



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGÍSTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: “ANÁLISIS DE VARIABLES Y OPTIMIZACIÓN DE
PARÁMETROS OPERATIVOS A ESCALA PILOTO PARA EL
ARRANQUE Y ESTABILIZACIÓN DEL BIORREACTOR DE LA PTAR
SISTEMA LLOA-SAN JOSÉ”**

AUTOR: PÉREZ VASCO, MÓNICA GABRIELA

DIRECTORA: MSc. MURGUEITIO HERRERA, ÉRIKA SOFÍA PhD

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Análisis de variables y optimización de parámetros operativos a escala piloto para el arranque y estabilización del biorreactor de la PTAR Sistema Lloa-San José”, fue realizado por la Srta. Ing. Mónica Gabriela Pérez Vasco, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, marzo de 2018

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Erika Sofia Murgueitio Herrera' con algunas abreviaturas y el número '114' y '13/1' a la derecha.

MSc. Érika Sofía Murgueitio Herrera PhD

DIRECTORA DE TESIS

CC: 1708947559



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pérez Vasco, Mónica Gabriela**, con cédula de ciudadanía N° 1723720817 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis de variables y optimización de parámetros operativos a escala piloto para el arranque y estabilización del biorreactor de la PTAR Sistema Lloa-San José”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, marzo de 2018

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Mónica Gabriela Pérez Vasco'.

Ing. Mónica Gabriela Pérez Vasco

CC: 1723720817



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Pérez Vasco, Mónica Gabriela**, con cédula de ciudadanía N° 1723720817, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar el trabajo de titulación: **“Análisis de variables y optimización de parámetros operativos a escala piloto para el arranque y estabilización del biorreactor de la PTAR Sistema Lloa-San José”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, marzo de 2018

Ing. Mónica Gabriela Pérez Vasco

C.C 1723720817

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi tesis a Dios y a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, guiándome siempre por el camino correcto, dándome fuerza y apoyo incondicional para seguir adelante sin desvanecer en cada uno de los retos presentados, enseñándome a luchar en las adversidades que se presentan en la vida, recalcándome que cada objetivo se logra con esfuerzo y dedicación. ¡Gracias por ser los mejores padres, amigos y confidentes!

A mis hermanos Diego y Sebastián, por ser ejemplo de lucha, constancia y superación, gracias por sus valiosos consejos, y por estar siempre a mi lado en el momento que más los necesito.

A mis sobrinos Dome y Mathy, quienes han llenado mi vida de alegría y amor.

Y, a todos quienes me ayudaron a conseguir este nuevo triunfo académico.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme acompañado en este largo camino lleno experiencias y aprendizajes, siendo mi fortaleza en momentos de debilidad.

A mis padres, por el apoyo, comprensión y amor, siendo el mejor refugio que poseo en los momentos de alegría y tristeza.

A mí querida Institución Universitaria ESPE, por ofrecerme los conocimientos necesarios para afrontar con éxito mi Tesis.

A la Doctora Erika Murgueitio, Directora de Tesis por su guía y apoyo en el desarrollo del proyecto.

A la Ing. Margarita Haro, Coordinadora de Maestría, por toda la ayuda brindada.

A la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), por la ayuda brindada en el proceso de investigación, en especial al Doctor Carlos Espinosa, Gerente de Operaciones, al MSc. Juan Esteban Espinoza, Jefe del Departamento de Aguas Residuales, quienes fueron pilares fundamentales para la elaboración de mi tesis, a mis compañeros del DTAR por su apoyo y amistad.

A mis profesores de la Maestría por transmitir sus conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xii
ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.3 PREGUNTA CIENTÍFICA	9
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos	9
1.5 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.6 HIPÓTESIS	11
1.7 JUSTIFICACIÓN	11
CAPÍTULO II	14

MARCO TEÓRICO	14
2.1 AGUAS RESIDUALES.....	14
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	18
2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	22
2.3.1 pH	22
2.3.2 Oxígeno Disuelto (OD)	23
2.3.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	24
2.3.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	24
2.3.5 Carbono Orgánico Total (COT)	25
2.3.6 Gases	26
2.4 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	26
2.4.1 Bacterias	27
2.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	28
2.5.1 Tipos de tratamientos de aguas residuales	30
2.6 MARCO LEGAL.....	42
CAPÍTULO III	43
METODOLOGÍA	43
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	43
3.1.1 Ubicación geográfica.....	43
3.1.2 Clima	45
3.1.3 Descripción del medio físico	45
3.1.4 Aspectos demográficos.....	45
3.1.5 Actividad económica	46
3.1.6 Transporte.....	47

3.1.7 Abastecimiento de agua potable.....	47
3.1.8 Sistemas de alcantarillado	48
3.1.9 Características de la zona del proyecto	48
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	50
3.2.1 Métodos Teóricos empleados en la investigación.....	50
3.3 ANÁLISIS METODOLÓGICO DE LAS CUATRO ETAPAS	52
3.3.1 ETAPA I: MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN	52
3.3.2 ETAPA II DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO.....	67
3.3.3 ETAPA III EXPERIMENTAL	70
CAPÍTULO IV	81
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
4.1 ETAPA I. MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	81
4.1.1 Caracterización del afluente para diseño de PTAR sistema Lloa-San José	81
4.2 ETAPA II DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO	94
4.2.1 Cálculo de parámetros de diseño del Biorreactor y Clarificador de la Planta Piloto	94
4.2.2 Evaluación de metodología para instalación de planta piloto	96
4.2.3 Cálculo de parámetros para la operación de la Planta Piloto para los tres escenarios.	111
4.3 ETAPA III EXPERIMENTAL	123
4.3.1 Análisis experimental del primer, segundo y tercer escenario.....	123
CAPÍTULO V	133
ETAPA IV PROPUESTA	133
5.1 DESCRIPCIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SISTEMA LLOA-SAN JOSÉ	133
5.2 Propuesta de Diseño de planta sistema Lloa-San José.....	134

5.2.1 Criterios de operación para el biorreactor.....	135
5.2.2 Gestión ambiental enfocada a la producción más limpia.....	137
5.3 Seguridad e higiene de los operadores.....	140
5.3.1 Seguridad.....	140
5.3.2 Equipos, medios y materiales de protección personal.....	141
5.3.3 Capacitación del personal.....	142
5.3.4 Monitoreo de la salud del personal.....	142
5.3.5 Higiene de los operarios y personal en general.....	143
CAPÍTULO VI.....	144
CONCLUSIONES.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	148
ANEXOS.....	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación de aguas residuales</i>	17
Tabla 2 <i>Características físicas del agua</i>	20
Tabla 3 <i>Tipos de sólidos</i>	21
Tabla 4 <i>Dimensiones acordes a la forma de las bacterias en aguas residuales</i>	27
Tabla 5 <i>Agentes Infecciosos presentes en las aguas residuales</i>	28
Tabla 6 <i>Variaciones en tratamiento lodos activados</i>	37
Tabla 7 <i>Parámetros de arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales</i>	41
Tabla 8 <i>Aspectos demográficos</i>	46
Tabla 9 <i>Proyección de la población Lloa San – José</i>	46
Tabla 10 <i>Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce</i>	66
Tabla 11 <i>Fórmulas empleadas para el cálculo de parámetros de diseño PTAR Piloto</i>	68
Tabla 12 <i>Fórmulas empleadas para el cálculo de operación de la PTAR Piloto</i>	69
Tabla 13 <i>Consecuencia del daño</i>	76
Tabla 14 <i>Probabilidad de ocurrencia del daño</i>	77
Tabla 15 <i>Evaluación del riesgo según INSHT</i>	78
Tabla 16 <i>Valoración para cada riesgo según INSHT</i>	78
Tabla 17 <i>Variación de escenarios</i>	80
Tabla 18 <i>Primera caracterización afluente-efluente Sistema Lloa-San José</i>	82
Tabla 19 <i>Parámetros de diseño del Biorreactor y Clarificador planta piloto</i>	95
Tabla 20 <i>Metodología de evaluación de riesgo</i>	96
Tabla 21 <i>Cálculos de factor y caudal de recirculación / purga</i>	119

Tabla 22 <i>Caracterización final del efluente</i>	131
Tabla 23 <i>Diseño de Unidades Operativas</i>	134
Tabla 24 <i>Parámetros operación PTAR Sistema Lloa-San José</i>	136
Tabla 25 <i>Acciones del programa de producción más limpia</i>	138

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Tratamiento biológico de tipo “Lodos Activados”	36
<i>Figura 2</i> Proceso de Aireación Extendida.....	38
<i>Figura 3</i> Proceso de Aireación Escalonada.....	38
<i>Figura 4</i> Proceso de Estabilización por contacto	39
<i>Figura 5</i> Proceso por Zanja de Oxidación.....	39
<i>Figura 6</i> Marco Jurídico ecuatoriano para aguas, descargas líquidas	42
<i>Figura 7</i> Ubicación Parroquia Lloa	44
<i>Figura 8</i> Ubicación del Proyecto.....	49
<i>Figura 9</i> Medición de pH en biorreactor	56
<i>Figura 10</i> Turbidímetro	58
<i>Figura 11</i> Toma de muestra para sólidos sedimentables.....	60
<i>Figura 12</i> Determinación de DQO en afluente y efluente.....	62
<i>Figura 13</i> Etiqueta de frascos	63
<i>Figura 14</i> Instalación de Planta Piloto en el exterior de las instalaciones	70
<i>Figura 15</i> Instalación de Planta Piloto junto al Sedimentador	72
<i>Figura 16</i> Instalación de Planta Piloto en dentro del Área de Laboratorios.....	74
<i>Figura 17</i> Clarificador Planta Piloto	74
<i>Figura 18</i> Comportamiento del pH en el arranque.....	84
<i>Figura 19</i> Comportamiento de oxígeno disuelto en el arranque	86
<i>Figura 20</i> Comportamiento de la temperatura en el arranque.....	88
<i>Figura 21</i> Comportamiento de la turbidez en el arranque del biorreactor	91

