	**Límite máximo permisible**
Aceites y grasas	mg/L	1,19	1,22	1,23	1,17	1,15	1,1	30
Arsénico Total	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1
Aluminio	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5,0
Bario	mg/L	0,59	0,61	0,67	0,58	0,58	0,58	2,0
Boro Total	mg/L	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	2,0
Cadmio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,02
Cianuro Total	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,1
Cloro Activo	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
Cloruros	mg/L	39,17	41,08	45,08	39,18	39,1	39,1	1000
Cobalto	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,5
Cobre	mg/L	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	1,0
Color real	Unidad de color	<1	<1	<1	<1	<1	<1	Inapreciable en dilución:
Cromo hexavalente	mg/L	0,18	0,21	0,24	0,18	0,18	0,18	0,5

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL TRATADA								
Parámetros	**Unidad**	**Resultado 1**	**Resultado 2**	**Resultado 3**	**Resultado 4**	**Resultado 5**	**Resultado 6**	**Límite máximo permisible**
Demanda química de Oxígeno	mg/L	20,26	20,95	23,17	20,29	20,3	20,1	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	10,08	10,86	10,56	10,08	10,08	10,07	100
Estaño	mg/L	0,019	0,022	0,021	0,019	0,019	0,019	5,0
Coliformes fecales	NMP/100ml	800	920	1200	800	805	903	2000
Fluoruros	mg/L	0,16	0,19	0,26	0,18	0,18	0,18	5,0
Fósforo Total	mg/L	0,31	0,36	0,34	0,33	0,33	0,33	10
Hierro Total	mg/L	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	10
Manganeso total	mg/L	0,058	0,061	0,064	0,058	0,058	0,058	2,0
Níquel	mg/L	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	0,88	0,9	0,94	0,88	0,88	0,88	50

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL TRATADA								
Parámetros	**Unidad**	**Resultado 1**	**Resultado 2**	**Resultado 3**	**Resultado 4**	**Resultado 5**	**Resultado 6**	**Límite máximo permisible**
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	30
Oxígeno Disuelto	mg/L	6,84	6,94	6,57	6,84	6,84	6,84	…..
Plata	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Plomo	mg/L	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,2
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	8,99	9,16	9,34	8,96	8,92	8,92	130
Sólidos Totales	mg/L	24,96	25,38	25,08	24,96	24,96	24,9	1600
Sulfuros	mg/L	0,004	0,004	0,006	0,003	0,003	0,003	0,5
Sulfatos	mg/L	2	1	2	2	2	2,1	1000
Temperatura	°C	15,87	15,97	15,46	15,87	15,84	15,7	Condición natural ± 3
Tensoactivos	mg/L	0,11	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11	0,5
Zinc	mg/L	0,008	0,008	0,009	0,007	0,008	0,004	5,0

Fuente: Laboratorio del EMAPA-G
Realizado por: Erika Pazmiño y Marisol Cunalata

En el caso del Oxígeno Disuelto, un parámetro que no se considera en los límites permisibles de descarga, es necesario destacar que fue analizado en la investigación debido a que determina la cantidad de oxígeno presente en el agua tratada.

En este caso a diferencia de otros parámetros no evidenciamos una reducción; al contrario, más bien verificamos un aumento, puesto que el agua presenta finalmente una medida promedio baja y al terminar el tratamiento la misma se incrementa y queda en evidencia un aumento de la oxigenación en el agua al reducir la carga contamínate presente.

4.4. Diseño del (re)dimensionamiento de los tratamientos

4.4.1. Datos de partida

Población futura

$$\mathbf{Pf=}Pa\ (1+i)^{t}$$

$$Pf=9350\ (1+1{,}57\%)^{20}$$

$$Pf=12768 \text{ habitantes}$$

Dotación

$$\mathbf{Dot=}\ \frac{\mathbf{Qmd}}{\mathbf{Pa}}$$

$$Dot=\ \frac{1442880 \text{ L/día}}{9350 \text{ habitantes}}$$

$$Dot=154 \text{ L/hab.día}$$

4.4.2. Estimación de los caudales

Caudal medio diario

Para el cálculo se aplica los datos planteados en la (Ecuación 6):

$$\mathbf{Qmd= Qpdr - Qci}$$

$$Qmd= 43 \text{ L/seg} - 26{,}3 \text{ L/seg}$$

$$Qm=16{,}6 \text{ L/seg}$$

Caudal máximo

Los datos del caudal máximo se plantean en la (Ecuación 7):

$$\mathbf{Qmáx = Qmr - Qci}$$

$$Qmáx = 60,5\ L/seg - 23,6\ L/seg$$

$$Qmáx = 32,46\ L/seg$$

Caudal medio diario futuro de aguas residuales

$$\mathbf{Qmdf= \left(\frac{Pf\ x\ Dot}{1000}\right)}$$

$$Qmdf= \left(\frac{12768\ habitantes \times 154\ L/habitantes.día}{1000}\right)$$

$$Qmdf=22,80\ L/día$$

Coeficiente de mayoración

$$\mathbf{M=\frac{Qmáx}{Qmd}}$$

$$M=\frac{34,2\ L/seg}{16,7\ L/seg}$$

$$M=2,05$$

Caudal máximo diario futuro de aguas residuales

$$\mathbf{Qmáxdf= Qmdf\ \times M}$$

$$Qmáxdf= 22,80\ L/seg \times 2,05$$

$$Qmáxdf=46,70\ L/seg$$

Caudal medio de diseño

Para el caudal de infiltración es establece un valor estimado de (2)

