



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CON TECNOLOGÍAS DE LODOS ACTIVADOS EN SISTEMA BIOLÓGICO SECUNDARIO (SBR), EN EL CENTRO DE EXPERIMENTACIÓN AYORA, UBICADO EN EL CANTÓN CAYAMBE

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
Ingenieros Ambientales

AUTORES: GIORGIO VLADIMIR FÉLIX PUENTE
DAVID ALEJANDRO LEIVA CHAVEZ

TUTOR: RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO

Quito - Ecuador

2023

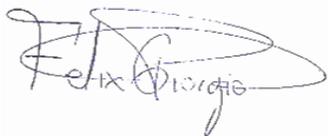
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Giorgio Vladimir Félix Puente con documento de identificación N° 1726677782 y David Alejandro Leiva Chávez con documento de identificación N° 1722643267 manifestamos que:

Somos los autores responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 28 de febrero del año 2023

Atentamente,



Giorgio Vladimir Félix Puente

1726677782



David Alejandro Leiva Chávez

1722643267

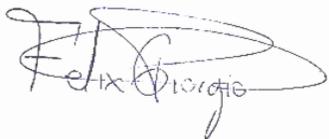
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Giorgio Vladimir Félix Puente con documento de identificación N° 1726677782 y David Alejandro Leiva Chávez con documento de identificación N° 1722643267, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Diseño y construcción de una micro Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, con tecnologías de lodos activados en sistema biológico secundario (SBR), en el Centro de Experimentación Ayora, ubicado en el Cantón Cayambe”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 28 de febrero del año 2023

Atentamente,



Giorgio Vladimir Félix Puente

1726677782



David Alejandro Leiva Chávez

1722643267

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Renato Gabriel Sánchez Proaño con documento de identificación N° 1715542401, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CON TECNOLOGÍAS DE LODOS ACTIVADOS EN SISTEMA BIOLÓGICO SECUNDARIO (SBR), EN EL CENTRO DE EXPERIMENTACIÓN AYORA, UBICADO EN EL CANTÓN CAYAMBE, realizado por Giorgio Vladimir Félix Puente con documento de identificación N° 1726677782 y David Alejandro Leiva Chávez con documento de identificación N° 1722643267, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero del año 2023

Atentamente,



Ing. Renato Gabriel Sánchez Proaño Ph.D

1715542401

DEDICATORIA

A Dios por la fuerza y fortaleza. Por no abandonarme en los momentos de miedo. Por ayudarme a no darme por rendido y demostrar a mis profesores que si puedo.

A mi familia Janneth, Gustavo y Carolina por el apoyo incondicional en el lapso de mi carrera universitaria. Por sus palabras y mensajes para superarme y continuar mejorando como ser humano.

A mí enamorada Sharon por ayudarme a continuar en este proceso. Por su paciencia, cariño y por no abandonarme en los momentos difíciles de la carrera.

A mis pethijos Noa y Casper por mostrarme amor de un ser animal, me ayudaron a desestresarme en los momentos de crisis en el tiempo universitario

David Alejandro Leiva Chávez

Dedico este trabajo a mi hija Giordana que es mi fuente de inspiración para lograr este objetivo, a mis padres Jorge Félix y Roció Puente, quienes durante todo esto tiempo han sido los pilares fundamentales; quienes me han apoyado, me han dado las fuerzas necesarias para seguir adelante y no rendirme.

A mi novia Jennifer, por ser parte importante en el logro de mi meta profesional, a mis hermanas Fernanda y Fanny por su ayuda, sus consejos y palabras de fortaleza hicieron que no me rindiera ante los problemas durante esta etapa. Por último, pero no menos importante quiero dedicar este trabajo a Dios, por darme la sabiduría necesaria durante todo este tiempo de estudio.

Giorgio Vladimir Félix Puente

AGRADECIMIENTO

Nos gustaría agradecer de antemano a nuestro tutor de tesis el Ing. Renato Sánchez Msc. por su apoyo incondicional, por ser guía de superación y por compartir sus conocimientos para la finalización del trabajo de investigación.

Al Ing. Carlos Vélez, quien nos apoyado y brindado con el manejo de equipos, por aconsejarnos en tomar las mejores decisiones y sus consejos en la vida profesional. Por ser un amigo más que un profesional.

A los guardias de la Universidad, por su tiempo, ayuda y cuidado de la Micro PTAR para que no se recaliente.

Giorgio Vladimir Félix Puente

David Alejandro Leiva Chávez

INDICE

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema	1
1.2. Delimitación	2
1.2.1. Ubicación geográfica	2
1.2.2. Temporal	3
1.2.3. Sectorial	3
1.2.4. Institucional	4
1.3. Pregunta de investigación	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	6
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1. Agua residual	7
2.1.1. Características físicas del agua residual	8
2.1.2. Características químicas de las aguas residuales	9

2.1.3.	Características biológicas de las aguas residuales.....	10
2.1.4.	Tipos de aguas residuales.....	11
2.2.	Contaminantes del agua residual.....	11
2.2.1.	Sólidos en suspensión	12
2.2.2.	Metales pesados.....	12
2.2.3.	Nutrientes.....	12
2.2.4.	Sustancias causantes de desequilibrio biológico	13
2.3.	Tratamiento de aguas residuales – PTAR.....	13
2.3.1.	Pre – tratamiento	13
2.3.2.	Cribado o canal de rejas	13
2.3.3.	Trampa de grasas	14
2.3.4.	Tratamientos primarios.....	14
2.3.5.	Tratamiento secundario	16
2.3.6.	Tratamientos Terciarios.....	18
2.4.	Marco legal aplicable.....	19
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1.	Materiales.....	25
3.1.1.	Materiales utilizados en la etapa de muestreo	25
3.1.2.	Materiales utilizados para la etapa de análisis de laboratorio.....	26
3.1.3.	Materiales utilizados en la construcción de la micro PTAR en configuración SBR.....	26

3.2.	Equipos	28
3.3.	Metodología	29
3.3.2.	Metodología de campo	30
3.4.	Metodología para el análisis de laboratorio	31
3.4.1.	Sólidos Sedimentales.....	31
3.4.2.	Medición de pH	31
3.4.3.	Conductividad.....	31
3.4.4.	Turbidez.....	32
3.4.5.	Oxígeno disuelto.....	32
3.4.6.	POR.....	32
3.4.7.	DQO (Demanda Química de Oxígeno).....	32
3.4.8.	DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).....	33
3.5.	Metodología de análisis estadístico	33
3.5.1.	Población y muestra	33
3.5.2.	Variables	34
3.5.3.	Tasa de lodos activados.....	34
3.5.4.	Construcción de la Micro PTAR	39
3.5.5.	Funcionamiento de la Micro PTAR	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41

4.1.	Resultados	41
4.1.1.	Diseño experimental	41
4.1.2.	Resultados de Análisis de Calidad de Agua	41
4.1.3.	Resultados de análisis estadísticos.....	43
4.1.4.	Determinación de Tasa de lodos activados.....	46
4.1.5.	Costo referencial de construcción de la micro PTAR	49
4.2.	Discusión	50
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
5.1.	Conclusiones.....	52
5.2.	Recomendaciones	53
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	54
7.	ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites de descarga al Sistema de Alcantarillado Publico	22
Tabla 2 Materiales utilizados en la etapa de muestreo	25
Tabla 3 Materiales utilizados para la etapa de análisis de laboratorio	26
Tabla 4 Materiales utilizados en la construcción de la micro PTAR en configuración.	26
Tabla 5 Herramientas para la construcción de la Micro PTAR	28
Tabla 6 Equipos.....	28
Tabla 7 Diseño experimental DCA	29
Tabla 8 Datos para ejemplo.....	35
Tabla 9 Cálculos para ejemplo	36
Tabla 10 Resultados de Concentraciones iniciales del agua residual	41
Tabla 11 Resultados de Parámetros básicos.....	42
Tabla 12 Resultados de Sólidos Sedimentales	42
Tabla 13 Resultados de Demanda Química de Oxígeno	43
Tabla 14 Análisis Estadístico DQO.....	44
Tabla 15 Análisis estadístico de Solidos Sedimentables.....	45
Tabla 16 Tasa de lodos activados.....	46
Tabla 17 Determinación de Tasa de Lodos Activados.....	46
Tabla 18 Regresión lineal.....	47
Tabla 19 Valores de Coeficiente	49
Tabla 20 Costo referencial de construcción de la micro PTAR.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la parroquia San José de Ayora.	2
Figura 2 Ubicación Geográfica de la Micro-PTAR	4
Figura 3 Esquema del Proceso de Flujo de Lodos Activados	17
Figura 4 Lecho de Secado de Arena	18
Figura 5 Grafico para la obtención de K y Ks	37
Figura 6 Grafico para la obtención de Kd y Y.	38
Figura 7 Planos Micro PTAR.....	40
Figura 8 Análisis de la Varianza	41
Figura 9 Gráfica de Probabilidad DQO	44
Figura 10 Gráfica de Probabilidad de Sólidos Sedimentables	45
Figura 11 Gráfica de $(X\theta C)/(S_0 - S)$ VS $1/S$	47
Figura 12 Gráfica de $1/\theta_c$ VS $(S_0 - S)/(X\theta)$	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Reconocimiento del área de estudio.....	57
Anexo 2 Construcción de la Micro PTAR.....	58
Anexo 3 Muestreo de agua Residual.....	59
Anexo 4 Funcionamiento de la Micro PTAR	60
Anexo 5 Medición de Solidos Sedimentables.....	60
Anexo 6 Medición de pH.....	61
Anexo 7 Medición de Conductividad	62
Anexo 8 Turbidez.....	63
Anexo 9 Medición de Oxígeno Disuelto.....	64
Anexo 10 Medición de POR.....	64
Anexo 11 Medición de DQO	65

GLOSARIO DE TÉRMINOS

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DCA: Diseño Completamente al Azar

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.

L: Litro.

m: Metro.

m³: Metro Cubico.

mg: Miligramo.

mL: Mililitro.

mm: Milímetros.

mV: Milivoltio.

NTU: Unidades de Turbidez Nefelométrica.

OD: Oxígeno Disuelto.

POR: Potencial de Oxido Reducción.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

SBR: Reactores Biológicos Secuenciales.

RESUMEN

El trabajo de investigación propuesto tiene como meta construir y diseñar una Micro -Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante un Sistema de Lodos Activados en Sistema Biológico Secundario (SBR), estas aguas son procedentes del centro de investigación de Ayora, la finalidad es que estas aguas residuales sean derramadas a la red de alcantarillado cumpliendo el límite máximo permisible determinado por el Acuerdo Ministerial 097, Libro VI. A continuación, se presentan los procedimientos ejecutados para el diseño y construcción de la Micro planta de tratamiento de agua residual para el Centro de Investigación de Ayora. Para obtener los resultados se calculó: DQO, DBO, pH, solidos sedimentales, conductividad, POR. Seguidamente se construyó la micro planta de tratamiento de aguas residuales la cual cuenta con: sistema de aireación, sedimentador secundario. Al realizar la prueba de tratamiento de lodos activados se conoció la tasa de lodos, el cual estuvo aireado durante 5 días las 24 horas, obteniendo un parámetro de DQO inicial de 2360 [mg/L] y DQO final de 310 [mg/L] comprobando que cumple el límite máximo permisible para poder ser vertido al sistema de alcantarillado.