Figura 22 Comportamiento de los Solidos Sedimentables (SSed) el arranque.....	93
Figura 23 Condiciones Primer Escenario.....	101
Figura 24 Arranque del Biorreactor formación de espuma.....	101
Figura 25 Condiciones segundo escenario.....	106
Figura 26 Segundo Escenario de Operación Planta Piloto.....	106
Figura 27 Agitador para biorreactor.....	109
Figura 28 Instalación de flotador en balde para recirculación.....	110
Figura 29 Tiempo de Retención Celular (TRC).....	112
Figura 30 Tiempo de Retención Hidráulica.....	114
Figura 31 Relación Alimento/ Microorganismo (Kg DBO ₅ / Kg SSV).....	116
Figura 32 Índice Volumétrico de lodos.....	118
Figura 33 Eficiencia de remoción de DBO.....	120
Figura 34 Eficiencia de remoción de DQO.....	122
Figura 35 Relación DBO (mg/l) / DQO (mg/l) en el Afluente.....	124
Figura 36 Relación DQO (mg/l) / DB O (mg/l) en el Efluente.....	125
Figura 37 Relación Sólidos Totales (SST)/ Sólidos Volátiles (SSV) en el Biorreactor.....	127
Figura 38 Relación (IVL) / Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) en el Biorreactor.....	129
Figura 39 Alternativa Óptima de Tratamiento de Aguas Residuales Lloa-San José.....	133

ABREVIATURAS

DTAR:	Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales
PTAR:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SSV:	Sólidos Suspendidos Volátiles
SSVb:	Sólidos Suspendidos Volátiles biorreactor
SSVc:	Sólidos Suspendidos Volátiles clarificador
SST:	Sólidos Suspendidos Totales
SSed:	Sólidos Sedimentables
ST:	Sólidos Totales
OD:	Oxígeno Disuelto
DBO:	Demanda Biológica de Oxígeno
DBOa:	Demanda Biológica de Oxígeno afluente
DBOe:	Demanda Biológica de Oxígeno efluente
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
IVL:	Índice Volumétrico de Lodos
TRH:	Tiempo de Retención Hidráulico
TRC:	Tiempo de Retención Celular
F/M:	Relación Alimento/Comida
Qr:	Caudal de Recirculación
Qp:	Caudal de Purga
Qf:	Caudal inicial
SSLM:	Sólidos Suspendidos en el licor de la mezcla

RESUMEN

Las aguas residuales se generan como resultado ineludible de las actividades humanas que día a día se desarrollan en la vida cotidiana, dichas acciones alteran las características de las aguas de partida, contaminándolas e inutilizando su uso en las diferentes actividades. Esta investigación de enfoque cuali-cuantitativo de tipo descriptivo experimental se realizó en el periodo de agosto 2017 – enero 2018, con el objetivo de diseñar y operar una planta piloto para determinar los parámetros óptimos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la parroquia Lloa, la misma que, luego de su construcción, será operada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de la EPMAPS. El proyecto se realizó en cuatro etapas, en las cuales se pudo evidenciar que el afluente presenta un alto contenido de Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Grasas y Aceites, las mismas que fueron removidos en la planta de tratamiento en estudio, hasta llegar al cumplimiento de la normativa. Los parámetros de operación obtenidos para la PTAR Lloa están de acuerdo a lo que menciona la literatura para una planta de lodos activados con aireación extendida, pudiéndose observar en la última etapa de estudio, donde se obtuvo una cantidad de Sólidos Suspendedos Volátiles entre 3000 y 6000mg/l, una estabilización en el comportamiento de los mismos, lo cual es un buen indicador de que la planta puede llegar a estabilizarse completamente en un periodo de 3 a 6 meses.

PALABRAS CLAVE:

- AGUA RESIDUAL
- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
- LODOS ACTIVADOS
- PLANTA PILOTO

ABSTRACT

Wastewater are generated as an unavoidable result of human activities that day by day develop in daily life. These actions alter the characteristics of the waters of departure, contaminating them and making them unusable in the different activities. This investigation of qualitative-quantitative approach of descriptive experimental type was carried out in the period of August 2017- January 2018, with the objective of designing and operating a pilot plant to determine the optimum parameters of operation of the wastewater treatment plant in the parish Lloa. After its construction, it will be operated by the Department of Wastewater Treatment of the EPMAPS. The Project was carried out in four stages, in which it was able to show that the tributary has a high content of Biological Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Fats and Oils, which were removed in the treatment plant under study, until the compliance with the regulations. The operating parameters obtained for Lloa PTAR are according to the ones mentioned in the literature for an activated sludge plant with extended aeration, being able to observe in the last stage of the study, where an amount of Volatile Suspended Solids was obtained between 3000 and 6000 mg /l, a stabilization in its behavior, which is a good indicator that the plant can reach full stabilization in a period of 3 to 6 months.

KEY WORDS:

- WASTEWATER
- WASTEWATER TREATMENT
- ACTIVATED SLUDGE
- PILOT PLANT

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales pueden ser un instrumento para el avance o retroceso en desarrollo sostenible de una población, ya que si no se tratan de una manera adecuada antes de incorporarlos nuevamente al cuerpo receptor pueden ocasionar graves problemas de salud, poniendo en riesgo la vida de millones de personas, afectando también a la biodiversidad, por lo que se debe poner mayor énfasis en garantizar la disponibilidad de agua y gestión sostenible y saneamiento, erradicando las vertidos de productos químicos, materiales peligrosos, incrementando el tratamiento de aguas residuales para de ésta manera cumplir con el objetivo 6 de Desarrollo Sostenible, agenda 2030 (ONU, 2017).

Señala (Organización Mundial de la Salud, 2016), que la descarga directa de aguas residuales a cuerpos receptores, limita el uso del recurso para las diferentes actividades productivas como riego, pesca y agricultura; por la falta de coordinación entre usuarios y autoridades, aunando una deficiencia en el tratamiento de aguas de descarga; conduciendo a la sobreexplotación del recurso, contaminando los ecosistemas, degradando los suelos y produciendo un impacto negativo sobre la seguridad alimentaria.

Según (Padilla, 2012), las aguas residuales se generan como resultado ineludible de las actividades humanas que día a día se desarrollan en la vida cotidiana, dichas acciones alteran las características de las aguas de partida, contaminándolas e inutilizando su uso en las diferentes

actividades. El tratamiento y disposición dependen principalmente de las características que poseen; además de sus efectos transcendentales sobre la fuente receptora.

Existen varios tipos de aguas residuales como las domésticas, resultantes de las viviendas, edificios y centros comerciales., aguas residuales municipales producto del transporte por el alcantarillado de una urbe o ciudad tratada en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, y las aguas residuales industriales generadas de las descargas de industria de manufactura (UNESCO, 2017).

El agua residual de origen doméstico, motivo de esta investigación está compuesta por elementos físicos, químicos y biológicos, con una mezcla de materia orgánica e inorgánica, suspendidos o disueltos en agua, según la cantidad de estos componentes, el agua residual puede considerarse como fuerte, medio o diluido, las concentraciones pueden variar durante el día y la noche en los distintos días de la semana y dependiendo de los períodos estacionales (Nalco, 2016).

Es importante destacar que la materia orgánica está conformada por residuos alimenticios, heces, materia vegetal, sales minerales, materiales orgánicos, jabones y detergentes, con lo que respecta a las proteínas son el componente primordial del organismo animal y cuando se encuentran presentes en las aguas residuales suministran Sulfuro de Hidrógeno (H_2S), olor característico de las aguas residuales producido por las bacterias anaerobias. Así mismo los carbohidratos son las sustancias que primero destruyen las bacterias por la producción de ácidos orgánicos de ahí la razón de que las aguas residuales viejas presentan mayor acidez. En cuanto a las grasas son las menos

deseables ya que en un tratamiento biológico inhiben la vida de microorganismos generando mal olor y formación de espuma (Olivos, 2010).

El tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales en Ecuador es casi inexistente, solamente se cuenta en todo el país con 421 plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales pertenecen a 133 GAD Municipales de los 221 existentes en el Ecuador. El 50% se localizan en la Región Sierra, el 32,60 % en la Región Costa, el 17% está en la Región Amazónica y el 0,4% se encuentra en la Región Insular (INEC, 2016). Por otra parte, el Cantón Cuenca es el líder nacional en el tratamiento de aguas residuales tratando el 95% de las aguas residuales provenientes de la ciudad de Cuenca. Acorde con el Censo realizado por parte del INEC, tan solo el 38,5 % tiene conocimiento en buenas prácticas ambientales, el 21% tiene capacitación en temáticas de producción más limpia, sin embargo, el 40,5 % no presenta conocimiento de la problemática que tiene el vertimiento del agua residual sin tratamiento a un cuerpo receptor (Arellano,et.al, 2010).

Algunos años atrás, los ríos y quebradas quiteños fueron inestimables, espacios verdes y naturales del paisaje. Tras el continuo crecimiento de la urbe y su consecuente demanda de servicios, los afluentes se convirtieron en depositarios de aguas servidas y quebradas, en basureros. La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, trabaja para revertir esta realidad (EPMAPS, 2017).

En el Distrito Metropolitano de Quito actualmente el nivel de cobertura de Tratamiento de Aguas Residuales es de apenas el 1%, por lo que esta problemática manifiesta una reducción de los

niveles de calidad de vida y salubridad de las áreas rurales respecto a las áreas urbanas (Espinoza, Enríquez, & Masapanta, 2014).

Consecuentemente, se evidencia una carencia imperante en la cobertura de servicios de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas como en rurales, por lo que la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, propone ejecutar proyectos para la mejora de la calidad de vida de los quiteños, contribuyendo a la restauración de ecosistemas hídricos afectados, con una visión integral de gestión de aguas residuales (Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

Ante esta problemática, el saneamiento de las aguas residuales adquiere más importancia para asegurar su recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, en condiciones que no perjudiquen al medio ambiente y por ende a la salud de la población, por ello, el presente estudio aporta al análisis de variables y optimización de parámetros operativos a escala piloto para el arranque y estabilización del biorreactor de la PTAR sistema Lloa-San José.