$$\mathbf{Qmdf = Qmdf + Qin + Qci}$$

$$Qmdf = 22,80\ L/seg + 2\ L/seg + 26,3\ L/seg$$

$$Qmdf = 51,10\ L/seg$$

Caudal máximo de diseño

$$\mathbf{Qmd = Qmdf + Qin + Qci}$$

$$Qmd = 46{,}70 \text{ L/seg} + 2 \text{ L/seg} + 26{,}3 \text{ L/seg}$$

$$Qmd = 75 \text{ L/seg}$$

4.4.3. Canal de entrada

Área hidráulica

El área hidráulica se determina mediante la (Ecuación 13)**.**

$$\mathbf{A = \frac{Qd}{V}}$$

$$A = \frac{0{,}075 \text{ m}^3/\text{s}}{0{,}45 \text{ m/s}}$$

$$A = 0{,}17 \text{ m}^2$$

Tirante normal

$$\mathbf{h = \frac{A}{b}}$$

$$h = \frac{0{,}17 \text{ m}^2}{0{,}55 \text{ m}}$$

$$h = 0{,}30 \text{ m}$$

Altura total

$$\mathbf{Ht = h + Ho}$$

$$Ht = 0{,}30 \text{ m} + 0{,}50 \text{ m}$$

$$Ht = 0{,}80 \text{ m}$$

4.4.4. Rejas de grueso

Longitud de la reja

$$\mathbf{L = \frac{h + hb}{sen\ ø}}$$

$$L = \frac{0{,}30 \text{ m} + 0{,}50 \text{ m}}{\text{sen } (45)}$$

$$L=1{,}13 \text{ m}$$

Número de barras

$$\mathbf{C= \frac{W\text{-}ndb}{n+1}}$$

Para el cálculo del número de barras para rejas de gruesos se parte del despeje de la ecuación principal (Ecuación 17Ecuación 17), y se calcula a través de la siguiente ecuación:

Despejando:

$$\mathbf{n= \frac{W - C}{C+db}}$$

$$n= \frac{0{,}55 \text{ m} - 0{,}038}{0{,}038+0{,}02 \text{ m}}$$

$$n= 8{,}82 \approx 9 \text{ espacios}$$

$$n\text{-}1= 9\text{-}1$$

$$n=8 \text{ barras}$$

Velocidad de acercamiento, aguas arriba

$$\mathbf{Va= \frac{Q}{(W - db) \times h}}$$

$$Va= \frac{0{,}075 \text{ m}^3/\text{s}}{(0{,}55 \text{ m} - 0{,}02 \text{ m}) \times (0{,}30 \text{ m})}$$

$$Va=0{,}47 \text{ m/s}$$

Velocidad a través de la reja

Cálculo previo para realizar:

$$\mathbf{Ar= n \times db \times h}$$

$$Ar= 9 \times 0{,}02 \text{ m} \times 0{,}30 \text{ m}$$

$$Ar= 0{,}054 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{Vr = \frac{Q}{A - Ar}}$$

$$Vr = \frac{0{,}075\ m^3/s}{(0{,}17\ m^2 - 0{,}054\ m^2}$$

$$Vr = 0{,}64\ m/s$$

Pérdida hidráulica

$$\mathbf{hL = \frac{1}{0{,}7}\left(\frac{V^2r - V^2a}{2g}\right)}$$

$$hL = \frac{1}{0{,}7}\left(\frac{(0{,}64^2 m/s) - (0{,}47^2 m/s)}{2(9{,}8\ m/s^2)}\right)$$

$$hL = 0{,}014\ m$$

$$hL = 14\ mm$$

4.4.5. Rejas de finos

Longitud de la reja

$$\mathbf{L = \frac{h + hb}{sen\ ø}}$$

$$L = \frac{0{,}30\ m + 0{,}50\ m}{sen\ (45)}$$

$$L = 1{,}13\ m$$

Número de barras

$$\mathbf{C = \frac{W - ndb}{n + 1}}$$

Para el cálculo del número de barras para rejas de finos se parte del despeje de la ecuación principal (Ecuación 23), y se determina a través de la siguiente ecuación:

Despejando:

$$\mathbf{n = \frac{W - C}{C + db}}$$

$$n = \frac{0{,}55\ m - 0{,}016}{0{,}016 + 0{,}01\ m}$$

$$n = 20{,}54 \approx 21\ espacios$$

Cantidad de Policloruro de Aluminio

El químico aplicado para la dosificación presenta las siguientes características: una pureza del 100% además de encontrarse en estado líquido, por lo que se requirió una dilución al 4% para tener una mejor rección e el agua residual.

$$\mathbf{CPAC = ConcPAC \times DPAC}$$

$$CPAC = (0{,}4\ gr/L) \times (157{,}5\ L/día)$$

$$CPAC = 63\ gr/día$$

$$CPAC = 0{,}063\ kg/día$$

Precio de PAC por día

El costo establecido se obtiene mediante una cotización (Anexo G)

$$\mathbf{Precio\ PAC*día = CPAC \times Costo\ PAC}$$

$$Precio\ PAC*día = 0{,}063\ kg/día \times 1{,}10\ dólares/kg$$

$$Precio\ PAC*día = 0{,}07\ dólares/día$$

Precio de PAC por año

$$\mathbf{Precio\ PAC*año = Precio\ PAC \times 365\ días}$$

$$Precio\ PAC*año = 0{,}07\ dólares/día \times 365\ días$$

$$Precio\ PAC*año = 25{,}55\ dólares$$

$$Precio\ PAC*año\ (2\ tanques) = 51{,}10\ dólares$$

Los costos de PAC que implican los dos tanques de agitación durante un año será de 51,10 dólares.