Palabras Clave: Solidos Sedimentales, Lodos Activados, Tratamiento, SBR.

ABSTRACT

The proposed research work has the goal of building and designing a Micro-Wastewater Treatment Plant through an Activated Sludge System in the Secondary Biological System (SBR), these waters come from the Ayora research center, the purpose is that these wastewater is spilled into the sewerage network complying with the maximum permissible limit determined by Ministerial Agreement 097, Book VI. The procedures carried out for the design and construction of the Micro wastewater treatment plant for the Ayora Research Center are presented below. To obtain the results, it was calculated: COD, BOD, pH, sedimentary solids, conductivity, ORP. Next, the micro wastewater treatment plant was built, which has: aeration system, secondary settler. When carrying out the activated sludge treatment test, the sludge rate was known, which was aerated for 5 days 24 hours, obtaining an initial COD parameter of 2360 [mg/L] and final COD of 310 [mg/ L] verifying that it meets the maximum allowable limit to be able to be discharged into the sewage system.

Keys words: Sedimental Solids, Activated Sludge, Treatment, SBR

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

En los sistemas acuáticos el medio de contaminación principal es las aguas residuales, la escasez de Plantas de tratamiento de aguas residuales en las industrias, ganadería, agricultura, ocasionan grandes cantidades aguas contaminadas que perjudican al medio ambiente.

El suministro de agua es la primera demanda de recurso básico de una comunidad, para el desarrollo de sus actividades y satisfacer sus necesidades, por lo que se produce aguas residuales que son un problema que va en aumento debido a que son vertidas en al medio sin ser tratadas.

Las actividades agrícolas y ganaderas de la zona afectan claramente a la producción de extensos cuerpos de aguas residuales con altísima carga de contaminación, estas se producen por acumulación de materia orgánica y se las considera como aguas muy peligrosas.

Hay que tener en cuenta que en el Centro de Investigación de Ayora no existe una Planta de tratamiento de aguas residuales y con su construcción es muy útil ya que por sus alrededores existen empresas florícolas y ganaderas, las cuales desfogan gran cantidad de aguas residuales y así cumplir con los límites máximos permisibles determinados en el Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, anexo 1. (Castillo et al. 2020, p.386).

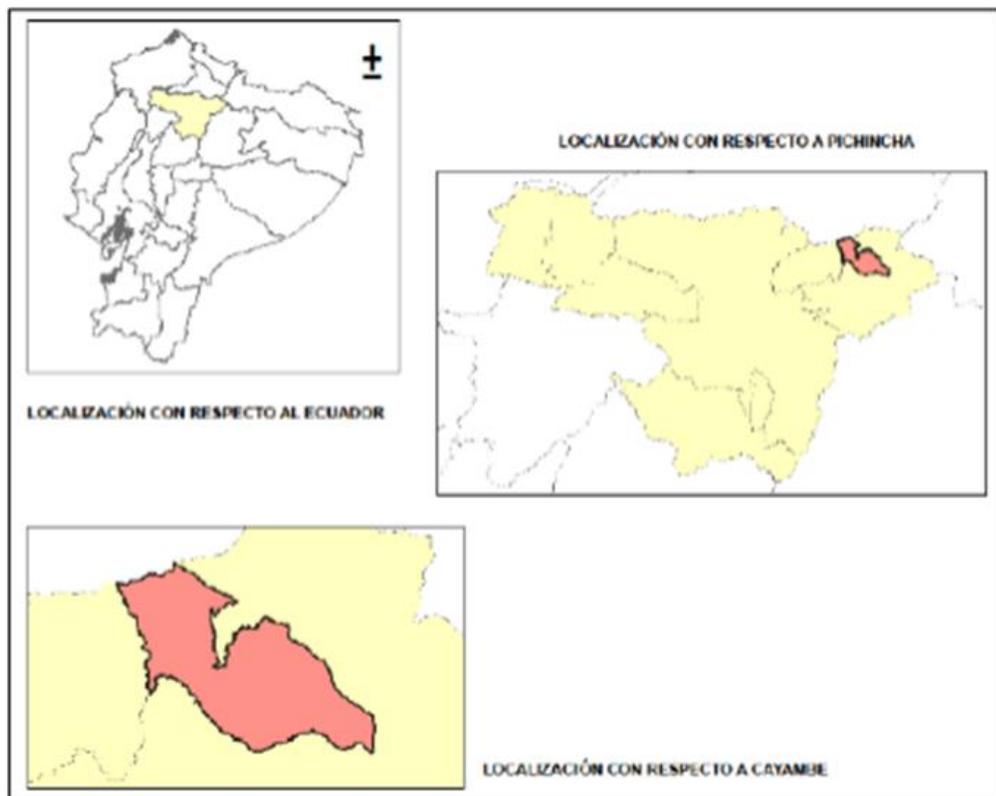
1.2. Delimitación

1.2.1. Ubicación geográfica

La presente investigación es en el Centro de Investigación de la Universidad Politécnica Salesiana situado en Ayora, un lugar posesionado por ganaderos y florícolas influyendo en la economía y desarrollo de la región. La PTAR ayudara a la población en la descontaminación del agua residual y para que futuros estudiantes puedan realizar sus prácticas académicas y contribuyan en nuevos medios de investigación.

Figura 1

Ubicación de la parroquia San José de Ayora.



Nota: Tomado de (Planta Territorial de La Parroquia San José de Ayora, 2015).

1.2.2. Temporal

El desarrollo de la Micro PTAR en configuración SBR tendrá un lapso de 3 meses desde la apertura de su construcción.

1.2.3. Sectorial

La Micro PTAR se encuentra ubicada en el Centro de Experimentación de Ayora de la UPS localizado en la parroquia que contiene el mismo nombre. El cual se implementará unidades de investigación en gestión y manejo del agua (riego, agua potable y tratamiento de aguas residuales) (*Planta Territorial de La Parroquia San José de Ayora, 2015*).

Podemos observar la ubicación satelital de la Micro PTAR y sus coordenadas UTM, las cuales son: Coordenada Este: 818275.00m y Coordenada Norte: 7772.00m como se indica en la figura 2.

Figura 2

Ubicación Geográfica de la Micro-PTAR



Nota: Elaborado por Los Autores (Google Earth 2018, v7.3.2).

1.2.4. Institucional

Este trabajo tiene como parte administrativa el Centro de Experimentación de San José de Ayora, en la parte intelectual actúa la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, favoreciendo a la comunidad en general y a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental para que realicen prácticas referentes al tema.

El desarrollo de la investigación tendrá un enfoque participativo en articulación con investigadores, estudiantes y productores a través de los grupos de investigación y de innovación educativa, carreras y programas de posgrado de la UPS (*La Estación de Investigación Fortalecerá Los Sistemas de Producción Agrícola*, 2021).

1.3. Pregunta de investigación

¿Se puede llegar a los niveles de concentración adecuados con la implantación de una Micro PTAR con tecnología SBR de lodos activados y así cumplir con la norma establecida en el Acuerdo Ministerial 09?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Desarrollar un prototipo de tratamiento de aguas residuales urbano de bajo costo, enfocado en el saneamiento del agua en comunidades rurales, mediante tecnología de lodos activas en configuración SBR, para el uso posterior de las aguas tratadas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar las necesidades de las aguas residuales en el cantón Ayora, mediante un muestreo para su tratamiento y aprovechamiento a futuro.
- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales de lodos activados en configuración SBR en un tanque IBC de 1 m³ (un metro cubico), para la reutilización del agua tratada.
- Construir un prototipo de sistema de descontaminación, mediante un sistema biológico secundario para su prueba y colocación en el Centro de investigación de Ayora que pertenece a la Universidad Politécnica Salesiana.
- Incentivar en varias zonas del cantón Cayambe para la implementación de micro plantas de tratamiento y la importancia de su construcción a largo plazo para los beneficios de las microempresas ganaderas y agricultoras.

1.5. Hipótesis

El diseño y construcción de una Micro Planta de Tratamiento de Agua Residual mediante el sistema de lodos activados, beneficiará a que el agua originaria del Centro de Experimentación de Ayora cumpla con las medidas determinadas en la Normativa Ambiental Vigente.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Agua residual

Desafortunadamente, las aguas residuales (como los desechos sólidos) son un subproducto inevitable de las actividades humanas. En el pasado, varias especies (que, por razones obvias, se creaban en las orillas de los ríos y lagos) utilizaban la capacidad de autolimpieza del agua, pero a un precio bajo por lo que su aparición no es un gran problema. Sin embargo, la cantidad de ciudades y sus habitantes, así como el crecimiento de las industrias, entre otras cosas, hicieron que esta escasez de agua se disipara por sí sola. Por ello, es importante “ayudar” a la naturaleza instalando plantas depuradoras y depuradoras. (Lozano Rivas, 2016).

El uso de aguas residuales en la agricultura puede reducir el estrés hídrico ya que este proceso compite con los flujos de agua domésticos e industriales. El 73 % del agua se usa para el uso agrícola: la agricultura periurbana consume mucha agua, pero también es un área de almacenamiento de alimentos para las ciudades; Por ello, el riego regular de la zona o ciudad garantizaría la seguridad alimentaria de las mismas ciudades, cuya población ha aumentado un 150% en los últimos veinte años (Cachipundo Charles et al., n.d.).

Estas aguas pueden provenir de viviendas, instituciones, lugares comerciales. Hay que tener en cuenta que es un tema prioritario a nivel nacional, ya que es importante disponer de buena calidad de agua, permitiendo ser amigable con el ecosistema donde va su descarga (Arrieta R. & Chica K., 2019).

El agua residual de Ayora presenta parámetros químicos como el pH que es ligeramente ácido y algunos casos niveles altos de oxígeno disuelto. Esto se debe a que en el agua de entrada

se identifica una mínima descarga de agua residual que reduce el oxígeno disuelto en el agua por estar parada, a diferencia de la captación en donde se encuentra en constante movimiento y por tanto el oxígeno disuelto se mantiene elevado (Sánchez R., 2021).

2.1.1. Características físicas del agua residual

2.1.1.1. Olor

A medida que la materia orgánica se descompone libera gases lo que hace que el agua residual desprenda olores putrefactos y afecte la calidad del proyecto siendo de gran utilidad en las PTAR la deposición del agua residual y sistemas de alcantarillado (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.1.2. Color

El color predominante del agua residual es de tonalidad grisácea, pero para llegar a este depende de varios factores como condiciones anaerobias, el tiempo que se encuentra en reposo, composición. Hay que tener en cuenta que el color puede variar de gris a negro (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.1.3. Temperatura

Para que los lodos se adapten y puedan desarrollarse en la vida acuática, la temperatura debe variar entre 10 y 20 °C (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.1.4. Sólidos

Habitán en la mayoría de las aguas residuales provocando que las especies de flora y fauna no se desarrollen de manera fructífera. Es muy importante conocer que mientras más sólidos existan va a aumentar la turbidez en el agua.