1.1 ANTECEDENTES

En el siglo XX varias ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración, se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, tanto en las áreas suburbanas como en las rurales, luego la introducción del alcantarillado en las ciudades en vías de desarrollo, dio paso a la generación de cantidades

considerables de aguas residuales que incrementaban su volumen a medida que crecía la demanda de agua urbana. Muchos de los sistemas de alcantarillado se descargaban a los cursos de agua sin tratamiento alguno (Valencia, 2013).

Durante la segunda década del siglo XX el proceso del lodo activado desarrollado en Gran Bretaña supuso una mejora significativa, llegando a emplearse esta técnica en muchas localidades de ese país y de todo el mundo, otra técnica que nació a partir de los años cincuenta fue la de los sistemas naturales de depuración. Estos procedimientos eliminan las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas a través de componentes del medio natural, sin el empleo de ningún tipo de aditivo químico durante su proceso (Builes & García, 2016).

Según, (Valencia, 2013), en el Ecuador también se ha aplicado esta técnica natural de depuración, un ejemplo de ello es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba ubicada en la ciudad de Cuenca. La Empresa Municipal Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento del Cantón Cuenca – ETAPA desde 1983, ha realizado una serie de actividades tendientes a la recuperación de la calidad de las aguas de los ríos que atraviesan la ciudad, para lo cual construyó una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales formada por estructuras de tratamiento preliminar y dos módulos de tratamiento independientes, compuestos por tres lagunas: Aireadas, Facultativas y de Maduración, los mismos son Sistemas Naturales de Depuración. El área total de las lagunas es de 45 hectáreas y fue concebida para tratar un caudal máximo horario de 2,5 m³/s.

En la ciudad de Riobamba se ha construido una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el sector La Libertad, pero actualmente está fuera de funcionamiento. En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) también se han realizado varios estudios sobre el Tratamiento de Aguas Residuales. Una de las últimas investigaciones desarrolladas en este año es el Dimensionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Cabecera Parroquial de Licán, Provincia de Chimborazo (INEC, 2016).

1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas asociados a ellos, son dos problemas considerables que perjudican al desarrollo sostenible. Incurren en esta situación, el incremento poblacional y su progresiva demanda, por lo que la calidad de agua se ve perturbada por la falta de empleo de mecanismos y la búsqueda de tecnología adecuada para el manejo de los recursos hídricos (CEPAL, 2014).

Refiere (SENAGUA, 2016), que en Ecuador el 88% de las aguas residuales llegan a los ríos sin ningún tipo de tratamiento, y tan solo el 12% de las aguas que se utilizan en el consumo humano reciben un método adecuado previo a su descarga en ríos y quebradas. En el Distrito Metropolitano de Quito, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, es la entidad municipal encargada del proceso de conducción, potabilización, distribución, recolección de las aguas residuales y la disposición final hacia un cuerpo receptor, actualmente maneja los siguientes

datos de cobertura: 98 % Agua Potable, 92 % Alcantarillado y 1% Tratamiento de Aguas Residuales (EPMAPS, 2017).

La zona en estudio se encuentra en la parroquia Lloa ubicada en la Provincia de Pichincha, a 11.91 km del Distrito Metropolitano de Quito, en dirección sur oeste, en las faldas del Volcán Guagua Pichincha (Espinel, 2011). Hasta el año 2013, disponía de un sistema de alcantarillado combinado, construido en varias etapas. El sistema contaba con dos descargas directas al río Cinto, la primera cerca de la población y la segunda junto a la estación de bombeo Santa Rosa. El área de cobertura del proyecto de alcantarillado llevado a cabo por la EPMAPS, es de 20,72 Ha.

Los problemas típicos que solían presentarse en el funcionamiento de la red de alcantarillado eran: taponamientos permanentes en varios tramos de la red, ocasionando desborde de aguas servidas, contaminación de las aguas del río Cinto, destrucción de los pozos de revisión en el tramo implantado en la vía, y sobre todo no existía ningún tipo de tratamiento; y, las descargas eran directas al cuerpo receptor (Hazenand, 2014).

Referente a la cobertura de servicios básicos, en este lugar hasta el 2013, el 36% de las familias de la parroquia recibe agua potable, el resto de la población se provee del río, vertiente, acequia o canal, lo cual puede generar un grave problema de salud ya que las aguas no tienen un tratamiento adecuado para el consumo. No cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario ni pluvial completo, solo el 34% de la población elimina las aguas servidas mediante la red pública o alcantarillado, lo que da lugar a que los moradores construyan rudimentariamente letrinas y pozos sépticos para su uso rutinario, lo cual al no estar contruidos por las normas de diseño establecidas, pueden afectar

directamente el manto freático y causar problemas al ambiente y a la salud de los habitantes. (Gobierno de Pichincha, 2012).

Ante esta situación la EPMAPS, decidida a abordar esta realidad, resolvió a través de la Gerencia de Ingeniería y su Departamento de Ingeniería de Proyectos, contratar los diseños definitivos y la construcción del sistema de alcantarillado combinado de varias calles de Lloa, rediseño de la descarga del sistema de alcantarillado del centro poblado; Tratamiento de las Aguas Residuales del centro poblado y de los barrios San José y Urauco (EPMAPS, 2013), se propone como misión: proveer servicios de agua potable y saneamiento con eficiencia y responsabilidad social empresarial.

Ante lo explicado, se decide presentar ideas de expertos para la realización de un proyecto de “Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y descarga del Centro Poblado de Lloa; y, Evaluación y Mejoramiento de los Sistemas de Tratamiento del Barrio San José de la parroquia Lloa”, la misma debe ser operada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de una manera óptima y eficiente, de tal manera que pueda llegar a cumplir el objetivo de descontaminar las aguas que van a ser descargadas desde el sistema mencionado hacia el río Cinto, buscando mejorar las condiciones naturales del mismo y una mayor calidad de vida de la población (Hazenand, 2014).

Lo anteriormente expuesto demuestra que dicha comunidad carece de una planta de tratamiento de aguas residuales que logre procesar todo el residual doméstico de esta población, ocasionando contaminación de los suelos, aguas de consumo y por consiguiente la probabilidad de la aparición

de enfermedades de origen hídrico en las personas del lugar. Ante esta problemática, el saneamiento de las aguas residuales adquiere más importancia para asegurar su recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, en condiciones que no perjudiquen al medio ambiente y la salud de la población.

1.3 PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Es posible analizar variables y parámetros óptimos operativos para el arranque y estabilización del biorreactor para la Planta de tratamiento de aguas residuales del sistema Lloa-San José a partir de una escala piloto?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Analizar las variables para la optimización de parámetros operativos a escala piloto para el arranque y estabilización del biorreactor en la PTAR sistema Lloa-San José.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización física, química y biológica de las aguas residuales que ingresarán a la Planta de Tratamiento Sistema Lloa-San José.

- Diseñar una Planta Piloto a partir de los parámetros de construcción de la PTAR Sistema Lloa-San José.
- Definir los caudales de recirculación y purga de lodos para determinar el tiempo de retención celular, para un funcionamiento óptimo del biorreactor y así lograr una eficiencia adecuada que permita el cumplimiento de la normativa presentada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), para cuerpos receptores de agua dulce.
- Determinar las relaciones de operación óptimas de la Planta de Tratamiento DBO/DQO y SST/SSV.
- Proponer mejoras en el tratamiento de aguas residuales del sistema Lloa-San José, mediante una gestión integrada de producción más limpia en la PTAR.

1.5 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué tipo de caracterización se realizará al agua residual que ingresará a la Planta de tratamiento para evidenciar si se encuentra acorde a los parámetros de diseño?

¿Es posible diseñar una Planta piloto a partir de los parámetros de construcción de la PTAR Sistema Lloa-San José?

¿Qué cálculos se deberán llevar a cabo con el fin de obtener el funcionamiento óptimo del biorreactor para obtener una eficiencia adecuada, con el fin de cumplir con la normativa ambiental vigente para cuerpos receptores de agua dulce?

¿Cuáles son las relaciones de operación que se deberán obtener a partir de la escala piloto para una operación óptima en la puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del sistema Lloa-San José?

¿Cuáles son las acciones de producción más limpia que se necesitan para desarrollar en el sistema de tratamiento en la PTAR Lloa-San José con un menor impacto al ambiente y a los operarios?

1.6 HIPÓTESIS

El análisis de las variables y optimización de parámetros operativos a partir de una escala piloto podrán ser replicados en el arranque y estabilización del biorreactor de la PTAR Sistema Lloa-San José.

1.7 JUSTIFICACIÓN

La novedad científica radica en los aportes que se brindan con relación a las variables y optimización de parámetros operativos a escala piloto para el arranque y estabilización del biorreactor para la PTAR sistema Lloa-San José, en tanto la propuesta permite de una manera más científica y objetiva establecer el tratamiento de aguas residuales en la comunidad de estudio, de

igual forma, la aplicación de la metodología diseñada será susceptible de ser extendida a la ejecución de otras plantas de tratamientos de residuales, en lugares con iguales condiciones.

La investigación tiene un aporte teórico pues permitió sintetizar y sistematizar los procesos óptimos que debe tener un biorreactor para plantas de tratamiento de aguas residuales mediante lodos activos, teniendo en cuenta las características físicas, químicas y biológicas del agua a tratar, todo lo anteriormente expuesto ayudará al desarrollo de investigaciones futuras, los datos aportados desde el punto de vista técnico servirán a especialistas en el tema a entender de mejor manera los procedimientos para lograr un buen funcionamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales empleando la técnica de lodos activos con aireación extendida.

El aporte práctico del trabajo lo constituyen las evaluaciones de los parámetros y variables para el arranque un biorreactor, además de acciones de producción más limpia las cuales serán el punto de partida para la toma de decisiones eficientes, la planificación técnica y la seguridad e higiene de todos los elementos que componen la planta de tratamiento sistema Lloa-San José.