Cálculo de la dosificación óptima de Chemfloc

Volumen de dosificación de la solución de Chemfloc por día DChemfloc

$$\mathbf{DChemfloc = \frac{VTM \times Chemfloc}{V\ p\ jarras}}$$

$$DChemfloc = \frac{22500\ L \times 7\ ml}{1L}$$

4.4.11. Mantenimiento del sistema de tratamiento

Sistema de rejillas

En la actualidad muchas plantas de tratamiento tienden a adoptar un sistema de limpieza automática para reducir al máximo la mano de obra de los operarios. En efecto, el sistema citado se recomienda utilizar explicado en el hecho de que el sistema a rediseñar no es grande, por un lado; por otro, en el caso específico que nos ocupa, la empresa municipal busca reducir costos, por esa razón se opta por el uso intensivo de rejillas de limpieza manual.

Para el mantenimiento de éstas se recomienda realizar limpiezas diarias, especialmente cuando se genere colmataciones en las mismas, ya que una gran acumulación de sólidos y el retiro brusco de la misma puede provocar cambios bruscos en el caudal que ingresa a la planta, al tiempo de provocar daños en los barrotes.

Adicional, se recomienda que el operario asignado sea capacitado, mantenga y cumpla los protocolos de seguridad industrial, al revisar de manera constantemente/continua el sistema. En caso de encontrar barrotes rotos debe cumplir con el manual y proceder según a los remplazos.

Desarenador

El sistema consta de dos secciones, lo cual facilita las operaciones de limpieza, para el rediseño empleado se recomienda una limpieza manual por parte del operario. Además, cuando el volumen de arenas llegue a ocupar el 50% del sistema se recomienda aislar una de las secciones para proceder a eliminar las arenas, las cuales deberán obligadamente tener un sitio de disposición final técnicamente adecuada, previamente se deberá lavar la sección para que una vez cumplido el proceso de limpieza vuelva a entrar en funcionamiento.

Coagulación/floculación

Partimos del hecho de que pueden generarse casos en los que el caudal aumente o disminuya de manera repentina, lo cual puede afectar al momento de dosificar con los químicos; así mismo, la velocidad requerida podría variar rompiendo los flóculos, por lo que se recomienda un adecuado control del sistema de agitación para controlar este tipo de imponderables.

Así mismo, la limpieza del sistema debe realizarse de manera periódica para eliminar los lodos que se generan en el tratamiento, para cumplir este propósito se recomienda la aplicación de dos tanques para el proceso de coagulación y floculación, para que el agua residual pueda seguir ingresando sin retenerse.

Los lodos generados en el sistema deberán ser tratados ya que una inadecuada y anti técnica disposición tiende a generar malos olores en la planta y por ende una serie de incomodidades y afectaciones a la salud del personal involucrado.

Además, deberán realizarse procesos de mantenimiento con una periodicidad de al menos cada seis meses de los motores empleados, la revisión del buen estado de estos; así mismo es recomendable llevar acabo un registro de los químicos empleados para el agua residual, estar bien abastecidos de estos ya que es uno de los puntos clave para el funcionamiento del tratamiento.

Sedimentador

La limpieza del sedimentador debe darse –preferentemente- cuando la tolva de lodos este colmada (llena), evitando la saturación. La limpieza de cada una de las unidades debe ser realizada por separado, así los lodos ingresados se integrarán al sistema de tratamiento de éstos, además se deberá considerar el clima (ambiente).

Para la limpieza acción a realizar de manera preferente en épocas de verano (sol); en tanto, debe tenerse en cuenta que los lodos tienden a descomponerse rápidamente, por lo que la limpieza será en lo posible cada dos días, así mismo en épocas de verano la limpieza se dará cada cuatro días. Así mismo la limpieza de lodos será realizada de manera manual por parte de los operarios de turno.

Filtro

La acumulación de sólidos en los filtros generalmente dificulta la salida del agua, por lo que se hace necesario realizar el lavado de los filtros de manera diaria, para lo cual el sistema de ingreso del agua residual debe ser cerrado momentánea con el fin de permitir que ingrese agua para proceder al lavado de los filtros, el proceso puede demorar alrededor de siete minutos, una vez que el operario retira el agua debe reabrir el sistema para permitir ingrese el agua residual.

Medidas de protección

La empresa deberá proporcionar a los operarios asignados capacitación, equipos de protección y las seguridades necesarias para que pueda trabajar en el mantenimiento de cada uno de los sistemas. El equipo mínimo para garantizar deberá contener:

- Guantes
- Mascarillas
- Trajes de protección
- Botas de caucho
- Casco

Igualmente, será obligación para el personal empleado el uso adecuado los equipos de protección personal para evitar posibles lesiones o afectaciones al momento de realizar el mantenimiento.