2.1.1.5. Sólidos Totales

Es materia que se consigue al ejecutar un proceso de evaporación entre una temperatura de 103 y 105 °C (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.1.6. Sólidos Sedimentables

Sedimentan al fondo de un contenedor, puede ser un Cono Imhoff que se expresan en ml/L, indicando la medida de la cantidad de lodos que tiene el agua residual.

2.1.1.7. Sólidos Suspendedos

Conforma la diferencia de los sólidos de la muestra filtrada y los sólidos totales de la muestra no filtrada, tendiendo una dimensión mayor a 1,2µm (Rojas, 2002).

2.1.2. Características químicas de las aguas residuales

Constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua, a la vez podemos encontrar sustancias que presentan propiedades tóxicas y también carcinógenas. Nos enfocaremos en las más comunes como:

2.1.2.1. Componentes orgánicos

El 40% del agua residual es originaria de la composición orgánica proveniente de plantas y animales. Está compuesta de azufre, hierro, carbono, oxígeno, hidrógeno, fósforo, materia orgánica, carbohidratos y aceites (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.2.2. Componentes inorgánicos

El agua natural descompone algunas rocas y minerales, las aguas residuales no se tratan particularmente para eliminar este material porque perturba el uso del agua. Son de origen carbonatos, mineral o sulfatos, etc. (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.3. Características biológicas de las aguas residuales

La biodiversidad incluye información sobre los principales grupos de microorganismos que se encuentran en las aguas subterráneas y las aguas residuales, así como los involucrados en el tratamiento biológico, que se utilizan como indicadores de contaminación. (*Características biológicas de Las Especie Dalbergia*, n.d.).

2.1.4. Índice de biodegradabilidad

Componente de influencia que afecta la eficacia de una fosa séptica, la cual debe ser mayor a 0,4 calculado con el factor DBO5/DQO, la cual en la mayoría de los casos incumple cuando las aguas residuales contienen contaminantes, que están enlazados con la mezcla de aguas residuales industriales sin tratamiento con las aguas residuales domésticas. Esto provoca que los contaminantes se incrementen en las aguas residuales de pueblos rurales por la exageración de utilización de productos químicos en la industria doméstica, hogares y otras actividades

productivas. Algunos contaminantes que están presentes en las aguas residuales domesticas están residuos de industria doméstica, pesticidas, compuestos de aseo personal, medicamentos, entre otros (Sánchez R. & García K., 2018).

2.1.5. Tipos de aguas residuales

2.1.5.1. Aguas residuales industriales

Todas las aguas residuales de actividad comercial o industrial que son vertidas al alcantarillado, no deben ser aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

2.1.5.2. Aguas residuales domesticas

Originarias de viviendas y de servicios producidas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

2.1.5.3. Aguas urbanas

Las aguas residuales industriales, domésticas o la mezcla de estas con aguas residuales de escorrentía pluvial.

2.1.5.4. Agua negra

Son ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Estos fluidos son provenientes de inodoros, (Rojas, 2002).

2.2. Contaminantes del agua residual

A continuación, vamos a observar los contaminantes más significativos de las aguas residuales y su influencia.

2.2.1. Sólidos en suspensión

Presentan un tamaño de su poro nominal de 0.45 micras donde la acumulación de residuos retenidos pasa por un sistema de vidrio haciendo referencia al material particulado que se conserva en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (IDEAM, 2007).

2.2.2. Metales pesados

Los metales pesados, como el plomo, el cadmio, el cromo, el zinc y el mercurio, ingresan principalmente a los ecosistemas acuáticos y los suelos como resultado de distintas acciones humanas y representan una grave amenaza para las plantas, los animales e incluso los humanos debido a su tenacidad, propiedades no biodegradables y su toxicidad incluso a mínimas concentraciones (Pabón et al., 2020).

Cuando estos metales pesados ingresan a los ecosistemas acuáticos, producen cambios en los procesos biogeoquímicos intercambiándose con otras especies con distintas propiedades fisicoquímicas. En algunas ocasiones estos metales son persistentes ya que no pueden ser degradados por procesos biológicos (Bose & Chakraborty, 1957).

2.2.3. Nutrientes

Dichos nutrientes son transcendentales para el desarrollo de las plantas lo que hace útil para la agricultura. Como están presentes en las aguas residuales proceden de las excretas por medio de

orina y heces, no hay que olvidar que vienen de desechos orgánicos domésticos, provocando una acumulación de nitrógeno y fosforo. Estos nutrientes son los autores de la eutrofización, dañando las masas de agua y sus ecosistemas (Taipicaña, 2019).

2.2.4. Sustancias causantes de desequilibrio biológico

Estimulan a la proliferación de hongos y plantas acuáticas.

2.3. Tratamiento de aguas residuales – PTAR

Para que exista vida, la restauración del oxígeno es muy importante ya que debe existir abundancia de este componente para mantener la vida. A la vez disminuye la materia orgánica, permite evacuar sólidos y la restauración de oxígeno.

2.3.1. Pre – tratamiento

Este proceso permite las operaciones físico-mecánicas, que accede en la eliminación de solidos de gran dimensión como grasas, aceites, arenas y gravas las cuales provocan daños en las etapas posteriores. Es de mucha importancia tener un correcto mantenimiento y diseño ya que cualquier deficiencia trascenderá de forma negativa en el resto de las instalaciones provocando obstrucciones en bombas, válvulas a la vez origina un desgaste en equipos. Esta etapa tiene como objetivo la descontaminación y tratamiento de lodos contaminados y así mejorar el rendimiento en el resto de las etapas sucesivas (Diario El Correo, 2021).

2.3.2. Cribado o canal de rejas

Estanca los sólidos gruesos en suspensión, se las ubica aguas en alto en las estaciones de bombeo. Se obstruyen de manera muy fácil por los sólidos grueso que traslada el agua residual. Estas sustancias debido a su densidad quedan flotando en la superficie (Fúquene et al., 2018).

2.3.3. Trampa de grasas

Se ubica en la fuente de producción de las sustancias y previamente del sedimentador primario o tanque séptico. Su tiempo de retención puede varias entre 15a 30 minutos. Consta de un tanque con diseño hidráulico (Diario El Correo, 2021).

2.3.4. Tratamientos primarios

Su función principal es la reducción de los sólidos en suspensión (sedimentables y flotantes) mediante su sedimentación obteniendo una disminución de la contaminación biodegradable. Estos solidos están formados por materia orgánica lo que provocan una eliminación más rápida (“Pretratamiento y Tratamientos Primarios,” 2016).

2.3.4.1. Sedimentación

Este tanque de sedimentación tiene como función la remoción de sólidos en suspensión (SS) en una cantidad aproximada de 40 a 50 por ciento. Cumple con varios procesos en la que el lodo solido debe ser sacado en varios tiempos y se traslada por los espesores hasta los lechos de secado. Dependiendo del clima el lodo crudo es mezclado con el exceso de lodo y es secado por varios días. En el tanque primario se produce una nata que va a ser aireada junto con el lodo activado de retorno por medio de aireadores mecánicos de superficie. El siguiente proceso es un licor mezclado que permite la sedimentación en la parte final de los tanques secundarios de

sedimentación. Por lo general el 50 por ciento de los lodos activados es recirculado al tanque de aireación desde los tanques finales de sedimentación (Lozano, 2014).

2.3.4.2. Flotación

Permite la separación de las partículas sólidas que están presentes en la fase líquida, se introducen burbujas de gas que se adhieren a las partículas suspendidas arrastrándolas hacia la superficie provocando una ruptura. Para la eliminación de las partículas pequeñas se utiliza poco tiempo y el método más usado es:

Flotación por Aire Disuelto (DAF): El agua es comprimida por el aire en el tanque cerrado, y luego el agua se lleva al tanque de flujo, pasando por la válvula de caída de presión, formando burbujas de 50 a 100 micrones de tamaño, absorbiendo hierro, aceite y grasa en la parte superior (Angus M., n.d.).

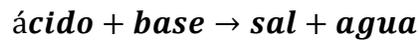
2.3.4.3. Coagulación

Permiten la remoción de patógenos que se encuentran adheridos a dichas partículas, provocando de manera significativa la calidad del agua. De manera general consiste en agregar el agua residual con aditivos químicos con la intención de beneficiar a la sedimentación de materia coloidal y acrecentar el apresuramiento de sedimentación para la formación de flóculos (Howe, 1965).

2.3.4.4. Neutralización

Abarca todos los parámetros que están destinados a llevar al agua a un pH cercano a la neutralidad, o bien a un pH próximo al pH de equilibrio. Existen factores en la que el agua de

manera inicial puede ser alcalina o acida. La reacción en la que una base contrarresta las propiedades de un ácido toma el seudónimo de neutralización y se ajusta a una ecuación química del tipo:



La teoría de Arrhenius menciona que la neutralización se somete a una reacción entre los iones H⁺ y OH⁻ característicos, respectivamente, de ácidos y bases para formar agua (Bermeo et al., 2017).

2.3.4.5. Filtración

Es la última etapa de la clarificación que se efectúa en una planta de tratamiento de agua. Remueve partículas coloidales y suspendidas, DQO, DBO5, metales pesados que están presentes en una suspensión acuosa que filtra por un medio poroso. Tiene como función principal producir de buena calidad el agua y así cumplir con los estándares de potabilidad. Cuenta con dos fases: lavado y filtración (Maldonado, 1915).

2.3.5. Tratamiento secundario

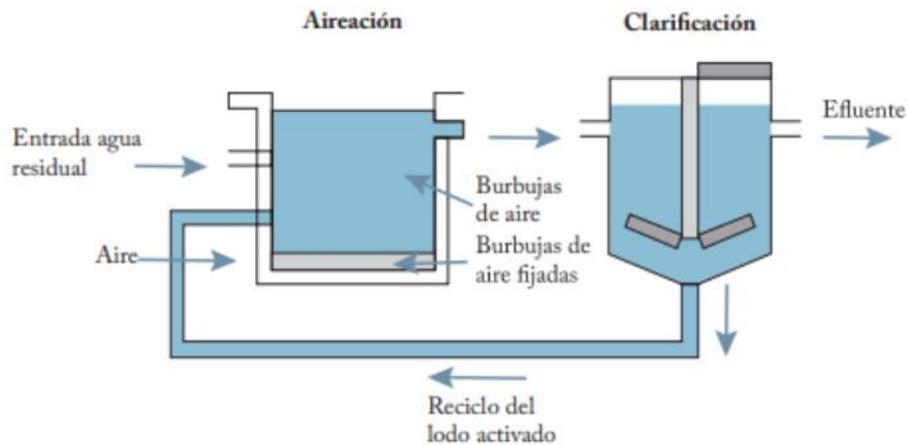
Está enfocado en la eliminación de los compuestos orgánicos biodegradables y sólidos en suspensión. Cumple con procesos químicos y biológicos para eliminar una gran cantidad de materia orgánica. Hay que tener en cuenta que se incluye la desinfección como parte del tratamiento (*Fundamentos Del Tratamiento de Agua Residual*, n.d.).