Puede considerarse además que la aplicación de lo realizado en la planta piloto, implica un aporte económico puesto que sus resultados permitirán ajustar la propuesta al proyecto de la EPMAPS la cual tiene dentro de sus tareas establecer la PTAR sistema Lloa-San José, de una manera eficiente, optimizando su tiempo de arranque y estabilización, de tal manera que pueda llegar a cumplir el objetivo de descontaminar las aguas que van a ser descargadas desde el sistema mencionado hacia el río Cinto, buscando mejorar las condiciones naturales del mismo.

El aporte social de la investigación en caso de ser aplicada la propuesta, garantizará la calidad del tratamiento del agua residual en estudio, así como la tranquilidad de la población al no estar en riesgo de padecer enfermedades de origen hídrico.

El aporte ambiental permitirá el beneficio más trascendental del siglo XXI, la convivencia armónica entre ambiente y ser humano, se garantizará el tratamiento de las aguas residuales y su incorporación a las fuentes de agua de forma óptima con los indicadores físicos, químicos y biológicos que no afecten a la vida humana, plantas y peces.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS RESIDUALES

Desde la primera aparición de las poblaciones, la erradicación de residuos se ha convertido en un compromiso primordial para la humanidad, ya que surgió la necesidad de deshacerse tanto de las excretas como de los residuos de comida. En las últimas décadas, el mundo ha observado con atención, examinando y tratando de solucionar una serie de inconvenientes afines con la disposición de residuos líquidos generados por procesos agrícolas, industriales y domésticos (PNUMA, 2011).

Cuando se habla de aguas residuales es importante señalar lo planteado por (Seoanez, 2001), el cual describe que el crecimiento urbano y el incremento de consumo hídrico, ha generado un aumento proporcional de aguas residuales, refiere que entre un 70 y 80% de las aguas recibidas a nivel doméstico se transforman en residuales, las que se vierten en redes y canales de desagüe, culminando su ruta en ríos, lagos y mares.

Los cuerpos receptores (ríos, lagos, lagunas, estuarios, mar), en la mayoría de casos, principalmente en zonas altamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por si solos, de neutralizar y absorber la carga de contaminación producidos por los residuos (Brenes & Mora, 2007). De tal manera que sus condiciones naturales y físicas; como su capacidad para el sustento

de vida acuática se han venido perdiendo. Consecuentemente, en diversas ocasiones dilapidan las condiciones mínimas para mantener el equilibrio ecológico exigido para su adecuado aprovechamiento como fuente de suministro de agua, fuente energética y como vía de transporte. Sin embargo, es evidente que la contaminación está disminuyendo la calidad de agua en diversas partes del mundo (Nalco, 2016).

En el tema de aguas residuales es importante resaltar lo planteado por (Muñoz, 2012), donde menciona que las mismas generan un sin número de alteraciones en los cursos y planos de agua dado a los productos que contiene, y los emplazamientos receptores son cada vez menos capaces de asimilar. La capacidad de auto depuración de un cuerpo de agua es siempre limitada, por el contrario, el vertido de los residuos no tiene freno. Es decir, la magnitud de aguas depuradas no logra en ningún punto el nivel que debería poseer hasta retribuir la diferencia que existe con la capacidad de auto depuración de ríos.

Con este preámbulo podemos definir a las aguas residuales como aquellas que, por uso de la humanidad, constituyen un riesgo y deben ser tratadas y desechadas, ya que cuentan con un gran contenido de sustancias y/o microorganismos patógenos (Rodríguez, 2017). Desde el punto de vista de generación de las fuentes, define (Metcalf & Eddy, 1996), el agua residual como la composición de los residuos líquidos, o aguas que acarrean residuos, derivado de residencias, instituciones públicas, privadas, industrias, a los que pueden añadirse, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. Si se permite la acumulación e inmovilización del agua residual, la putrefacción de la materia orgánica que incluye puede contribuir a la generación de considerables cantidades de gases fétidos.

Cabe recalcar que, en el agua residual bruta, existe una gran presencia de microorganismos patógenos causantes de enfermedades que residen en el aparato intestinal humano o pueden estar presentes en remanentes industriales. De la misma manera pueden contener nutrientes, que pueden inducir el crecimiento de plantas acuáticas, incluyendo compuestos nocivos. Por lo que es necesaria la evacuación inmediata y sin inordio del agua residual desde su fuente de concepción, consecutivamente su tratamiento y evacuación, lo que es necesario en toda población industrializada (Martelo & Lara, 2012).

Según, (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012) se entiende por aguas residuales a la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes, formas de energía o inducir condiciones en el agua de modo directo o indirecto; implica alteraciones perjudiciales de su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica. Estas aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.

El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos, de manera específica, las aguas residuales domésticas hacen referencia a aquellas utilizadas con fines higiénicos, consisten básicamente en residuos humanos que llegan al alcantarillado (Mara, 1990). Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9% y apenas 0,1% de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en su tratamiento y su disposición (Sandoval & Cisneros, 2012). Los tipos de aguas residuales se encuentran detallados en la Tabla 1.

Tabla 1*Clasificación de aguas residuales*

Tipo	Concepto
Aguas residuales domésticas	<p>Generadas por el aseo personal, excretas, orina, limpieza de hogar, poseen una gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, contienen restos de jabón, detergente y grasa (ONU, 2017).</p> <p>Aguas negras: Tipo de agua domestica que son producto de inodoros con presencia de sólidos, elementos patógenos excretados por el ser humano ,procedentes de vertidos cloacales, de instalaciones de saneamiento; son líquidos con materia orgánica, fecal y orina, que circulan por el alcantarillado (Cerezo, 2011).</p> <p>Aguas grises: Son aguas residuales jabonosas que contienen grasas, producto de duchas, lavamanos, lavaplatos, lavadoras, pilas, además provienen del uso doméstico, tales como el lavado de utensilios y de ropa así como el baño de las personas (ECOOSFERA, 2014).</p>
Aguas residuales industriales	<p>Son el producto del proceso de actividades realizadas en fábricas y establecimientos industriales, poseen un gran contenido de detergentes, ácidos, grasas, productos y subproductos de origen animal, vegetal y mineral, la composición del agua residual depende del tipo de industria y contienen metales pesados (Espigares & Pérez, 2000).</p>
Aguas residuales agrícolas/agropecuarias	<p>Se originan por la escorrentía superficial de las zonas agrícolas caracterizada por la presencia de funguicidas, plaguicidas, sales y un alto porcentaje de sólidos en suspensión (Pulido, et.al , 2012).</p>
Aguas residuales municipales	<p>Son de origen domésticas que pueden estar combinadas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial preliminarmente tratadas, para cumplir con la normativa ambiental y puedan ser admitidas en sistemas de alcantarillado combinado (OEFA, 2017).</p>

Fuente: (ONU, 2017), (Cerezo, 2011), (Espigares & Pérez, 2000), (Pulido, et.al , 2012)., (OEFA, 2017).

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los términos agua residual, se utilizan para referirse al agua que presenta una composición variada de líquidos y residuos sólidos que provienen del sistema de abastecimiento de una población y que ha sido modificada debido a diversos usos en actividades como: domésticas, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, entre otros. Debido a la naturaleza de las aguas residuales al momento de su descarga, no pueden ser reutilizadas en los procesos que las generó, y al ser vertidas en varios cuerpos receptores sin un tratamiento previo pueden llegar a implicar una alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos o incluso afectar a la salud humana. (Arce, Calderón , & Tomasini, 2002).

Las aguas residuales son un producto inevitable de toda actividad humana. Para lograr un tratamiento y disposición final apropiado de las mismas, es indispensable conocer sus características físicas, químicas y microbiológicas, la interpretación de los resultados obtenidos de los parámetros analizados, y de sus efectos principales sobre la fuente receptora (Valencia, 2013).

La falta de tratamiento de aguas residuales genera una irrupción de las características habituales de los sistemas hídricos como cambio en el contenido y composición de sales, materia orgánica, variación en la temperatura, color, turbidez, pH. Esta situación está transformándose paulatinamente en un problema grave, en ciertas áreas densamente pobladas los niveles de vertidos exceden la posibilidad de recepción de los recursos de agua, ríos y lagos (Puente, 2013).

Las características del agua residual dependerán de varios factores, referentes al propósito específico, sin embargo, vale la pena destacar que toda caracterización de aguas residuales incluye un programa de muestreo adecuado para garantizar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con la normativa con la que se asegure precisión y fiabilidad de los resultados (Jimenez, 2013).

Los contaminantes de las aguas residuales son habitualmente una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos. No obstante, no es posible obtener un análisis completo de las aguas residuales ya que no resultaría práctico ni rentable. Por lo que se han desarrollado una serie de metodologías empíricas para la valoración de las concentraciones de los contaminantes en las aguas residuales, y para la aplicación no se requiere un conocimiento profundo de la composición química específica de las aguas a ser estudiadas (Romero, 2000).