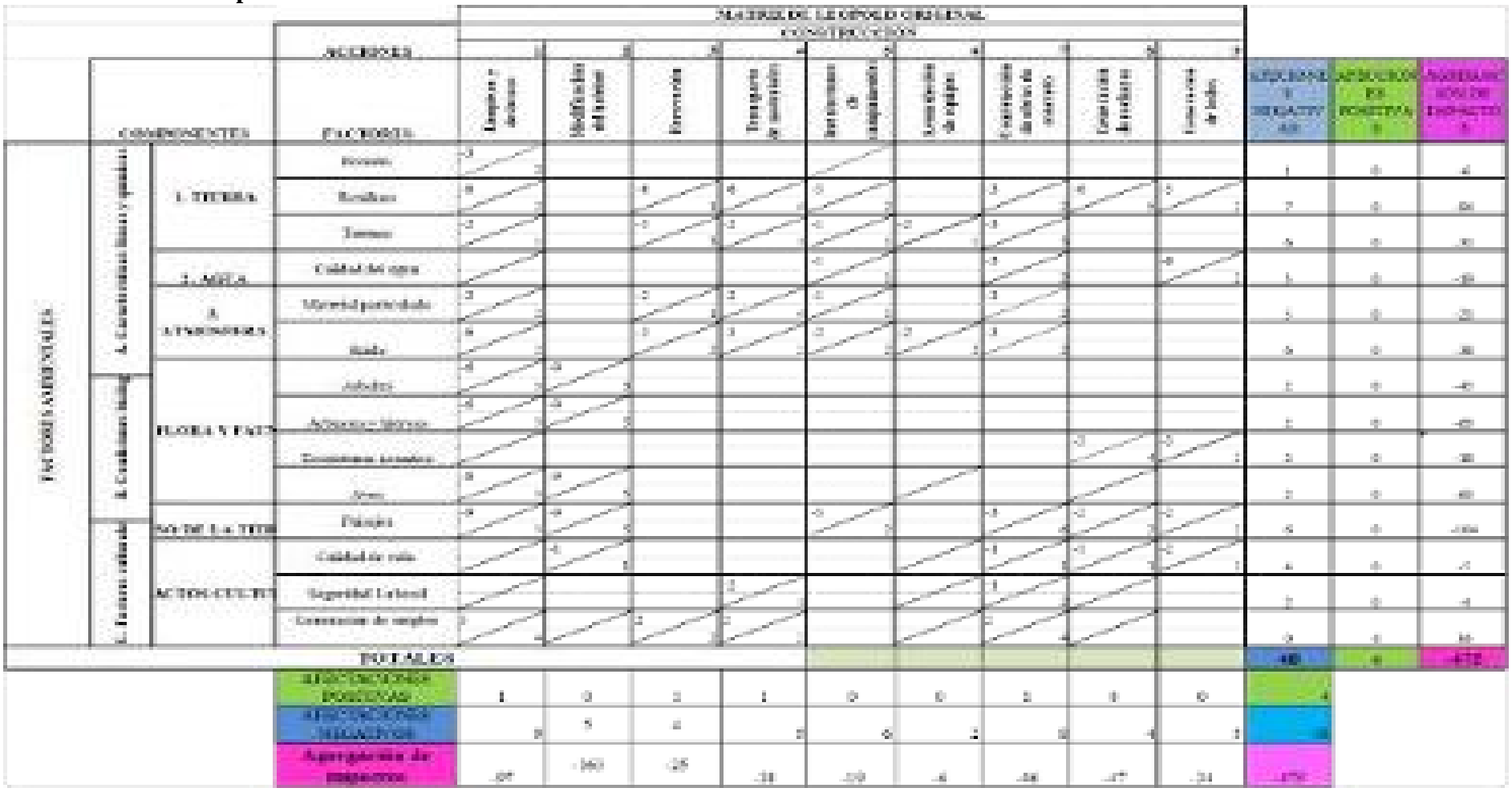
Análisis de la matriz de Leopold

Luego de un análisis valorativo de los impactos ambientales identificados en la propuesta de rediseño de la planta de tratamientos de aguas residuales se determinó existen al menos 48 afecciones negativas y 4 afecciones positivas, las cuales suman 52 afecciones, quedando, claramente, que la mayor parte de las afecciones son negativas, o sea un valor de agregación de -475, lo cual indica se trata de un impacto negativo alto o elevado, el cual requiere la aplicación de urgentes medidas correctivas.

En efecto, la etapa de construcción de la planta de tratamientos es la que produce mayor impacto ambiental negativo registrado debido a que en este proceso se realizan diferentes modificaciones en el área de estudio, como, por ejemplo, la limpieza de la cobertura vegetal, excavaciones, construcción de obras de concreto entre otras, las cuales modifican de manera abrupta el estado original del área.

El factor que representa las afecciones positivas es la generación de empleos generada en todo el proceso de construcción de la planta de tratamientos debido que integra varias fases en la construcción, lo cual beneficiará de manera positiva a la población local.

4.4.12. Matriz de Leopold



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Según las aforaciones realizadas se registra un caudal promedio de 43 L/seg en días de la semana, con tendencia a subir a 60,5 L/seg en días de descanso, además se establece un caudal ilícito de 26,3 L/seg en horas de la madrugada por medio del estos se establece un caudal máximo de diseño de 75L/seg.