2.3.5.1. Lodos activados

Contiene muchos organismos flotantes, organismos muertos y cosas no vivas. Tiene la propiedad de tener una superficie muy eficaz para la materia coloidal y en suspensión, que lleva su nombre (Rojas, 2002).

Figura 3

Esquema del Proceso de Flujo de Lodos Activados



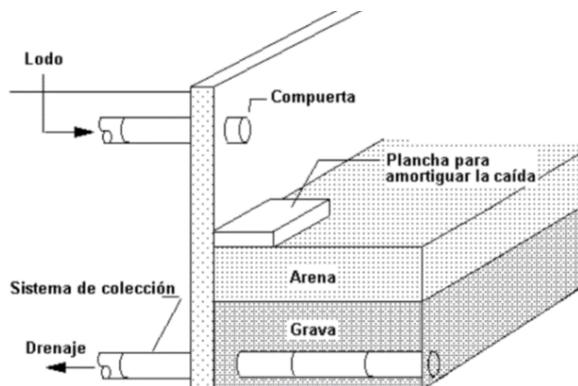
Nota: La imagen representa al flujo de lodos activados. Tomado de *Aplicaciones Tecnológicas de tratamiento de Aguas Residuales*, por Quispe et al., 2020, pág. 84

2.3.5.2. Lecho de secado

Comúnmente son empleados en plantas de tratamiento de menor dimensión, el más frecuente es el lecho tipo de secado de arena, estos cimentan con o sin remoción mecánica de lodo (Valdez, E. & Vázquez, 2010).

Figura 4

Lecho de Secado de Arena



Nota: Es un método de deshidratación del agua presente en el lodo (Valdez, E. & Vázquez, 2010).

2.3.6. Tratamientos Terciarios

Implica la última fase del proceso en la que el contaminante del agua residual se reduce para que pueda ser reutilizada y así regresar al medio natural. Cuenta varias combinaciones de tecnologías. Su elección depende, fundamentalmente, del tipo de tratamiento primario y secundario manejado y de la eficacia que pretende el agua para poder acoplarse a los mínimos exigidos para su uso según la legalidad vigente (Telwesa, 2021).

2.3.6.1. Precipitación Química

Transforma el estado de los sólidos disueltos y suspendidos que están presentes en las aguas, facilitando su eliminación. Presentan una adición de productos químicos al agua residual (Ceballos, 2011).

2.3.6.2. Adsorción

La volatilización es proporcional a la concentración del compuesto en el tanque de aireación y es lineal a bajas concentraciones de sustrato. El soluto se concentra en la superficie sólida y en este proceso se utilizan materiales como el carbón activado porque elimina los compuestos orgánicos disueltos que se asientan en la interfase, que es el límite sólido-líquido (Ramírez, E.; Mijaylova, P.; Cruz, J.; Evangelista, P. y Rodríguez, n.d.).

2.4. Marco legal aplicable

A continuación, se indica el marco legal aplicable para la Micro Planta de Tratamiento de Agua Residuales en Configuración SBR:

Constitución de la República del Ecuador

Registro Oficial No.449, 20 de octubre de 2008

Art.264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Beeken, 2008).

Art.411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (Beeken, 2008).

Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua 16

Registro Oficial Suplemento 305, 06 de agosto de 2014

Art. 11.- - Infraestructura hidráulica.

Se consideran obras o infraestructura hidráulica las destinadas a la captación, extracción, almacenamiento, regulación, conducción, control y aprovechamiento de las aguas así como al saneamiento, depuración, tratamiento y reutilización de las aguas aprovechadas y las que tengan como objeto la recarga artificial de acuíferos, la actuación sobre cauces, corrección del régimen de corrientes, protección frente a avenidas o crecientes, tales como presas, embalses, canales, conducciones, depósitos de abastecimiento a poblaciones, alcantarillado, colectores de aguas pluviales y residuales, instalaciones de saneamiento, depuración y tratamiento, estaciones de aforo, piezómetros, redes de control de calidad así como todas las obras y equipamientos necesarios para la protección del dominio hídrico público (“Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, TULSMA,” 2017).

Art. 37.- Servicios Públicos Básicos. Para efectos de esta Ley, se considerarán servicios públicos básicos, los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua. La provisión de estos servicios presupone el otorgamiento de una autorización de uso.

1. Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración (“Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, TULSMA,” 2017).

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

ORDENANZA 097ª, 4 de noviembre de 2015

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes

4. Clasificación

4.2 Normas Generales de descarga de efluentes

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.

2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

5. Desarrollo

5.2 Criterios Generales para la Descarga de Efluentes

5.2.1 Principios Básicos para Descarga de Efluentes

5.2.1.3 Los sedimentos, lodos de tratamiento de aguas residuales y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos peligrosos o no peligrosos, de acuerdo a su composición (MAE, 2015).

5.2.1.4 Las municipalidades de acuerdo con sus estándares de Calidad Ambiental deberán adaptar sus ordenanzas, considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas, en sujeción a lo establecido en la presente norma (MAE, 2015).

5.2.1.10 Se prohíbe verter desechos sólidos, tales como: basuras, animales muertos, mobiliario, entre otros, y líquidos contaminados hacia cualquier cuerpo de agua y cauce de aguas estacionales secas o no (MAE, 2015).

5.2.3 Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

5.2.3.4 Se prohíbe descargar en un sistema de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa (MAE, 2015).

Tabla 1

Límites de descarga al Sistema de Alcantarillado Público

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio	-	mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Zinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (Total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno total Kjedahl	N	mg/l	60,0
Organofosfados	Especies totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial Hidrógeno	pH	-	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	-	mg/l	20,0
Sólidos suspendidos totales	-	mg/l	220,0
Sólidos totales	-	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO4-2	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C	-	<40,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	-	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	-	1,0

Nota: Tomado de Ordenanza 097ª, 2015.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Los materiales utilizados se dividen en 3 etapas, materiales utilizados en la etapa de muestreo, materiales utilizados para la etapa de análisis de laboratorio y materiales usados en la construcción de la Micro PTAR en configuración SBR

3.1.1. Materiales utilizados en la etapa de muestreo

Los materiales utilizados para esta etapa son instrumentaría básica para poder recoger muestra de aguas residuales y se demuestran en la tabla 2.

Tabla 2

Materiales utilizados en la etapa de muestreo

Materiales	Cantidad
Tanque IBC de 1 m ³	1
Botas	2 pares
Guantes Quirúrgicos	4
Mandil	2
Mascarillas	8
Baldes	8
Soga	5 m.
Casco	2
Chaleco	2

Nota: Elaborado por Los Autores

3.1.2. Materiales utilizados para la etapa de análisis de laboratorio

Los materiales manejados para llevar a cabo el proceso de análisis de laboratorio, mismos que fueron proporcionados por la UPS Campus Sur y se indican en la tabla 3.

Tabla 3

Materiales utilizados para la etapa de análisis de laboratorio

Materiales	Cantidad	Capacidad
Cono Imhoff	3	1000 mL.
Soporte del cono Imhoff	1	-
Vasos de precipitación	2	1400 mL – 400 mL
Jeringuillas	2	1 mL – 10 mL
Piseta	1	100 mL
Gradilla	1	-
Viales	25	-

Nota: Elaborado por Los Autores

3.1.3. Materiales utilizados en la construcción de la micro PTAR en configuración SBR

Los materiales utilizados en la etapa de construcción de la Micro PTAR fueron puestos a disposición por medio de la UPS, y se indican en la tabla 4:

Tabla 4

Materiales utilizados en la construcción de la micro PTAR en configuración.

Materiales	Cantidad
Tanque IBC de 1 m ³	1
Blower de ½ HP de potencia	1
Aireadores de microburbuja	4

Materiales	Cantidad
-------------------	-----------------

Tubos de 1" PVC	3 m.
Tubo de 1" Galvanizado	3 m.
Bushing 2"	4
TE PVC 50 mL.	1
Codo Galvanizado (1" x 90°)	4
Filtro de aire para blower	1
Bomba de lodos ½ HP sumergible	1
Electroválvula	1
Gabinete 60x40x20	1
Breaker bifásico (20 AMP)	1
Breaker monofásico (20AMP)	1
Porta fusible de cerámica	2
Logo 230 R SIEMENS	1
Guardamotor (10 AMP)	2
Switch de nivel	1
Selector 3 posiciones	1
Luz piloto 220V verde	3
Luz piloto 220V rojo	3
Fusible cerámico (2 AMP)	2
Cable AWG N°16	20m.
Cable sucre 2x16	5m.
Cable sucre 3x12	10m.
Riel Din	1m.
Canaleta 1"	1m.

Nota: Elaborado por Los Autores.

3.1.3.1. Herramientas para la construcción de la Micro PTAR

Las herramientas utilizadas en la etapa de construcción de la Micro PTAR fueron puestos a disposición por parte de los autores, y se indican en la tabla 5:

Tabla 5

Herramientas para la construcción de la Micro PTAR

Herramienta	Cantidad
Sierra	1
Llave de tubo	2
Estilete	1
Taladro	1
Destornillador de estrella	1
Destornillador plano	1
Pelacables de aislamiento	1

Nota: Elaborado por Los Autores

3.2. Equipos

Los equipos utilizados para realizar los análisis de los diferentes parámetros se describen en la Tabla 6 teniendo en cuenta su procedencia y registro con la finalidad de avalar los resultados obtenidos.

Tabla 6

Equipos

Equipo	Marca	Modelo
pH – metro	Hanna Instruments	Combo PH & ORP
Espectrofotómetro SP600	Orbeco L71200	Clarkson 1712000
Digestor	Digi PREP CUBE	F10SA0109
Equipo	Marca	Modelo
Turbidímetro	Orbeco Hellige	TB200

Oxímetro	Horiba Scientific	9H5MOO14
Pluviómetro	Horiba Scientific	LAQUA act

Nota: Elaborado por Los Autores

3.3. Metodología

3.3.1. Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se hizo uso de un diseño experimental, por medio de un Diseño Complemente al Azar (DCA), con la finalidad de usar un mismo número de repeticiones por cada tratamiento.

Se propuso un DCA con tres (3) tratamientos y tres (3) repeticiones por cada uno, de esta manera se obtuvo un total de nueve (9) unidades experimentales, de donde se pudo obtener el mejor tratamiento aplicable a las aguas residuales; en la tabla 7 se describe cada tratamiento con su dosificación de lodos; cabe mencionar que el volumen de agua residual se mantuvo constante con 700L:

Tabla 7

Diseño experimental DCA

Tratamiento	Repeticiones			Cantidad de lodos
	R1	R2	R3	
T1	A1	A2	A3	100 L
T2	B1	B2	B3	75 L
T3	C1	C2	C3	50 L

Nota: Elaborado por Los Autores

Los valores evaluados en el diseño experimental se tabularon mediante la ayuda del software Microsoft Excel con el paquete estadístico que incluye el mismo, con el cual se obtuvo

los datos de ANOVA y comparaciones con prueba de Tukey al 5 %, creando intervalos de confiabilidad de los parámetros analizados (DQO).