Tabla 2*Características físicas del agua*

Características	Definición
Olor	El olor se debe a la descomposición de materia orgánica por acción anaerobia generando ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles. (Bueno, Sastre, & Lavin , 1997). La principal causa de rechazo en la construcción de instalaciones de plantas tratamiento de aguas residuales, se centra en la problemática de los olores, por lo que, el olor en los sistemas de tratamiento, han pasado a ser componentes de gran importancia en la planificación del proyecto (Espigares & Pérez, 1985).
Temperatura	La temperatura fluctúa entre los 9° y 22°C, con un valor medio aproximado de 15°C. A mayor temperatura su acción es más nociva sobre las aguas receptoras, dando como resultado el crecimiento excesivo de algas, hongos, bacterias y otros (Ramos, et. al, 2003). La temperatura del agua es un parámetro muy importante ya que tiene gran influencia, en el desarrollo de la vida acuática sobre las reacciones químicas y velocidad de reacción (Sánchez, 2016).
Turbidez	Se refiere a la cantidad de materia que se encuentra en suspensión entre las que encuentran: limo, materia orgánica y microorganismos. La turbidez de las aguas receptoras, perturba la penetración de luz, ocasionando una disminución de productividad primaria Parámetro que se utiliza para indicar la calidad de las aguas vertidas que tiene relación con la materia coloidal y residual en suspensión. (Espigares & Pérez, 1985).
Color	Esta terminología se refiere a la edad del agua residual, el agua residual naciente generalmente tiene color grisáceo, al aumentar el tiempo de transferencia en redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más colindantes a las anaerobias, el color del agua residual cambia progresivamente de gris a gris oscuro y finalmente toma el color negro. (Iagua, 2015)
Densidad	La densidad se define como masa por unidad de volumen, expresada en kg/m^3 , es una característica esencial pues que de ella depende la formación de fangos de sedimentación, En ciertas circunstancias, tanto la densidad como el peso específico, dependerán de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual (Vite, 2014)
Sólidos	Materia sólida que se encuentra en el agua, de manera disuelta o en suspensión. Los sólidos pueden constituirse por materia orgánica, arena, arcilla, materia coloidal, entre otros (INVEMAR, 2003)

Fuente: (Bueno, Sastre, & Lavin , 1997), (Espigares & Pérez, 1985), (Ramos, et.al, 2003), (Sánchez, 2016), (Iagua, 2015), (Vite, 2014), (INVEMAR, 2003).

Tabla 3*Tipos de sólidos*

Tipos	Características
Sólidos totales (ST)	Se define analíticamente como la capacidad de sólidos totales que se obtiene como remanente luego de someter al agua a un procedimiento de evaporación a una temperatura entre 103° y 105°C. No se especifica como sólida aquella materia que se dilapida durante la evaporación debido a su alta presión de vapor (Glynn & Heinke, 2010).
Sólidos sedimentables (SS)	Los sólidos sedimentables se determinan son aquellos que se precipitan en el fondo de un recipiente de cono de Imhoff, en un intervalo de 60 minutos, la cantidad de sólidos sedimentables que se acumulan en la parte inferior del cono se expresa en ml/l, estos son los responsables de la turbidez, ya que provocan dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua; se indica la profundidad a que deja de ser perceptible una marca u objeto patrón (Marín & Osés, 2013).
Sólidos suspendidos totales (SST)	Los sólidos totales pueden clasificarse en permeables o no permeables para lo cual se debe pasar por un filtro de vidrio o membrana de policarbonato con un poro de 1,2 micrómetros (Hernández & Gómez, 2010) , para determinar la cantidad de sólidos suspendidos, el agua residual debe ser depurada en un filtro de fibra de vidrio, en un plato de aluminio para posteriormente secarlo antes de ser pesado. Por medio de esta prueba se determinará la cantidad de lodos producto de la decantación primaria del agua residual.
Sólidos disueltos totales (SDT)	Sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua y no son obstruidas en el material filtrante. Se determina mediante la medición específica de los residuos sólidos filtrables por medio de una membrana con un poro de 2.0 µm. La calidad del agua residual municipal, no debe exceder de 860 mg/l ya que podrían afectar drásticamente la calidad del agua (Marín & Osés, 2013).
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Cantidad de materia orgánica capaz de volatilizarse por medio de calcinación a 550°C ± 50°C en un tiempo de 15 a 20 minutos. Se calcula mediante la diferencia de peso. Se volatiliza lo incinerado y se convierte en CO ₂ . Se considera una medida aproximada del contenido de materia orgánica y en algunos casos la concentración de sólidos biológicos, tales como bacterias y protozoos (Glynn & Heinke, 2010).

Fuente : (Glynn & Heinke, 2010), (Marín & Osés, 2013), (Hernández & Gómez, 2010), (Marín & Osés, 2013), (Glynn & Heinke, 2010)

2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

2.3.1 pH

Medida de concentración de iones hidronio (H_3O^+) en la disolución. Se determina a través de electrometría de electrodo selectivo (pHmetro) conservando la muestra en frasco de polietileno o vidrio de borosilicato en refrigeración menos de 24 horas, obteniendo valores de pH comprendidos entre 1 y 14. Con lo que respecta a las aguas residuales domésticas posee un pH de 7 aproximadamente, ideal para el desarrollo de microorganismos neutrófilos. Puede variar este valor significativamente debido a vertidos industriales. Las aguas ácidas o alcalinas son menos deseadas en lo que respecta al tratamiento de aguas residuales ya que son corrosivas (Cubillos, 2012).

La acidez del agua es la capacidad de neutralizar una base fuerte a un pH de 8,2. La titulación con Hidróxido de Sodio (NaOH) mide la concentración de ácidos minerales como el ácido sulfúrico, de CO_2 disuelto y de sales de hidrólisis ácida (Amaya , Cañon, & Áviles , 2004).

El pH varía con la actividad bacteriana, fotosíntesis, respiración de algas, temperatura, alteraciones químicas que sufre el agua debido al proceso de estabilización. Los cambios del pH por medio del ciclo diurno se deben a la acción fotosintética, la cual consume el dióxido de carbono produciendo una disminución en los iones H^+ y por lo tanto un aumento en el pH. Este fenómeno que a diario ocurre en las lagunas de estabilización se agudiza más cuando la variación diurna del

pH ocurre a temperaturas mayores. Esto se debe a los días fríos ya que hay menos actividad biológica (Acuicultura , 2018).

2.3.2 Oxígeno Disuelto (OD)

Es un gas de baja solubilidad en agua, necesario para la vida acuática aerobia. La solubilidad de oxígeno atmosférico en agua dulce a 35° C es de 7 mg/l y a 0°C es de 14,6 mg/l a una atmósfera. La disminución de oxígeno disuelto incapacita la autopurificación de cuerpos hídricos lo que hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para disponerlos finalmente en los lagos, lagunas, ríos, embalses, etc. Se determina “in situ” mediante electrodo de membrana o por yodometría fijando el oxígeno con sulfato de magnesio, expresándolo en mg/L de oxígeno disuelto en una muestra de agua (Glynn & Heinke, 2010).

La existencia de oxígeno disuelto en el agua es un requisito imprescindible para el desarrollo de la vida acuática, vegetal y animal, y de esta manera evitar la putrefacción anaeróbica de materia orgánica. Mientras se realiza el ciclo diurno suele generarse variaciones en la concentración de oxígeno en el agua, desde la sobresaturación hasta su consumo casi total. (Beltran, 2011).

Las fuentes de oxígeno en el agua son la ventilación y la fotosíntesis de las algas. Su remoción se debe a la respiración de los vegetales, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de materiales orgánicos y sedimento, de aeración, sobresaturación y reducción de inorgánicos. La

concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua depende de varios factores especialmente la temperatura, presión y salinidad (Clubensayos, 2014) .

2.3.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en la muestra de agua. Se define por la diferencia entre el oxígeno disuelto en la muestra inicial y el medido en función del tiempo de incubación. Esta prueba se realiza durante el lapso de 5 días a 20°C por lo que se expresa como DBO₅ (APHA, AWWA, APLF, 1992).

La DBO₅, es el parámetro de polución orgánica más empleado tanto en aguas residuales como en superficiales. La determinación del mismo se relaciona la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.3.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Técnica que permite medir materia orgánica y algún compuesto inorgánico presente en Aguas Residuales, susceptibles a ser oxidado químicamente en una solución de dicromato en medio ácido. Al ser la DBO una técnica donde se oxida únicamente material orgánico biodegradable la DQO oxida a materia orgánica, la relación entre ambos siempre será menor que la unidad (Crites & Tchobanoglous, 2000).

La DQO es un ensayo de laboratorio que mide el equivalente en oxígeno de la fracción de materia orgánica presente en la muestra, que es susceptible de oxidación, en medio ácido, por parte del dicromato de potasio. Generalmente, se debe esperar que el valor de la DBO última a DBO₂₀ se aproxima al valor de la DQO (García, 1985).

La DQO representa casi un valor límite de posibilidad de oxidación total de un residuo. Una de las principales limitaciones del análisis de DQO es la incapacidad de diferenciar entre materia orgánica biológicamente oxidable y materia orgánica biológicamente inerte. Además, no permite medir la velocidad con que se estabilizará la materia biológicamente oxidable en condiciones normales. Sin embargo, la mayor ventaja de la DQO es el corto tiempo que requiere la determinación, 3 horas aproximadamente a diferencia de los 5 días que tarda el DBO. La demanda química de oxígeno es apropiada para determinar las diluciones necesarias en el ensayo de demanda bioquímica de oxígeno (Cisterna & Peña, 2004).

2.3.5 Carbono Orgánico Total (COT)

El Carbono Orgánico Total es uno de los parámetros principales en la evaluación de la contaminación orgánica del agua, señala la cantidad total de carbono orgánico en una muestra expresada en mg/L (Bueno, et.al , 1997).

El carbono orgánico surge de los desechos orgánicos y es el principal constituyente del material biológico. Los valores del Carbono Orgánico Total pueden relacionarse con los valores de la DQO y la DBO (Lenntech, 2009).

2.3.6 Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. (Metcalf & Eddy, 1996).

Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales, (Castro, 1998). Si bien no se encuentran en el agua residual sin tratar, existen otros gases con los cuales debe estar familiarizado. Tal es el caso, por ejemplo, del cloro (Cl_2) y el ozono (O_3) (desinfección y control de olores), y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión).

2.4 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

En las aguas residuales domésticas se encuentran presentes un sin número de agentes patógenos debido al contacto con material fecal, estos agentes involucrados en la contaminación hídrica son: bacterias, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos agentes pueden causar graves enfermedades desde una simple gastroenteritis hasta disentería, hepatitis y fiebre tifoidea (Vargas, 1996).

2.4.1 Bacterias

El destacado papel que desempeñan las bacterias debido a la desintegración y estabilización de la materia orgánica en proceso de tratamiento de aguas residuales es necesario conocer sus particulares, funciones, metabolismo y síntesis (Ramos, Marqués, & Villalobos , 2002).