- Mediante las caracterizaciones del agua residual en la zona de descarga se registran los siguientes resultados: DBO_5 (166,5 mg/L), DQO (860,33 mg/L), Bario (4,67mg/L), Boro (2,33 mg/L), Cloruros (1502,72 mg/L), Fluoruros (15,13 mg/L), Fósforo total(20,79 mg/L), Hierro total (19,51 mg/L), Manganeso total (5,81 mg/L), Nitrógeno Total Kjeldahl (52,5 mg/L), Plata (1,86 mg/L), Sólidos suspendidos totales (143,28mg/L)), Sólidos totales (1410,99 mg/L), Tensoactivos (3,16 mg/L), Zinc (5,40 mg/L) lo cual permite considerar que el agua presenta una severa contaminación y para esto requiere de un tratamiento fisicoquímico para poder cumplir con la normativa establecida y descargar el agua a los cuerpos de agua dulce.

- En función de la caracterización y las aforaciones se propone las siguientes estructuras físicas: sistema de rejillas, desarenador de flujo horizontal, canaleta parshall, tanque de coagulación/floculación, sedimentador, filtro rápido de antracita**.** Mediante la implementación de una planta piloto, se obtiene una reducción del DQO (20,84 mg/L), DBO_5 (10,28 mg/L), Bario (0,60 mg/L), Boro (0,04 mg/L), Cloruros (40,45 mg/L), Fluoruros (0,19 mg/L), Fósforo total(0,33 mg/L), Hierro total (0,07 mg/L), Manganeso total (0,06 mg/L), Nitrógeno Total Kjeldahl (0,89 mg/L), Plata (<0,01 mg/L), Sólidos suspendidos totales (9,05 mg/L)), Sólidos totales (25,04 mg/L), Tensoactivos (0,12 mg/L), Zinc (0,01 mg/L) estos cumplen la normativa por lo que se puede concluir la eficiencia del tratamiento.

- La puesta en marcha del presente proyecto permitirá reducir la carga contamínate que es vertida diariamente hacia el rio Guaranda y la cual termina por conectarse

a otros afluentes de otras provincias, además mejora la calidad de vida de las poblaciones cercanas a la planta, la descarga y orillas de los ríos.

Recomendaciones

- Se recomienda que la instancia municipal por medio del órgano legislativo (Concejo Municipal), proceda a declarar la propuesta como política ambiental de urgente ejecución. En efecto, la puesta en marcha del presente proyecto dará lugar a una mejora de la calidad de vida, a la garantía de un ambiente sano, por un lado; por otro, tiene como valor agregado la necesidad de concienciar a la población mediante campañas de comunicación a lo que se suma la necesidad de ejecutar un Plan Local de Capacitación dirigidos a los moradores de la zona de influencia de la planta. Para con ello reducir los niveles de resistencia, temor y animadversión hacia la municipalidad, producida por el fracaso del primer proyecto que generó malos olores, enfermedades, la proliferación de mosquitos afectando la calidad de vida de los habitantes de la zona.
- La EMAPA-G de la ciudad deberá diseñar, planificar y ejecutar un plan de reclutamiento para el personal que estará a cargo de la Planta y con ello garantizar que puedan actuar frente a cualquier imponderable que llegase a comprometer el tratamiento del agua residual. Los operadores deben tener garantizada la estabilidad, procesos de actualización y seguridad industrial para que puedan responder de manera eficaz a los potenciales percances que en este tipo de infraestructura suelen darse.
- Se recomienda controlar de manera óptima las descargas en la ciudad debido a que en el sistema combinado existe la incorporación de caudales de diferentes actividades, las cuales no son controladas y terminan por incluirse en la descarga dando lugar a una mayor contaminación.

REFERENCIAS

2176, I. (2013). AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO. *Muestras compuestas.* Quito, Ecuador.

Agora. (9 de 2 de 2021). Obtenido de Crecen hasta el 50% las aguas residuales tratadas en el mundo: https://www.elagoradiario.com/agua/crecen-50-aguas-residuales-tratadas/

Aguas industriales: componentes y tratamientos. (1 de 9 de 2020). Obtenido de Postgradoingenieria: https://postgradoingenieria.com/aguas-industriales-componentes-y-tratamientos/

Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. F. (2002). *Tratamiento de aguas residuales.* Murcia: Editum.

Alba, A., Gárcia , P., Gárcia , R., Valiño, M., Fernandez, S., & Garcia , J. (2006). *vt miod: Tratamiento avanzado de aguas industriales* . Madrid: Universidad de Alcalá.

Albuja, C., Pinos , C., & Samaniego, J. (2013). Uso de desarenadores en abastecimiento de agua potable. *Revista Galileo*, 122.

Alvarez, J. (2020). *Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales para la UCSG-FETD utilizando un sistema embebido que permita determinar la cantidad de cloro, pH y sólidos en* Guayaquil.

Ambiental, I. (19 de 3 de 2019). *IMA Ambiental*. Obtenido de El nitrógeno en las aguas residuales: http://www.imambiental.com/index.php/blog/99-el-nitrógeno-en-la-aguas-residuales

Ana, V. (Septiembre de 2019). *del agua residual*. Obtenido de http://148.215.1.182/bitstream/handle/20.500.11799/108092/secme25569_1.pdf?sequence=1

Andreu, P. S., Mifsut, C. L., González, A. C., Mozo, P. A., Betrán Sánchez, A., & López, J. A. (2020). Eliminación de virus en diferentes procesos de depuración y desinfección (hipoclorito, ultravioleta y MBR) en la EDAR de abanilla y la EDAR de calasparra (Murcia). *esamur*, 2.