3.3.2. Metodología de campo

3.3.2.1. Muestreo de agua residual

Para el muestreo de aguas residuales, se hizo uso de un tanque IBC para tomar la muestra en el punto de descarga de estas aguas usadas, se realizó un enjuague del tanque con la finalidad de eliminar un residuo que afecte el resultado a obtener, se procedió al llenado hasta obtener 1 m³ y se cerró para evitar derrame de la muestra; se transportó a las instalaciones de la UPS Campus Sur, al espacio del Club Ambiental donde se encuentra la Micro PTAR.

3.3.2.2. Muestreo de lodos activados

- ***Toma de muestras 1***

Para el muestreo de lodos activados, se visitó una PTAR en la ciudad de Quito de lodos ya estabilizados, para lo cual utilizamos 8 baldes de 25 L., mismos que tuvieron un lavado previo para la eliminación de impurezas. Se procedió a destapar los baldes y con una jarra esparcimos la grasa y espuma; una vez apartada recogimos los lodos y llenamos los baldes y así consecutivamente con los baldes restantes.

- ***Toma de muestras 2:***

Para el muestreo de lodos activados, se visitó una PTAR en la ciudad de Ibarra de lodos ya estabilizados, se utilizó 8 baldes de 25 L., mismos que tuvieron un lavado previo para la

eliminación de impurezas. Se procedió a colocar la boca del balde en la tubería de descarga de lodos de la PTAR, este proceso se realizó repetitivamente con los baldes restantes.

3.4. Metodología para el análisis de laboratorio

Para la determinación de los diferentes parámetros se procedió a tomar una muestra de 100 mL de la Micro PTAR en un cono Imhoff, y llevados al laboratorio de Tecnologías de Aguas Residuales de la UPS Campus Sur. Seguido a esto, se dejó reposar durante 45 minutos la muestra.

3.4.1. Sólidos Sedimentales

Colocamos en un cono Imhoff 1000 ML de muestra y dejamos reposar durante 45 minutos para que sedimente y los sólidos caigan por gravedad. Anotamos los valores que fue 0,6 mL.

3.4.2. Medición de pH

Se realizaron mediciones de pH diarias con ayuda del pH-metro, procediendo a introducir la sonda del equipo en una muestra de agua de 500 mL tomada en un vaso de precipitación; presionamos el botón “measure” y se obtuvo el valor del pH en la pantalla del equipo. Antes de realizar la medición se verifico que el equipo este calibrado, de igual manera antes y después de la medición se lavó con agua destilada el electrodo para eliminar cualquier impureza.

3.4.3. Conductividad

Se realizaron mediciones de conductividad diarias con ayuda del pH-metro previamente configurado para la medición de este parámetro, procediendo a introducir la sonda del equipo en una muestra de agua de 500 mL tomada en un vaso de precipitación; presionamos el botón

“measure” y se obtuvo el valor de conductividad en la pantalla del equipo. Antes de realizar la medición se verifico que el equipo este calibrado, de igual manera antes y después de la medición se lavó con agua destilada el electrodo para eliminar cualquier impureza.

3.4.4. Turbidez

Previamente a la medición se obtuvo una muestra de 10 mL del cono Imhoff colocado en el cubeto. Para medir la turbidez se colocó un blanco que contiene agua destilada con la finalidad de encerrar el equipo pulsando TEST/CAL y en la pantalla apareció 0.00. Sacamos el blanco y se colocó el cubeto con la muestra de agua y pulsamos ENTER para obtener el valor en unidades NTU.

3.4.5. Oxígeno disuelto

En un vaso de precipitación se tomó una muestra de 300 mL en el cual se introdujo la sonda del equipo previamente lavada con agua destilada; posteriormente se presionó el botón MEAS y se obtuvo el valor de OD Disuelto.

3.4.6. POR

En la muestra ya tomada colocamos las dos sondas del pluviómetro previamente lavadas con agua destilada y pulsamos MEAS o MEASURE para iniciar la medición y se obtuvo el valor en la pantalla del equipo.

3.4.7. DQO (Demanda Química de Oxígeno)

En un vaso de precipitación colocamos 9 mL de agua destilada y ponemos 1 mL de muestra a mezclar. Con una jeringuilla recogemos 0.2 mL de muestra y colocamos en el vial de COD HR y señalamos como Día 0. Prendemos el digestor el cual debe estar a 150 °C e introducimos el vial preparado durante 2 horas.

Finalizado el tiempo esperamos a que se enfríe y nos acercamos al Espectrofotómetro pulsamos on/off seguido del botón de la flecha y esperamos a que se calibre. Cuando esté listo va a aparecer en la pantalla un listado donde vamos a introducir el código 132 (COD HR), seleccionamos e introducimos el vial que dice Blanco meter y pulsamos Zero. A continuación, se va a prender una luz de color amarillo y en la pantalla va a salir Cero Aceptado. Colocamos el vial día 0 y pulsamos Test y así realizamos 3 repeticiones, sacando un promedio obtuvimos un valor de 2360.

3.4.8. DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

Preparar agua de dilución o agua de reposición, que es agua añadida para mantener o diluir el sistema de lodos, que puede tener características óptimas para la supervivencia y el crecimiento de los organismos utilizados en las pruebas de toxicidad. Al agua de dilución se le añaden unos 500 mL de agua destilada y 1 mL de sustancias: El pH del agua de la solución debe ser de 7,2 y se deja reposar media hora. Se vertieron 10-30 mL de agua residual en un matraz Winkler, se continuó llenando con agua de dilución y se midió el oxígeno disuelto y se colocó en una incubadora a 20 °C durante 5 días.

3.5. Metodología de análisis estadístico

3.5.1. Población y muestra

El presente trabajo de investigación tomó como población el Centro Experimental de Ayora como se había mencionado con antelación en la delimitación del proyecto.

El muestreo se realizó en un dique del sistema de alcantarillado del Centro de Experimentación de Ayora ubicado en el cantón Cayambe.

3.5.2. Variables

3.5.2.1. Variables dependientes

Las variables dependientes que se analizaron durante el desarrollo de investigación se mencionan a continuación:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- pH
- OD instrumental
- POR
- Turbidez
- Conductividad

3.5.2.2. Variables independientes

Las variables independientes que se analizaron durante el desarrollo de investigación se mencionan a continuación:

- Volumen de lodos activados
- Volumen de agua residual

3.5.3. Tasa de lodos activados

Es una sustancia floculante compuesta de microorganismos, materiales orgánicos muertos y materiales inorgánicos. El nombre de estos coloides adsorbidos y sustancias en suspensión es "activo". El resultado final del proceso de lodos activados es la conversión de materia orgánica en compuestos inorgánicos.

La determinación requiere conocimiento de flujo, DBO, sólidos suspendidos totales y volátiles, DQO, NTK, P, pH, alcalinidad y acidez, grasas y aceites. A continuación, se muestra un ejemplo de un reactor de lodos activados.

Tabla 8

Datos para ejemplo

Experiencia	DQO Afluente S_0 [mg/L]	DQO Efluente S [mg/L]	Tiempo de retención celular θ [d]	Tiempo de retención celular θ_c [d]	X SSLM [mg/L]
1	250	17	0,5	10	2279
2	237	22	0,5	8	1487
3	246	37	0,5	5	1067
4	237	49	0,5	3	846
5	250	77	0,5	2	479

Nota: Tomado del libro de Romero Rojas, 2004

Se procede a la elaboración de una tabla con los siguientes datos:

Tabla 9

Cálculos para ejemplo

$\frac{1}{\theta_c} [d^{-1}]$	$\frac{S_0 - S}{X\theta_c} [d^{-1}]$	$\frac{X\theta_c}{S_0 - S} [d]$	$\frac{1}{S} [mg/L]^{-1}$
1,00	0,204	4,891	0,059
0,125	0,289	3,460	0,045
0,200	0,392	2,551	0,027
0,333	0,444	2,252	0,020
0,500	0,722	1,385	0,013

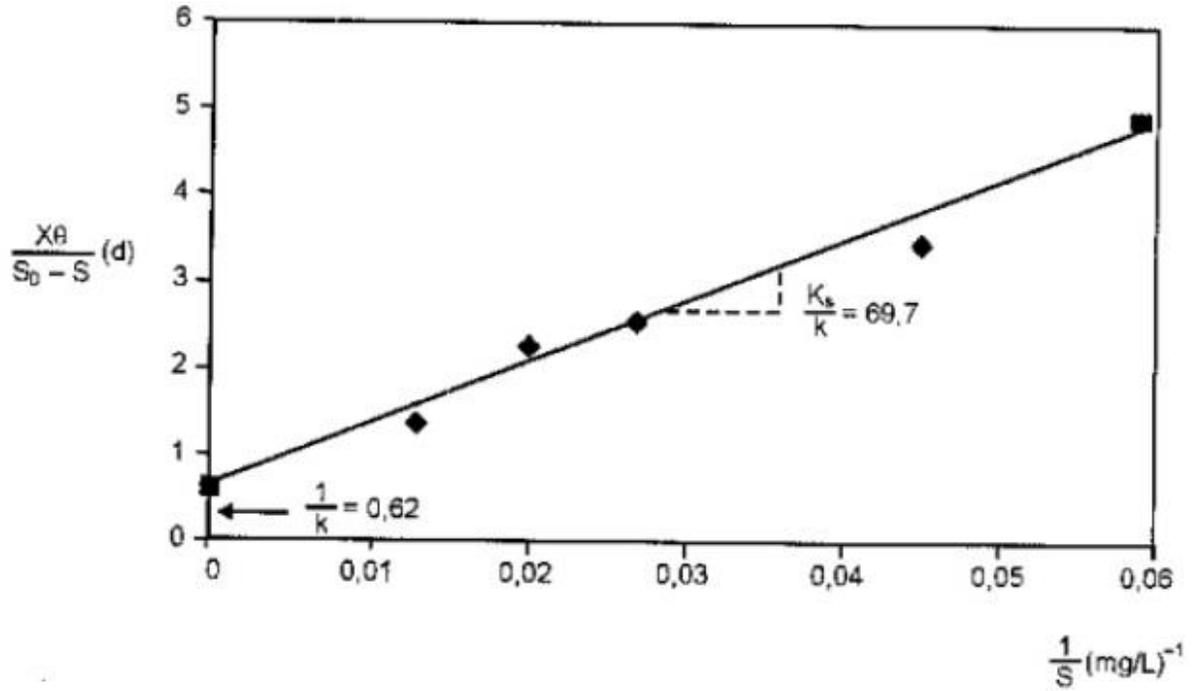
Nota: Tomado del Libro de Romero Rojas

Se elabora la grafica $\frac{X\theta}{S_0 - S}$ en la ordenada y $\frac{1}{S}$ en la abscisa, esto corresponde a:

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_S}{kS} + \frac{1}{k}$$

Figura 5

Grafico para la obtención de K y Ks

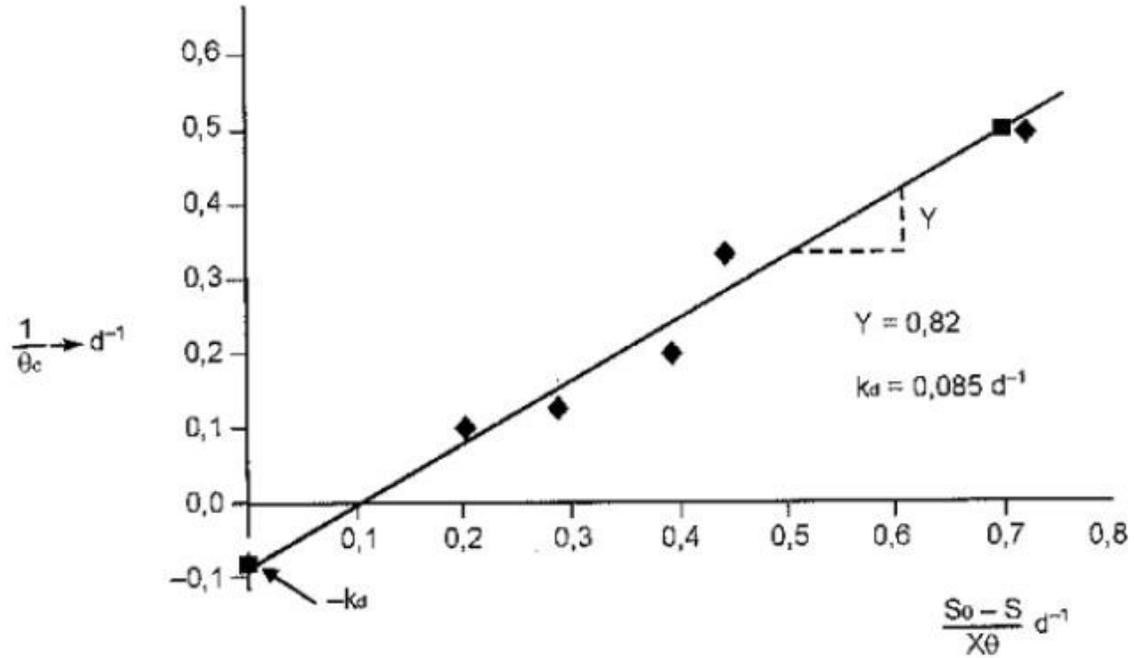


Nota: Tomado del libro Romero Rojas, 2004.

Se obtiene una grafica de $\frac{1}{\theta}$ vs $\frac{S_0 - S}{X\theta}$, y se logra una recta cuya pendiente es igual a Y y la ordenada en el origen es igual a K_d.

Figura 6

Gráfico para la obtención de K_d y Y .



Nota: Tomado del libro Romero Rojas, 2004.

Se determinó la tasa de producción de lodos activados con recirculación mediante la ecuación que se muestra a continuación:

$$P_x = \frac{Y * Q * (S_o - S_e)}{1 + K_d * \theta_c}$$

Donde:

P_x : Tasa de producción de lodos activados [g/día]

θ_c : Edad de los lodos [día]

S_o : Concentración del afluente [DQO mg/L]

S_e : Concentración del efluente [DQO mg/L]

K_d : Coeficiente de declinación endógena [día^{-1}]

Y : Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa [SSV mg/mg DQO]

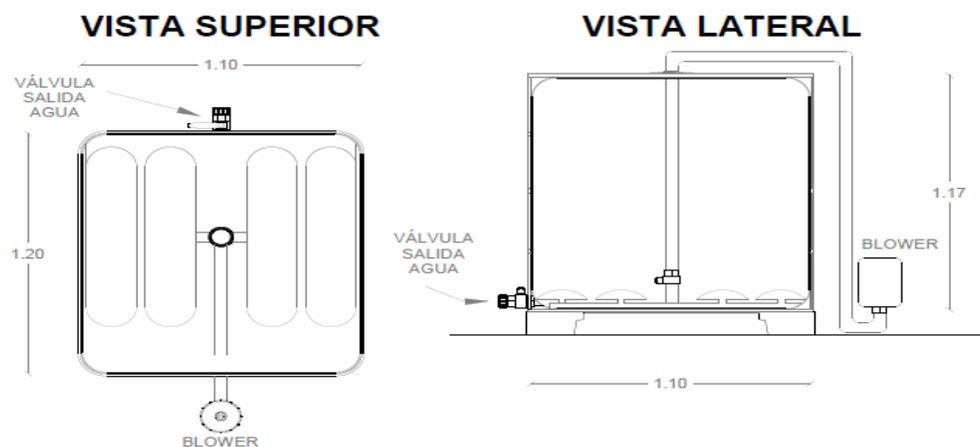
Q : Caudal de diseño [$\text{m}^3/\text{día}$]

3.5.4. Construcción de la Micro PTAR

Para la construcción de mi Micro PTAR en configuración SBR, se procedió a retirar la parte superior del tanque IBC para poder trabajar en la instalación de los 4 aireadores en la parte inferior del tanque que van conectados al blower por medio de tuberías, la electroválvula de descarga se instaló a una altura de 0.3 m desde la parte inferior con la finalidad de evitar la salida de los lodos al momento de descargar el agua tratada, la manguera de llenado fue instalada en la parte superior del tanque misma que es abastecida por la bomba sumergible que capta las aguas residuales.

Figura 7

Planos Micro PTAR



Nota: Vista Superior y Vista Lateral de la Micro PTAR. Elaborado por Los Autores.

3.5.5. Funcionamiento de la Micro PTAR

Se procedió a colocar un volumen determinado de agua residual para determinar su pH garantizando que se mantenga neutro, se añadió una cantidad de lodos activados y se prendió la aireación de la Micro PTAR.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Los resultados que se van a presentar a continuación en las diferentes tablas corresponden a los análisis de las muestras medidos durante las pruebas de laboratorio para la obtención de sus valores correspondientes:

4.1.1. Diseño experimental

Figura 8

Análisis de la Varianza

```
Análisis de la varianza
Variable N  R²  R² Aj  CV
DQO      9  1,00  sd  0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)
 F.V.      SC      gl      CM      F      p-valor
Modelo  1141846,00  8  142730,75  sd      sd
OPTIMO  1141846,00  8  142730,75  sd      sd
Error      0,00  0      0,00
Total  1141846,00  8
```

Nota Elaborado por Los Autores

4.1.2. Resultados de Análisis de Calidad de Agua

4.1.2.1. Concentraciones iniciales del agua residual

Tabla 10

Resultados de Concentraciones iniciales del agua residual

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
DQO	2360	[mg/L]
DBO ₅	1780	[mg/L]

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
pH	5,31	-
Sólidos Sedimentados	0,1 – 0,6	[mL/L]
Conductividad	5	[ms/cm]
POR	48	[mV]
Turbidez	793	[NTU]

Nota: Elaborado por: Los Autores

En cuanto al valor de pH obtenido en el agua residual es bajo para realizar la prueba de lodos activados, por lo que se debe tratar hasta la obtención de un valor de 7.

4.1.2.2. Parámetros básicos

Tabla 11

Resultados de Parámetros básicos

Día	pH	OD instrumental	POR	Turbidez	Cond.
0	7,02	0,19	36	723	10
1	6,70	0,38	23	694	10
2	7,40	0,10	9,25	442	10
3	7,11	0,22	8,53	324	10
4	7,30	0,87	8,40	150	10

Nota: Elaborado por: Los Autores

4.1.2.3. Sólidos Sedimentados

Tabla 12

Resultados de Sólidos Sedimentales

Día	Parámetro	Valor	Unidad
0	Sólidos Sedimentados	175	[mL/L]
1	Sólidos Sedimentados	360	[mL/L]

Día	Parámetro	Valor	Unidad
2	Solidos Sedimentados	590	[mL/L]
3	Solidos Sedimentados	670	[mL/L]
4	Solidos Sedimentados	780	[mL/L]

Nota: Elaborado por: Los Autores

4.1.2.4. Demanda Química de Oxígeno

Tabla 13

Resultados de Demanda Química de Oxígeno

Día	Parámetro	Valor	Unidad
0	DQO	1703	[mg/L]
1	DQO	1260	[mg/L]
2	DQO	890	[mg/L]
3	DQO	490	[mg/L]
4	DQO	310	[mg/L]

Nota: Elaborado por: Los Autores

4.1.3. Resultados de análisis estadísticos

Se realizó en referencia al análisis estadístico del método de Henry según Romero Rojas, con los datos obtenidos de DQO y Solidos Sedimentables, implementando los métodos mencionados, garantizando un 90% de funcionamiento de la Micro PTAR.

Las gráficas elaboradas permiten determinar la probabilidad con la que un valor se ha excedido o no, así mismo como el valor de un parámetro para una determinada probabilidad.