Tabla 4

Dimensiones acordes a la forma de las bacterias en aguas residuales

Forma de bacteria	Dimensión
Bastón	0,6 y 1,0 micras
Espiral	50 micras
Filamentosas	Superan las 100 micras

Fuente: (Acosta, 2009).

Las bacterias son evacuadas normalmente por las heces de los seres humanos. Acorde a la forma que poseen pueden dividirse en cuatro clases: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas. Las bacterias esferoidales, reciben el nombre de cocos, poseen un diámetro de 1 a 3 micras. Las bacterias en forma de bastón son conocidas como bacilos, tienen dimensiones entre las 0,5 y 0,2 micras de ancho y de 1 y 10 micras de largo. La Escherichia coli, es el organismo más común en las aguas residuales domésticas ya que se encuentran en las heces humanas poseen una dimensión de 0,5 micras de ancho y 2 micras de largo. A continuación, se mencionan las siguientes dimensiones según el tipo de forma de las bacterias (Mara, 1985).

Tabla 5*Agentes Infecciosos presentes en las aguas residuales*

BACTERIAS		
Organismo	Enfermedad	Descripción
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis	Diarrea
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionelosis	Enfermedades respiratorias agudas
<i>Leptospira</i> (150esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (enfermedad de Weil)
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado
<i>Salmonella</i> (~1.700 esp.)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
<i>Shigella</i> (4 esp.)	Shigelosis	Disentería bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarreas extremadamente fuertes, deshidratación
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersinosis	Diarrea

Fuente: (Orozco, 2005)

2.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los productos químicos presentes en aguas tanto superficiales (ríos, lagunas y otros) como residuales abarcan un amplio rango de productos químicos antropogénicos, es decir, aquellos sintetizados o indirectamente producidos por las actividades humanas, estos químicos terminan en

las aguas residuales, incluso luego de los tratamientos que se les hacen al agua para diferentes usos (consumo humano, aseo personal, entre otras actividades diarias) todavía siguen presentes, pues muchos de los sistemas de depuración son ineficientes para este tipo de contaminantes (Elorriaga & Marino, 2012).

Es necesario incrementar el conocimiento sobre el origen, la transformación y los efectos de esta nueva generación de contaminantes, para proponer los mecanismos de tratamiento del agua, con el fin de garantizar una calidad idónea y sin efectos para la salud humana y los organismos acuáticos. El tratamiento de aguas residuales es una operación que utiliza diferentes procesos de depuración: físicos, químicos y microbiológicos, por medio de unidades tratamiento convencionales o naturales, permitiendo de esta manera que el agua que se desea tratar pueda eliminar la mayor parte de contaminantes presentes en la misma con la finalidad de que sus parámetros cumplan con los límites establecidos por las normas ambientales (Becerril, 2012) .

En el caso del tratamiento de aguas residuales domésticas se pretende eliminar los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales o internacionales. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia., y, por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas, éstas se clasifican según su operación, en convencionales y alternativas. (Valencia, 2013).

Estas aguas deben transferirse hacia un centro especializado donde recibe un tratamiento específico acorde a sus características físicas, químicas y biológicas para permitir la descarga al

ambiente sin efectos adversos para la salud humana y el ecosistema (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2000) es por ello que el objetivo principal de la gestión o tratamiento del agua residual es la conservación del ambiente utilizando medidas conforme a las posibilidades económicas, sociales y políticas (Collazos, 2008).

Las aguas residuales recolectadas en poblaciones y municipios deben ser transportadas, en última instancia, a cuerpos hídricos receptores o incluso al mismo terreno. Para lo cual se debe plantear una valiosa interrogante acerca de qué contaminantes se encuentran en el agua residual, para analizar y establecer las condiciones locales y necesidades en cada caso, y aplicar técnicas de acuerdo a la legislación que rige en el país (Ingeniera Quimica.org, 2012).

2.5.1 Tipos de tratamientos de aguas residuales

La elección de un proceso de tratamiento de aguas residuales o la combinación idónea de ellos, depende esencialmente de los siguientes parámetros: características del agua cruda, calidad del efluente requerido, disponibilidad física en el terreno, costos de construcción y operación del sistema de tratamiento, seguridad del sistema de tratamiento, destreza para la optimización de métodos para satisfacer requerimientos futuros más rigurosos (Muñoz, 2012).

Es importante mencionar que para poner en marcha el funcionamiento de un Plan de Tratamiento de aguas residuales se debe asegurar el éxito del mismo mediante un sistema a escalamiento (Planta Piloto), ya que es un instrumento con el que se puede reducir errores en procesos, debido a correlaciones inexactas o falta de información (Centeno & Rodríguez, 2017).

Existen diferentes tipos de tratamientos dentro de ellos los preliminares, los cuales, si bien no manifiestan un proceso en sí, realmente, ayudan a incrementar la eficiencia de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

2.5.1.1 Pretratamiento

Esto pretratamientos tiene como objetivos primordiales: regular el caudal de ingreso y optimizar la calidad de las aguas residuales que transitan desde los alcantarillados hasta las plantas de tratamiento, en la mayoría de casos son muy variables ya que incluyen una gran cantidad sólidos en suspensión como palos, arena, grasas que pueden ocasionar problemas de operación, por lo que son empleados en este tratamiento: cribado, sedimentación, flotación, neutralización y homogenización (Aguas del Mare Nostrum, 2016).

El Cribado el cual es un proceso empleado para separar objetos gruesos del agua residual, mediante rejillas, de esta manera se protege a las unidades operativas de posibles daños por obstrucción de material en bombas, válvulas, filtros biológicos, etc. En plantas de tratamiento modernas emplean rejas, rejillas gruesas y finas. Las rejas con una abertura de hasta 16 cm, rejillas de 5 mm a 2 cm de abertura y las finas de 1.5 hasta 5.5 mm, con esto se pretende mejorar el efluente del tratamiento (Comisión Nacional del Agua México, 2014).

El desengrasado que reside en una operación para la separación del material sólido del medio líquido, este proceso debe llevarse a cabo con una temperatura lo suficientemente baja para permitir el proceso de coagulación, lo cual permite que las grasas y aceites se sitúen en la superficie

facilitando su recolección (Cerezo, Estación Depuradora de Aguas Residuales, 2011). Otro ejemplo es el desarenado el cual es el más empleado para eliminar arena, cenizas y grava., generalmente su forma es rectangular de flujo horizontal, evita los problemas por obstrucción por taponamiento de tuberías. Está compuesto por una caja, donde las partículas se desprenden por gravedad (Liendo, 2016)

2.5.1.2 Tratamiento primario

De igual manera existen los tratamientos primarios, los equipos diseñados para emplear en este tipo de tratamiento son específicos para retirar material orgánico e inorgánico de las aguas residuales mediante el proceso de sedimentación a través de la reducción de la velocidad de flujo. Se puede remover alrededor 60% de Sólidos Suspendidos (SS) y un 30% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Para culminar con el proceso se puede adicionar coagulantes y floculantes con el objetivo de precipitar los sólidos en suspensión más finos y en estado coloidal. (Tchobanoglous, 2016)El proceso de sedimentación puede llevarse a cabo mediante 4 tipos de tanques:

a) Tanque séptico

En esencia es un contenedor para las descargas de aguas residuales domiciliarias de lugares donde no se cuenta con la posibilidad de conectarse a un sistema de drenaje. El efluente de la fosa se envía al subsuelo a través de un sistema de absorción. Es un deposito hermético donde se almacenan aguas residuales domesticas con el fin de realizar un tratamiento primario (Ayala, et.al, 2015).

(Rosales, 2008), menciona que el principio de funcionamiento consiste en la separación de los sólidos mediante la gravedad o sedimentación, una vez realizado esto los sólidos se asientan en el fondo de la fosa y comienzan a ser digeridos por las bacterias que allí se encuentran y las mismas que convierten los productos contaminantes en productos inertes.

b) Tanque Imhoff

Es un tratamiento primario por lo tanto el efluente del mismo debe ser canalizado a un tratamiento secundario para continuar la depuración del agua, uno de los puntos principales del tanque Imhoff, es que digiere los lodos, es decir puede ser muy interesante para una planta de tratamiento donde no se tenga una línea tratamiento de lodos, no se pueden recuperar los gases producidos por digestión de los lodos, por lo que es posible que donde se quieran utilizar los gases para generar energía no se considere su uso (Tratamiento del agua , 2016).

Según este mismo autor refiere que el principio de funcionamiento consiste en que las aguas residuales pasan a través de la cámara de sedimentación, gran parte de los sólidos sedimentables se desplazan al fondo por efecto de la gravedad. Los sólidos tocan las paredes inclinadas del fondo y resbalan por las mismas hasta salir de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape. El traslape tiene la función de evitar que suban los gases producto de la digestión, que inevitablemente se producen y que los sólidos sedimentables puedan re suspenderse por estos gases, estos son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación (Viquera 2014).

c) Tanque de sedimentación

Son utilizados para separar las fracciones líquidas y sólidas de los lodos fecales (LF), se desarrollaron inicialmente para el tratamiento primario de aguas servidas y para la clarificación de las mismas, luego de su tratamiento secundario, funcionan bajo el mismo mecanismo que tanques sépticos. Los tanques de sedimentación y espesamiento dependen de tres mecanismos principales: sedimentación, espesamiento y flotación. La digestión anaeróbica también ocurre ahí, aunque no es la meta (Strande, Ronteltap, & Brdjanovic, 2014).