Antonio Fernández, R. A., Pedro, L. G., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., & Sanz García, J. (2006). Procesos biologicos . En R. A. Antonio Fernández, L. G. Pedro, R. Rosal García, M. Dorado Valiño, S. Villar Fernández, & J. Sanz García, *avanzados de aguas residuales industriales* (págs. 30-31). España.

Benavides, J. (2019). *Diseño y construcción de una canela parshall para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo sede central.* Bogotá.

Bermeo, M. (2016). Estapas consideradas en el tratamiento de agua . En M. Bermeo, *Tratamiento de aguas residuales: convencionales* (pág. 17). Guayaquil.

Carchipulla, V. (2019). Importancia del oxigeno disuelto para mejorar la calidad de agua en estanques de camaron blanco Litopenaeus Vannamei. Machala, Ecuador.

Carrera, J. (19-20 de 7 de 2017). El nitrógeno en las aguas residuales . Barcelona, España.

Castro, J. (8 de 2019). Diagnostico actual del sistema de alcantarillado sanitario y sistema pluvial de la facultad de Ciencias , Matematicas y Fisicas de la Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

CLEAN TEQ WATER. (6 de 7 de 2020). Obtenido de Reutilización de aguas residuales municipales: https://www.cleanteqwater.com/es/mercados/reutilización-de-aguas-residuales-municipales/

Código Ecuatoriano de la Construcción. (2019). *Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf

Código Orgánico del Ambiente (COA). (2017). *Código Orgánico del Ambiente (COA)*. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Código Orgánico Organización Territorial y Autonomía Descentralización (COOTAD). (19 de Octubre de 2010). Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf

condorchem. (2019). *Condorchem*. Obtenido de Filtración mediante membranas para el tratamiento aguas residuales: https://blog.condorchem.com/membranas-tratamiento-aguas-residuales/

de la Republica del Ecuador. (2008). Ecuador.

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Obtenido de file:///C:/Users/DELL/Desktop/leyes%20ambientales/CONSTITUCI%C3%93N%20DEL%20ECUADOR.pdf

Cortes, E. (2015). Diseño del sistema de tratamiento para los residuos recolectados por el hidrosuccionador de la EP-EMAPAG del Cantón Guaranda 2015. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

Cuesta, S., & Díaz, J. (2020). Revisión de eficiencia del lombrifiltro y biofiltro en la remoción de DBO y DQO en aguas residuales domesticas. *Universidad peruana* , 6.

Departamento de sanidad del Estado de Nueva York. (199). Manual de tratamiento de aguas negras. En D. d. York, *Manual de tratamiento de aguas negras* (pág. 24). Estados Unidos: LIMUSA NORIEGA.

Díaz, A., Veliz, L., & Bataller, V. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *CENIC. Ciencias Químicas*, 1-2.

Eco, U. (2002). *CÓMO SE HACE UNA TESIS. Técnicas y de estudios, investigación y escritura.* Barcelona: Gedisa.

EMAAP-Q. (2009). Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q. Quito, Pinchincha, Ecuador.

EPM. (3 de 9 de 2019). Normas de Construcción. *Sistemas de alcantarillado no convencionales*. México.

Flores, C., Del Angel, E., Frías, D., & Gómez, A. (2018). Evaluacion de parametros fisicoquimicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Iluciones, Tabasco, Mexico. *Jiutepec*, 42.

Fluideco. (26 de Noviembre de 2019). *¿En qué consiste el muestreo de agua?* Obtenido de https://fluideco.com/: https://fluideco.com/muestreo-agua-que-es/

Garcia, I. M., Betancort Rodríguez, J. R., Rodriguez Salas, J. J., Suarez, P. B., Bocardo Pidre, J. R., & Martin, N. S. (2006). *sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población.* Canarias.

Garzón , D., & Espino, R. (9 de 7 de 2020). Caracteristicas físico-químicas del agua residual. Ecuador.

Gestión de lodos en la fase de pretratamiento de las EDAR. (10 de 6 de 2019). Obtenido de Netjet: https://www.netjet.es/gestion-de-lodos-en-la-fase-de-pretratamiento-de-las-edar/

Goméz, I. C. (2003). *Saneamiento Ambiental.* Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=lsgrGBGlGeMC&pg=PA62&dq=composici%C3%B3n+de+las+aguas+residuales+dom%C3%A9sticas&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj3zL3dqentAhUCVd8KHat3AukQ6AEwAnoECAMQAg#v=onepage&q=composici%C3%B3n%20de%20las%20aguas%20residuales%20dom%C3%A9st

González, J., Rivadeniera, E., & Vasconez, G. (2016). Propuesta para proteger el agua (Ecosistema Páramo) desde un modelo de gestión de servicios ambientales (fondos de agua). Caso de la provincia de Bolívar, Cuenca Alta del Guayas. *Enfoque Administrativo, Vol. 7 No. 2 Facultad de Administración. Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.* , 32-37.

González, P., De Los Santos , C., & De León, A. (2019). Remición de fosforo en agua mediante adsorción. *AUGM*, 1.

GT, E. (24 de 7 de 2018). Memoria técnica del sistema de alcantarillado. Ecuador.

Guaranda, G. A. (12 de 2020). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Guaranda, Bolivar, Ecuador.

INEN. (1992). Codigo ecuatoriano de la construcción.C.E.C. *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito, Pichincha, Ecuador.

IPS. (11 de 12 de 2020). *Cotizar el agua en Wall Street es "peligrosísimo"*. Obtenido de https://www.ipsnoticias.net/2020/12/cotizar-agua-wall-street-peligrosisimo/

Irigo Sismó, O. B. (2018). Producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario. *Policloruro de aluminio*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional .

Isla de Juana, R. (2005). *Proyecto de plantas de tratamiento de aguas: agua de proceso, residuales y de refrigeración.* Bellisco.

Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). A precedure for Evaluating Environmental Impact. *Geological Suervey Circular 645*.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. (6 de Agosto de 2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua*. Obtenido de http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADdricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf

Ley Orgánica de Salud. (18 de Diciembre de 2006). *Ley Orgánica de Salud*. Obtenido de https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf

Maria, T. A. (2015). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales Rumipamba de las Rosas del Salcedo.* Riobamba.

Martha, G. B. (2016). Caracteristicas quimicas inorganicas . En G. B. Martha, *Tratamiento de aguas residuales: convencionales* (pág. 40). Guayaquil.

Martinez Paucar, K., & Yugcha Carrera, F. (2018). Diseño de una planta de tratamiento para agua de pozo en la industria láctea ¨Grupo Rossi¨. Universidad Central del Ecuador.

Melo, C. (2005). The experience of condominial water and sewerage systems in Brazil: case studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas. Brasil.

Menéndez, C., & Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Hidráulica y Ambiental*, 97.

Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales Redes de Alcantarillado y Bombeo.* Madrid.

Microorganismo en el agua potable. (31 de 01 de 2019). Obtenido de https://alkemi.es/blog/microorganismos-en-el-agua-potable/#:~:text=En%20el%20agua%20potable%20pueden,Entamoeba%2C%20Giardia%20y%20Cryptosporidium).

Minaya, J. (2017). Parámetros físiscos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la laguna Moronacocha, época de transicion creciente-vaciante. Iquitos. Peru.2016. Iquitos, Peru.

Miranda, G. L. (2017). *EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DE EFLUENTES GENERADOS POR LA EMPRESA DE LÁCTEOS "MARLEN" UBICADA EN EL CANTÓN TISALEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA.* Ambato.

Miranda, R., Oliet, M., Peréz, T., Alonso, V., Madrid, Y., Domínguez , J. C., & García, P. (2018). Sulfato férrico. En R. Miranda, M. Oliet, T. Peréz, V. Alonso, Y. Madrid, J. C. Domínguez, & P. García, *Tratamiento de aguas: ejercicios resueltos y prácticas de laboratorio* (pág. 65). España, España: DEXTRA.

Miranda, R., Oliet, M., Pérez, T., Alonso, V., Madrid, Y., Domínguez, J. C., & García, P. (2018). Coagulación-Floculación. En R. Miranda, M. Oliet, T. Pérez, V. Alonso, Y. Madrid, J. C. Domínguez, & P. García, *Tratamiento de aguas: ejercicios resueltos y prácticas de laboratorio* (págs. 64-65). España: DEXTRA.

Miranda, R., Oliet, M., Pérez, T., Alonso, V., Madrid, Y., Domínguez, J., & García, P. (2018). Cloruro férrico. En T. d. laboratorio, *Tratamiento de aguas: ejercicios resueltos y prácticas de laboratorio* (pág. 65). España: DEXTRA.

Mirella, B. G. (2016). Aguas residuales. En B. G. Mirella, *Tratamiento de aguas residuales: técnicas convencionales* (pág. 17). Guayaquil.

Mirella, B. G. (2016). Caracteristicas Fisicas . En B. G. Mirella, *Tratamiento de aguas residuales: Convencionales* (pág. 40). Guayaquil.

MIrella, G. B. (2016). Caracteristicas Inorganicas . En G. B. MIrella, *Tratamiento de aguas residuales: convencionales* (pág. 41). Guayaquil.

Narváes, C. E., & Mera, M. V. (2017). *Diseño de Obras Complementarias para la Operación de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales "Brasil" de la ciudad de Tulcán*. Obtenido de file:///C:/Users/DELL/Downloads/T-UCE-0011-268%20(3).pdf

Narváez Román, C., & Mera Arávalo, M. (2017). Diseño de obras complementarias para la operación de la planta de tratamientos de aguas residuales "Brazil" de la ciudad de Tulcán. Quito: Universidad Central del Ecuador.

Nayola , A., Sagastume, J., & Guereca, L. (2013). Tratamiento de aguas residuales. En A. Nayola, J. Sagastume, & L. Guereca, *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales* (págs. 7-8). México.

Noyola, A., Vega, E., Ramos, J., & Calderón, C. (2000). *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales.* México.

OEFA. (2015). *Fiscalización ambiental en aguas residuales.* Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Olmos , R. R., Marques, S. R., & Moreto, V. F. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis.* México.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores.* Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf

Orozco, Á. (2014). *Bioingeniería de Aguas Residuales Teoría y Diseño.* Colombia: Primera Edición.

Pallo, C. M. (2020). *Lecho de secados.* Obtenido de file:///C:/Users/DELL/Desktop/CRIS%20TESIS%20CON%20CORRECIONES/PROYECTO%20TITULACI%C3%93N%20PALLO.pdf

Pérez, A. (2019). Sólidos Totales. *Capacidad absorbente de sólidos totales de la biomasa seca de jacinto de agua (Eichhornia crassipes), quebrada Altomayo, la Peca, Amazonas, 201*. Cachapoyas, Perú.