Tabla 14

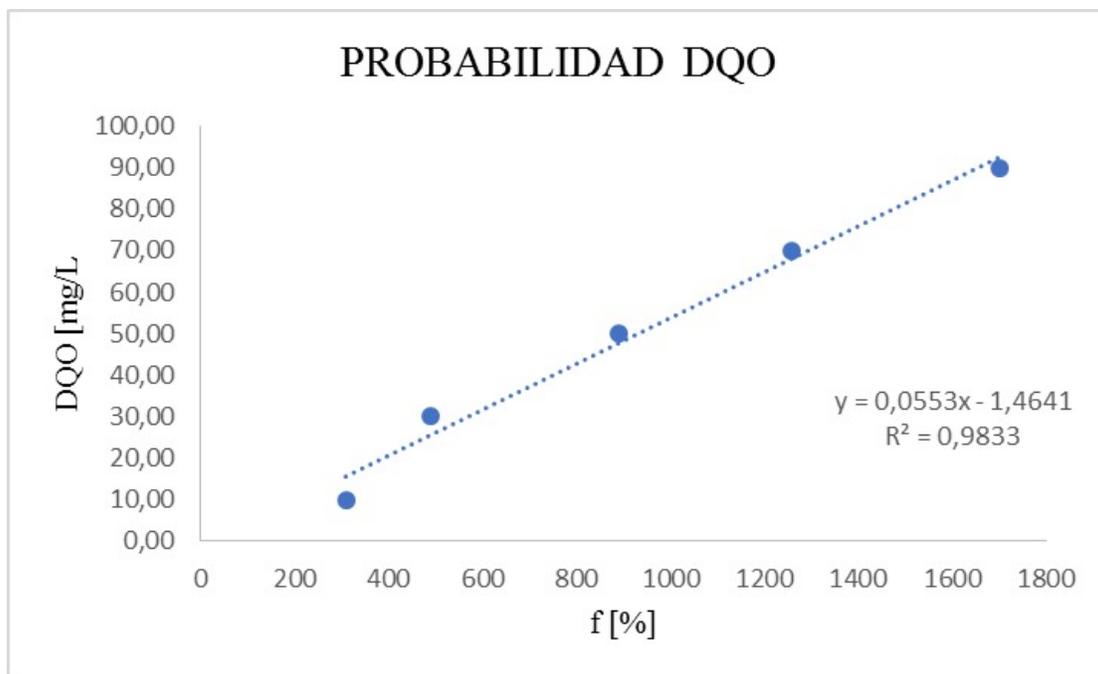
Análisis Estadístico DQO

M	DQO [mg/L]	Frecuencia
1	310	10
2	490	30
3	890	50
4	1260	70
5	1703	90

Nota: Elaborado por: Los Autores

Figura 9

Gráfica de Probabilidad DQO



Nota: Elaborado por: Los Autores

Tabla 15

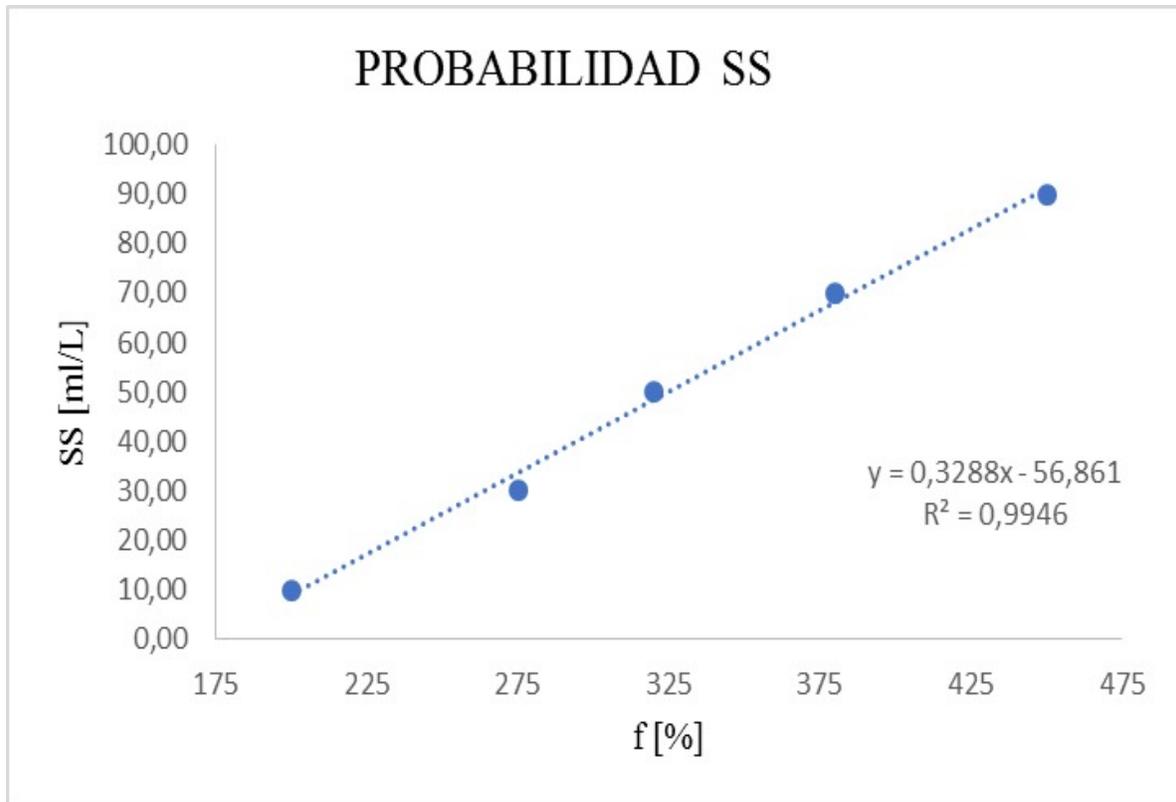
Análisis estadístico de Sólidos Sedimentables

M	SS [mL/L]	Frecuencia
1	200	10,00
2	275	30,00
3	320	50,00
4	380	70,00
5	450	90,00

Nota: Elaborado por: Los Autores

Figura 10

Gráfica de Probabilidad de Sólidos Sedimentables



Nota: Elaborado por: Los Autores

4.1.4. Determinación de Tasa de lodos activados

Se determinó la tasa de lodos activados utilizando la metodología de Romero Rojas, 2004, p.490 – 499 “Diseño de un Proceso de Lodos Activados”.

Los datos obtenidos se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 16

Tasa de lodos activados

Experiencia	DQO Afluente S_0 [mg/L]	DQO Efluente S [mg/L]	Tiempo de retención celular θ [d]	Tiempo de retención celular θ_c [d]	X SSLM [mg/L]
1	2360	1703	5	1	6
2	2360	1260	5	2	13
3	2360	890	5	3	29
4	2360	490	5	4	48
5	2360	310	5	5	67

Nota: Elaborado por: Los Autores

Tabla 17

Determinación de Tasa de Lodos Activados

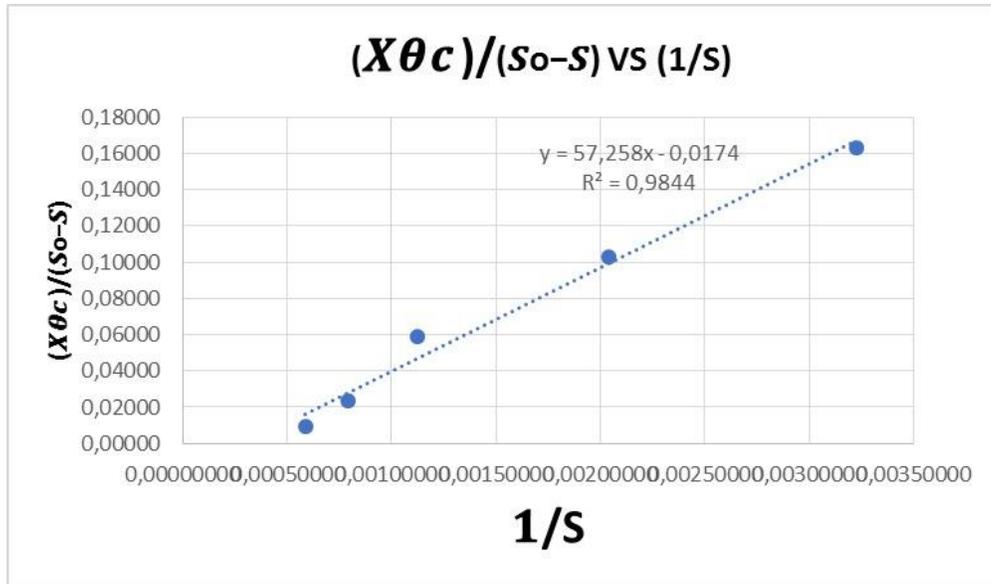
$\frac{1}{\theta_c}$ [d^{-1}]	$\frac{S_0 - S}{X\theta_c}$ [d^{-1}]	$\frac{X\theta_c}{S_0 - S}$ [d]	$\frac{1}{S}$ [mg/L] $^{-1}$
1,00	109,50	0,00913	0,00058720
0,50	42,31	0,02364	0,00079365
0,33	16,90	0,05918	0,00112360
0,25	9,74	0,10267	0,00204082
0,20	6,12	0,16341	0,00322581

Nota: Elaborado por: Los Autores

Con los valores obtenidos $\frac{(X\theta c)}{(S_0-S)} \text{ vs } \frac{1}{S}$ de la tasa de lodos activados, se procedió a la elaboración que muestra a continuación:

Figura 11

Gráfica de $(X\theta c)/(S_0-S)$ VS $1/S$



Nota: Elaborado por: Los Autores

Se realizó una regresión lineal de la figura 11 para obtener los valores detallados en la siguiente tabla.

Tabla 18

Regresión lineal.

$1/k$	0,0174
Ks/K	57,258
Ks	3290,06

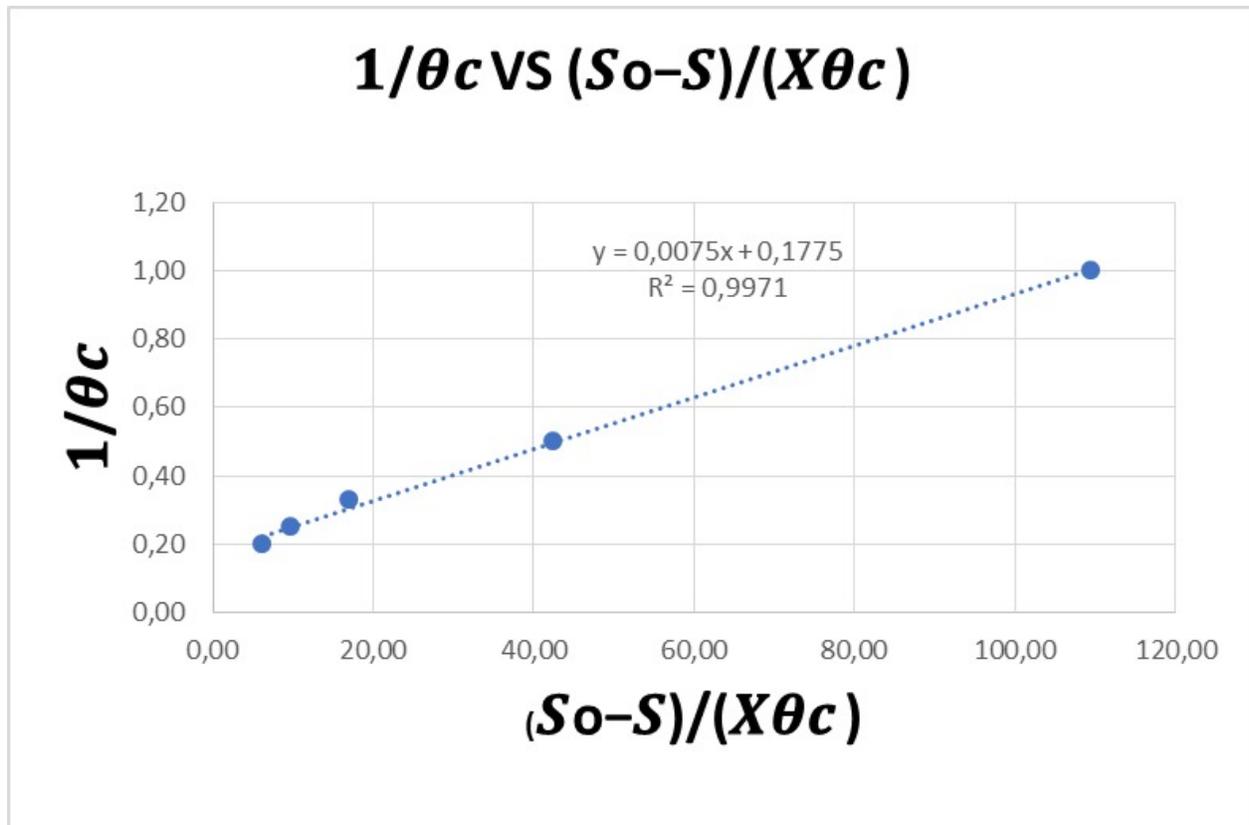
$$K \quad 57,47$$

Nota: Elaborado por: Los Autores

Después de realizar la regresión lineal, se genera una nueva grafica con los valores de $\frac{1}{\theta}$ vs $\frac{(S_0-S)}{(X\theta c)}$ alcanzados en la tasa de lodos activados.

Figura 12

Gráfica de $1/\theta c$ VS $(S_0-S)/(X\theta)$



Nota: Elaborado por: Los Autores

Al obtener la Figura 12 se determinan los valores que se detallan a continuación

Tabla 19*Valores de Coeficiente*

Kd	0,17
Y	0.7
μm	3.086

*Nota Elaborado por Los Autores***4.1.5. Costo referencial de construcción de la micro PTAR**

A continuación, se presenta el costo referencial de cada uno de los materiales utilizados en la construcción de la micro PTAR.