Según los autores en mención, durante su tiempo de retención, las partículas más pesadas se asientan por efecto de la gravedad. Las partículas más livianas, como aceites y grasas, en cambio, flotan hasta la superficie. Los sólidos son recolectados desde el fondo y los líquidos salen más arriba. Se requieren flujos hidráulicos tranquilos y quietos, puesto que cualquier turbulencia alteraría la sedimentación, el espesamiento y la flotación. Se pueden ubicar deflectores a fin de ayudar a controlar la turbulencia en la entrada y para mantener la fracción líquida separada de la nata y los lodos asentados.

d) Clarificadores de flujo ascendente

Es un proceso de tratamiento anaeróbico en el cual los sólidos contenidos en el líquido atraviesan una cubierta de lodo en proceso de sedimentación, donde se origina la mezcla floculación y remoción de sólidos. La celeridad de la carga orgánica es condicionada debido al tiempo de retención y a la actividad microbiana comprometida en las unidades de degradación

bioquímica de la materia orgánica, debido a que los microorganismos (bacterias), productores de metano poseen una celeridad de desarrollo baja, la suspensión de biomasa activa es la clave de operación del reactor permitiendo manejar bajos tiempos de retención hidráulica y altos tiempos de retención de sólidos (Parra, 2006).

2.5.1.3 Tratamiento Secundario

De igual manera existe el tratamiento secundario el cual hace referencia a todos los tratamientos biológicos ya sea aerobio (en presencia de oxígeno diatómico) o anaerobio (en ausencia de oxígeno diatómico), el objetivo primordial de este tratamiento es remover el exceso de sólidos suspendidos residuales de procesos anteriores. Esta eliminación se genera mediante procedimientos biológicos (Ayala, et.al, 2015).

Uno de los tratamientos biológicos de mayor réplica y empleado en el presente estudio es el de lodos activados, fue desarrollado en Inglaterra en el año de 1914 por Ardern y Lockett. En el proceso de tratamiento de lodos activados los microorganismos (bacterias) son mezclados con materia orgánica, misma que sirve de fuente de alimento y energía, algo importante que se debe destacar es la mezcla y agitación, se lleva a cabo mediante sopladores sumergidos y herramientas mecánicas que deben cumplir con los roles de mezcla completa y proporcionar oxígeno suficiente para el desarrollo de los microorganismos. El tratamiento de lodos posee los siguientes elementos: tanque de aireación (mezcla de microorganismos + agua residual + lodos de retorno), tanque clarificador (afluente tratado y clarificado), inyección de oxígeno (activar microorganismos

aerobios), retorno de lodos (mantiene la concentración microbiana) y aguas depuradas (efluente tratado), (UPC- Ing Ambiental y Sanitaria, 2017).

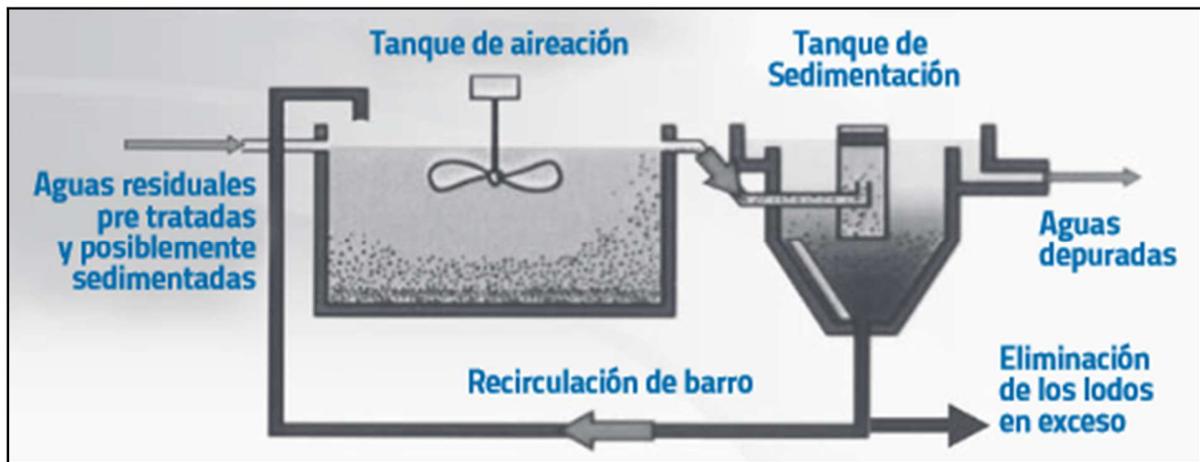


Figura 1 Tratamiento biológico de tipo "Lodos Activados"

Fuente: (Charpentier, 2014)

Tabla 6*Variaciones en tratamiento lodos activados*

PROCESOS	
TRADICIONAL	Aplicado para aguas residuales domésticas con concentraciones bajas y medias, admite cargas de choque con algunas restricciones (Collazos, 2016).
MEZCLA COMPLETA	El afluente sedimentado ingresa en el tanque bruscamente agitado mediante aireadores o difusores de aire comprimido, de tal manera que el contenido del biorreactor conserva la composición constante. El ingreso de las aguas residuales puede ser mediante varias entradas, entretanto la aireación se realiza completa y homogéneamente. Una vez que se produce la sedimentación, se retornan los lodos y finalmente el efluente se evacua (Giraldo & Restrepo, 2003).
AIREACIÓN EXTENDIDA	Donde los microorganismos se encuentran en fase endógena, por lo que se evidencia una baja relación F/M (alimento-comida) y tiempos de retención más prolongados de lo habitual, se emplea en plantas con volúmenes de agua pequeños, en este proceso las células son recluidas durante períodos de aireación relativamente largos por lo que no cuentan con el suficiente sustrato (alimento) generando que los microorganismos inicien una fase endógena y como resultado se produce el consumo de su propio tejido celular. Como secuela del proceso de metabolización endógeno una parte de las células se transforma en gas y masa de lodos (Kayser, 1999).
AIREACIÓN ESCALONADA	En este caso las aguas residuales ingresan al tanque de aireación por diferentes sitios, pero los lodos se recirculan por el primer sitio de ingreso, por consiguiente, la concentración de lodos del licor mezcla, es mayor en la primera fase de ingreso y se reduce a medida que las aguas residuales pasan a las siguientes fases, este proceso de tratamiento puede lograr conseguir un resultado equivalente al proceso convencional en la mitad del tiempo, siempre y cuando la edad de los lodos se mantenga en un promedio de tres a cuatro días (Ramalho R. , 2003).
ZANJA DE OXIDACIÓN	Es otra variación del tratamiento de lodos activados, que utiliza un tiempo de retención extendido de sólidos (SRT) para eliminación de compuestos orgánicos biodegradables. Este sistema trabaja mediante mezcla completa puede ser variado para simular las condiciones de flujo pistón, se utiliza difusor de aire, realmente se trata de un proceso de aireación extendida. Los sistemas de tratamiento con zanjas tienen forma de anillo, ovalado, tanque en forma de herradura. Una de las mayores ventajas de este sistema es la eficiencia de la operación en lo que se refiere al uso de energía que da como resultado la disminución del consumo de esta, comparado con otros procesos de tratamiento biológico (United States Environmental Protection Agency, 2007).

Fuente: (Collazos, 2016), (Giraldo & Restrepo, 2003), (Kayser, 1999), (Ramalho R. , 2003), (United States Environmental Protection Agency, 2007).

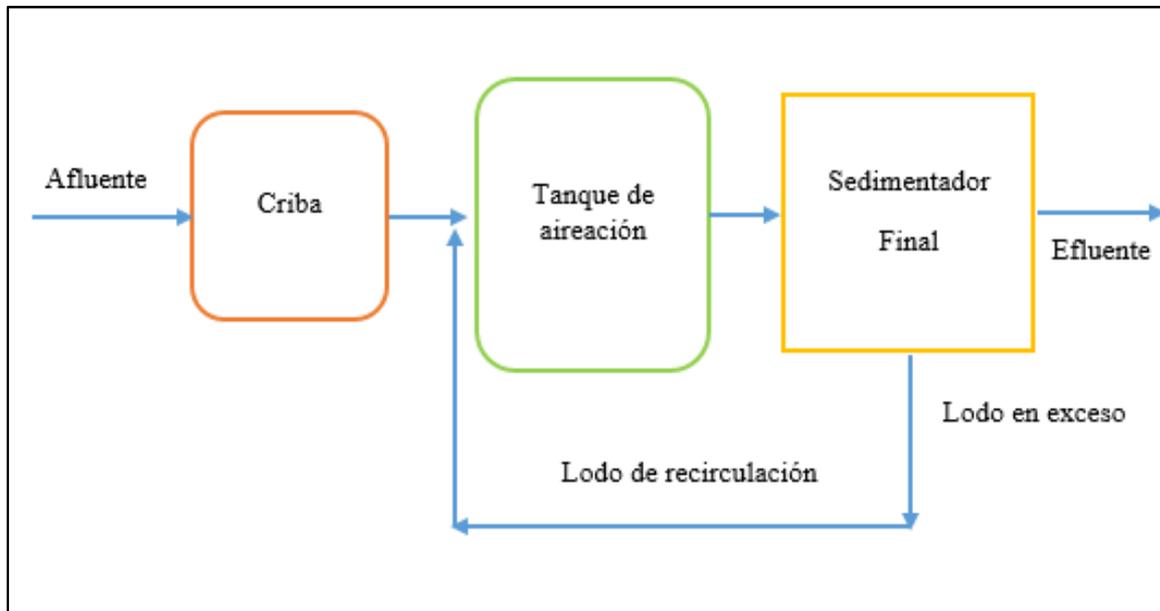


Figura 2 Proceso de Aireación Extendida
Fuente: (Giraldo & Restrepo, 2003)