Picón, C. (3 de 4 de 2019). Sistema alternativo condominical de bajo costo de alacantarillado sanitario para la comunidad de Salinas, cantón Santa Isabel, provincia del Azuay-Ecuador. Cuenca, Ecuador.

Piragua. (11 de 2016). *Manual Piragüero: Medición del caudal.* Colombia. Obtenido de https://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf

Plan de desarrollo y ordenamiento territorial canton Guaranda. (2020). Guaranda, Bolivar, Ecuador.

Pureaqua. (24 de 8 de 2019). Obtenido de Eliminación de Coliformes del Agua: https://es.pureaqua.com/eliminacion-de-coliformes-del-agua/

Ramalho. (1991). Cibrado. En Ramalho, *Tratamiento de aguas residuales* (pág. 92). España: REVERTE.

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamientos de Aguas Residuales.* Barcelona: REVERTE S.A. Obtenido de Tratamientos de Aguas Residuales.

RAS - 2000. (Noviembre de 2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá.

REJA MANUAL HANDRAKE. (2019). Obtenido de Estruagua: https://estruagua.com/productos/reja-manual-handrake/

Rodríguez, L. (15 de 12 de 2020). *iagua*. Obtenido de El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes: https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes

Romero Rojas, J. A. (1999). Muestras para caracterización de aguas residuales . En J. A. Romero Rojas, *Tratamiento de aguas residuales lagunas de estabilización* (pág. 69). Mexico: Escuela colombiana de ingeniería.

Romero, D. V. (2018). *de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa textil Teimsa ubicada en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato.* Riobamba.

Romero, J. (1999). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. En J. Romero , *Bacterias* (pág. 34). México: Alfaomega.

Saboya, X. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chachapoyas-Amazonas.* Lima: Universidad Peruana Unión.

Sánchez, I. (4 de 2011). Tratamiento de aguas residuales para aporte a central térmica de ciclo combinado. Leganés, Madrid, España.

Secretaría del Agua. (2015). *Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones mayores a 1000 habitantes.* Quito.

Sheppard, P. (1992). Manual de agua para usos industriales. En P. Sheppard, *Aguas naturales y sus impurezas* (pág. 13). México.

Sierra, J. H. (1983). Análisis de aguas y aguas residuales. En J. H. Sierra, *Análisis de aguas y aguas residuales* (pág. 153). Universidad de Antioquia.

Sobrinho, H. d. (5 de 2018). Simplified sewerage systems and potencial applicatión to rural Louisiana Communities. Orleans.

Solís , Y., Zuñiga, L., & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predectivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *SciELO*, 1.

Tacoamán, F. A. (2018). *Diseño de una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales para la Parroquia San Jacinto de Izamba del Cantón Ambato.* Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8610/1/96T00430.pdf

Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrugg, C. (12 de Diciembre de 2018). *sswm*. Obtenido de Lecho de secado sin plantas: https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologías-de/tecnologías-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/lecho-de-secado-sin-plantas

TIMSA. (23 de 6 de 2016). Obtenido de Coagulación y floculación del agua: https://www.timsa.com/coagulacion-floculacion-agua/

TSSINTERNACIONAL. (23 de 3 de 2018). *Pretratamiento*. Obtenido de http://tssinternacional.com/pretratamiento/

Universo, E. (20 de 12 de 2020). *Más del 90 % de los municipios del Ecuador no tratan las aguas residuales de acuerdo a la normativa*. Obtenido de https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/20/nota/8409829/agua-servicios-basicos-ecuador/

Valdez, E., & Vázquez, A. (2003). Sedimentador primario. En E. Valdez, & A. Vázquez, *de los de tratamiento y disposición de aguas residuales* (pág. 133). Mexico.

Valdivielso, A. (2021). *Lagua*. Obtenido de Que es un tratamiento terciario de las aguas residuales: https://www.iagua.es/respuestas/que-es-tratamiento-terciario-aguas-residuales

Valdivieso, A. (12 de 9 de 2020). *Iagua*. Obtenido de Que son las aguas pluviales: https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-pluviales

Valencia, A. (1992). Factores que afectan la coagulacion. En A. Valencia, *y practica de la purificación del agua* (pág. 33). Colombia.

Valencia, A. (1992). Teoría y practica de la prurificación del agua. En A. Valencia, *Factores que afectan el proceso de* (pág. 33). Colombia: Acodal.

Valladolid, A. (8 de 2019). Contaminates de agua residual. México.

Vázquez, J. (27 de 8 de 2013). *Análisis de la influencia de la variabilidad de la del agua en los procesos de potabilización en pequeñas comunidades*. Argentina.

Verco. (7 de 8 de 2017). Obtenido de Filtros para aguas residuales : https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/filtros-para-aguas-residuales/

Water Analisis Manual . (2000). Estados Unidos: HACH COMPANY.

Yerén, A. (5 de 12 de 2017). *scribd*. Obtenido de Caudales de diseño: https://es.scribd.com/document/366420437/Caudales-de-Diseno

York, D. d. (1990). Manual de tratamiento de Aguas Negras. En D. d. York, *Bacterias parásitas* (pág. 22). Estados Unidos: LIMUSA NORIEGA.

York, D. d. (1999). Manual de tratamiento de aguas negras. En D. d. York, *Bacterias saprófitas* (págs. 32-33). Estados Unidos: LIMUSA NORIEGA.

Anexo C. Dimensionamiento de la planta









Anexo D. Muestreo del agua residual









Anexo E. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual









Anexo F. Diseño de una planta piloto