Tabla 20*Costo referencial de construcción de la micro PTAR*

Materiales	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
Tanque IBC de 1 m3	1	120,00	120,00
Blower de ½ HP de potencia	1	210,99	210,99
Aireadores de microburbuja	4	60,00	240,00
Tubos de 1" PVC	3 m.	1,20	3,60
Tubo de 2" Galvanizado	3 m.	9,80	29,40
TE PVC 50 mm.	1	1,39	1,39
Codo Galvanizado (1" x 90°)	4	7,92	31,68
Filtro de aire para blower	1	33,25	33,25
Bomba de lodos ½ HP sumergible	1	668,15	668,15
Electroválvula	1	263,75	263,75
Gabinete 60x40x20	1	60,00	60,00
Breaker bifásico (20 AMP)	1	11,86	11,86
Breaker monofásico (20AMP)	1	45,00	45,00

Materiales	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
Porta fusible de cerámica	2	36,00	72,00
Logo 230 R SIEMENS	1	169,00	169,00
Guardamotor (10 AMP)	2	38,56	77,12
Switch de nivel	1	5,00	5,00
Selector 3 posiciones	1	4,49	4,49
Luz piloto 220V verde	3	1,99	5,97
Luz piloto 220V rojo	3	1,99	5,97
Fusible cerámico (2 AMP)	2	4,50	4,50
Cable AWG N°16	20m.	1,00	20,00
Cable sucre 2x16	5m.	1,54	7,70
Cable sucre 3x12	10m.	2,25	22,50
Riel Din	1m.	9,30	9,30
Canaleta 1”	1m.	4,99	4,99
Total			2127,61

Nota: Elaborado por: Los Autores

4.2. Discusión

Los resultados obtenidos en el laboratorio siguiendo la metodología de Romero Rojas, (2004), Metcalf & Eddy (1998), y conforme a lo solicitado para el diseño de la Micro PTAR constan de DQO, DBO5, sólidos sedimentados, pH, POR, turbidez y conductividad.

De acuerdo con Espinoza Peralta (2017) el sistema de lodos activados es una aglomeración de microorganismos que tienen como función mantener y estabilizar la materia orgánica aeróbicamente por medio de aireadores; la materia orgánica es removida del agua residual obteniendo una remoción entre el 85% a 95%. El agua residual tratada en la Micro PTAR mediante lodos activados se obtuvo que la DQO inicial fue de 2360 [mg/L], reduciendo a 310[mg/L], para

la obtención de los resultados se añadió 75 [L] de lodos activados en 700 [L] de agua residual logrando una remoción del 90 % de materia orgánica, indicando que el método de descontaminación es factible cumpliendo los estándares de la Normativa Ambiental Vigente.

Los resultados obtenidos y el producto final de la investigación cumplen con los requerimientos de la depuración de aguas residuales del Centro de Experimentación de Ayora, así como Arrieta & Chica (2019), Quinatoa De la Cruz (2022) y Arciniega & Salazar (2021), quienes proponen similares alternativas en diferentes cantones y comunidades, basados en una metodología similar al tratamiento de aguas residuales de Metcalf (1995); Romero Rojas (2004) autores que han establecido una estructura bibliográfica solida a nivel de Latinoamérica.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se construyó la Micro Planta de Tratamiento de Aguas residuales con tecnología de lodos activados en configuración (SBR) sistema biológico secundario que permitirá el tratamiento de las aguas residuales del Centro Experimentación de Ayora. Los resultados de cada uno de los parámetros de calidad de agua obtenidos en el laboratorio permitieron la identificación de la eficiencia de remoción de contaminantes en el agua residual, mismos que cumplen con los requerimientos de la actual Normativa Ambiental Vigente, cumpliendo con las responsabilidades, compromisos y ética ambiental por parte del Centro Experimental.

Los resultados de análisis del agua residual permitieron conocer la calidad de esta en donde se obtuvo una DQO inicial de 2360 [mg/L], posterior al tratamiento de estas aguas con lodos activados que permiten la remoción de materia orgánica presente , se obtuvo una DQO final de 310 [mg/L], asumiendo la factibilidad del tratamiento aplicado debido a que la DQO final se encuentra bajo el límite máximo permisible en el Acuerdo Ministerial 097, Libro VI, Anexo 1 que establece un valor máximo de la DQO de 500 [mg/L].

El diseño de la micro planta de tratamiento de aguas residuales tiene un costo relativamente bajo de 2127,61[USD], para su tiempo de durabilidad que es estima a 12 años, de esta manera impulsando e incentivando a la población aledaña al centro experimental san José de Ayora, a implementar este sistema de descontaminación de aguas residual en sus microempresas ganadera y agrícolas, de esta forma se impulsa a la tomar conciencia y responsabilidad con el medio ambiente.

5.2. Recomendaciones

Antes del tratamiento de las aguas residuales en la Micro Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es necesario mantener un control de pH en las aguas a ser tratadas, para evitar su acidez o basicidad tratando de conseguir una media de pH lo más cercana a 7 (pH neutro).

Es importante contar con un mantenimiento y calibración de los equipos de laboratorio para evitar la obtención de datos atípicos, los cuales pueden generar una alteración y variación en la obtención de los resultados esperados.

Es recomendable tener un lavado previo de los recipientes que se van a utilizar en la toma de muestras, esto ayuda a la eliminación de impurezas que pueden alterar los valores, de igual forma es importante tomar en cuenta las condiciones climáticas y meteorológicas antes de realizar el muestro.

Se recomienda el mantenimiento continuo de la Micro Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con la finalidad de prolongar su utilidad, de la misma manera el mantenimiento permitirá la eficacia de descontaminación de las aguas tratadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

Angus M. (n.d.). *The World Economy*.

Arrieta R., & Chica K. (2019). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVOS, PARA LA PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE AYORA, CAYAMBE*.

Beeken, J. (2008). Constitución de la Republica del Ecuador 2008. *Toegepaste Taalwetenschap in Artikelen*, 40, 169–175. <https://doi.org/10.1075/ttwia.40.16bee>

Bermeo, M., Bonilla, S., & Coloma, T. (2017). Neutralización: aplicado a aguas residuales. In *Compas*.

Bose, S. K., & Chakraborty, U. C. (1957). Resolutions Adopted at the General Session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st of December, 1956. *The Indian Journal of Pediatrics*, 24(1), 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>

Cachipundo Charles, Castillo Paulina, Cucurella Leonela, Sánchez Renato, Negrete José, Ortiz Pablo, Paucar Ángel, Uribe Saúl, & Villacís Miguel. (n.d.). *Agua para la gente*.

Características biológicas de las especies Dalbergia. (n.d.).

Ceballos, C. (2011). Precipitación Química. *Centro De Investigación Y Desarrollo Tecnológico Del Agua*, 1(1), 1–12.

Diario El Correo. (2021). Plantas de aguas residuales son inadecuadas. *Diario El Correo*, 1–4. *Fundamentos del tratamiento de agua residual* (pp. 23–52). (n.d.).

Fúquene, D. M., Yate-Segura, A., Alejandro, D., Carlos, P., Duque, M., Juan, C., Chiriví, S., Christian, S., Valderrama, F., Víctor, L., & Forero, F. (2018). Tratamiento de aguas residuales. In *Servicios ecosistémicos*.

- Howe, E. S. (1965). Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 4(6), 498–509. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(65\)80049-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(65)80049-4)
- IDEAM. (2007). Sistema de Información del Medio Ambiente. *Dane*, 3.
- La estación de investigación fortalecerá los sistemas de producción agrícola.* (2021). Universidad Politécnica Salesiana. <https://www.ups.edu.ec/noticias?articleId=18304729>
- Lozano Rivas, W. A. (2016). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas*. December 2012, 29.
- Lozano, W. (2014). *Planta de tratamiento para aguas residuales*. III, 35.
- MAE. (2015). REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Decreto Ejecutivo 3516. *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Decreto Ejecutivo 3516*, 0, 18–34.
- Maldonado, V. (1915). Filtración. *Notes and Queries*, s11-XI(275), 267. <https://doi.org/10.1093/nq/s11-XI.275.267-a>
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales* (McGraw-Hil).
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18.
- Planta Territorial de la Parroquia San José de Ayora.* (2015).
- Pretratamiento y tratamientos primarios. (2016). *CENTA*.
- Ramírez, E.; Mijaylova, P.; Cruz, J.; Evangelista, P. y Rodríguez, M. (n.d.). *Aporte De Diferentes Mecanismos En La Remoción de Sustancias Orgánicas Tóxicas Presentes en Aguas Residuales Industriales*. 1, 1–5.

- Rojas, R. (2002). *Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_R.pdf* (Escuela C).
- Sánchez R. (2021). *Metabolismo social en el uso del agua para la producción florícola*.
- Sánchez R., & Garcia Katty. (2018). Wastewater treatment of industrial loads with advanced oxidation in conventional systems. *Granja*, 27(1), 103–111.
<https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>
- Taipicaña, D. (2019). *El Agua Residual como Recurso De Nutrientes*. 1–41.
- Telwesa. (2021). *Tratamiento terciario de aguas residuales*. <https://telwesa.com/tratamiento-terciario-de-aguas-residuales/>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA. (2017). *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*, 3399, 1–578.
- Valdez, E. & Vázquez, A. (2010). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*.

7. ANEXOS

Anexo 1

Reconocimiento del área de estudio



Anexo 2

Construcción de la Micro PTAR



Anexo 3

Muestreo de agua Residual



Anexo 4

Funcionamiento de la Micro PTAR



Anexo 5

Medición de Sólidos Sedimentables



Anexo 6

Medición de pH



Anexo 7

Medición de Conductividad



Anexo 8
Turbidez



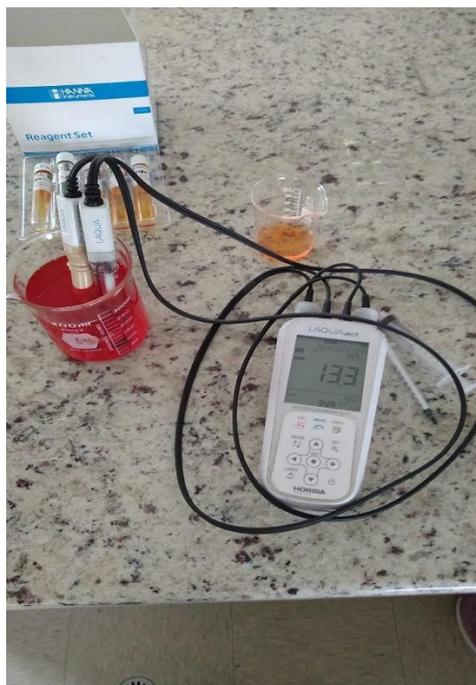
Anexo 9

Medición de Oxígeno Disuelto



Anexo 10

Medición de POR



Anexo 11

Medición de DQO



Anexo 12

Vista superior y lateral de la Micro PTAR