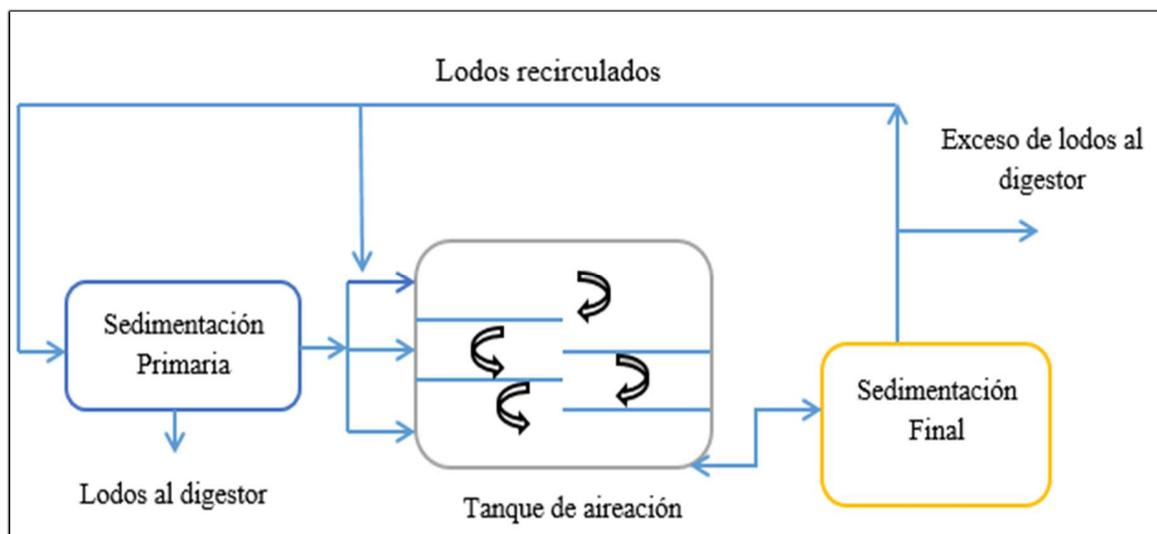


Figura 3 Proceso de Aireación Escalonada
Fuente: (Romero, 2000)

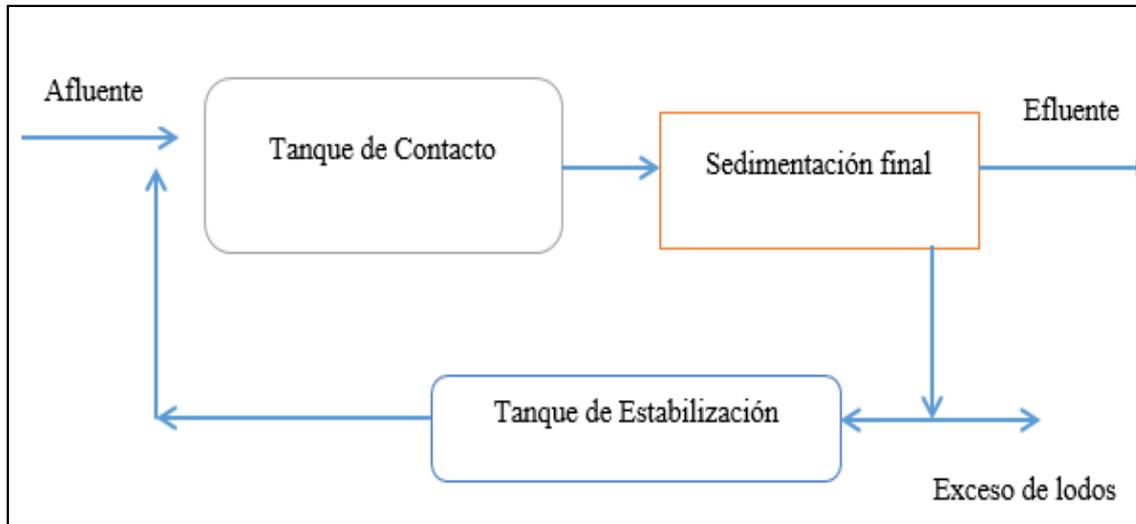


Figura 4 Proceso de Estabilización por contacto

Fuente: (Giraldo & Restrepo, 2003)

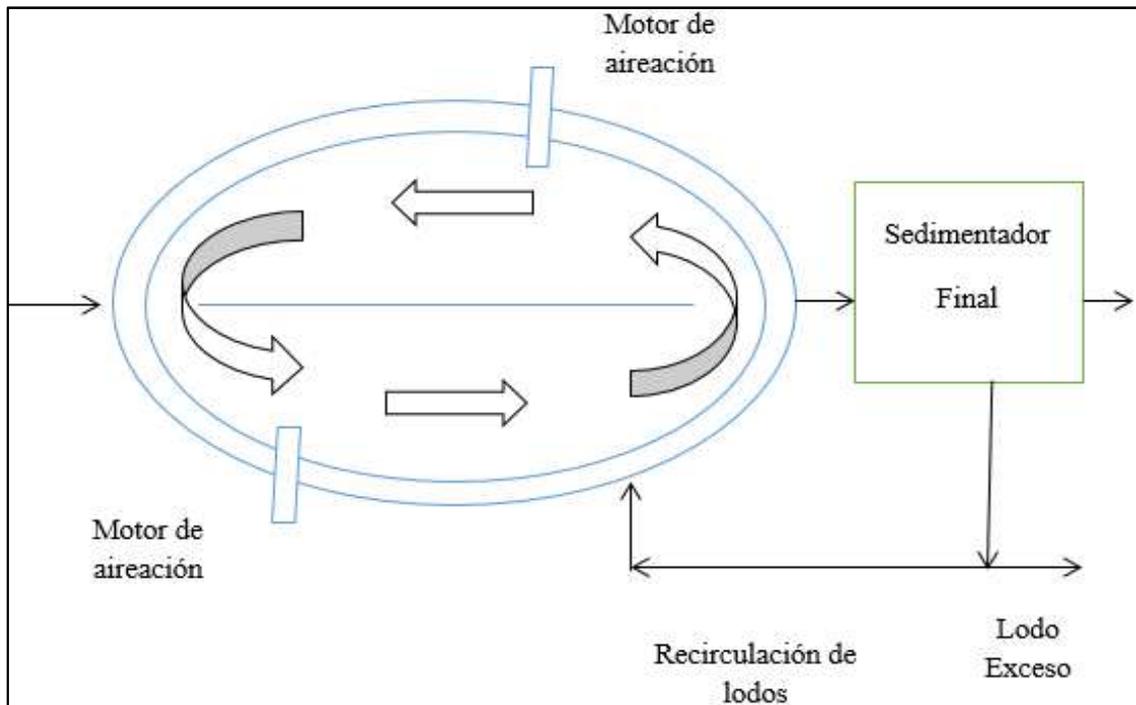


Figura 5 Proceso por Zanja de Oxidación

Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2007)

2.5.1.4 Tratamiento terciario

De igual manera corresponde explicar el tratamiento terciario, la exigencia de tratamientos terciarios o desarrollados se ha hecho necesario conforme se han evidenciado efectos de los compuestos que se dispersan producto del tratamiento secundario de aguas residuales. Estos compuestos son: nitrógeno, fósforo, metales pesados, DQO y los lodos producto del proceso (Jimenez, 2016).

Tabla 7*Parámetros de arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales*

Arranque de un sistema de tratamiento	Para su operación exitosa se debe contar con un con un diseño acorde a las necesidades de la población, además de un personal lo suficientemente capacitado. Por lo que el período de arranque de cada una de las etapas de tratamiento debe aprovecharse para instruir a los operadores, habituarlos a los equipos y modificar cualquier proceso con el fin de asegurar la obtención de un efluente de calidad (Romero, 2000).
Parámetros para el arranque un sistema de tratamiento	En varias ocasiones la operación de los sistemas tratamiento de aguas residuales, se realiza de manera empírica, sin tomar en consideración los parámetros que se emplearon como base para el diseño, que deben ser utilizados para la operación del sistema, con esto se obtendrá una mayor eficiencia del tratamiento. Los principales parámetros para el diseño y operación de un sistema de lodos activados por aireación extendida se indican a continuación (Charpentier, 2014).
Caudal de recirculación	Este se establece asumiendo un estado estacionario del sistema de tratamiento, dicho de otro modo, es el lodo sedimentado que se encuentra en el clarificador, mismo que se recircula a razón del reactor biológico con la finalidad de conservar una determinada carga microbiana (Amaya , Cañon, & Áviles , 2004).
Caudal de purga	Los sistemas de tratamiento mediante lodos activados generan desechos (lodos). Si no se descartan, se acumulan en el biorreactor y en el clarificador, y como resultado se produce un envejecimiento del proceso. Se debe retirar con mayor frecuencia del clarificador para evitar acumulación y por ende envejecimiento, debido a que corre el riesgo de arrastre y/o generación de gases. Para medir el nivel de lodos se debe emplear una probeta o un cono Imhoff (Marín & Osés, 2013).
Tiempo de retención celular (TRC)	Es el tiempo promedio en que los microorganismos o las partículas de biomasa permanecen en el biorreactor aerobio durante el proceso de tratamiento. Este parámetro es de vital importancia para mantener una purga controlada. Si se evidencia un aumento de sólidos la velocidad de purga incrementa (Moeller, 2015)
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	Este el tiempo que permanece el agua residual en el sistema de tratamiento, o dicho de otra manera es el tiempo en que las bacterias están en contacto con el agua residual, es un factor muy relevante ya que se debe tomar en cuenta para que las bacterias logren asimilar la materia orgánica contaminante. Si no se consigue un tiempo de retención adecuado no se obtendrá una remoción adecuada de la materia orgánica contaminante, y la DBO del efluente será alta (Santiago Díaz, 2017)
Relación alimento/microorganismos (F/M)	Se emplea para asegurar que los microorganismos tengan la cantidad suficiente de alimento, ya que la falta o el exceso ocasionarían inconvenientes de sedimentabilidad en el clarificador, dicho en otras palabras, se refiere a la cantidad de carga orgánica de un proceso de lodos activados (Muñoz, 2012).

Fuente: (Romero, 2000), (Charpentier, 2014), (Amaya , Cañon, & Áviles , 2004), (Marín & Osés, 2013), (Moeller, 2015), (Santiago Díaz, 2017), (Muñoz, 2012)

2.6 MARCO LEGAL

En la actualidad el manejo integral de las aguas ha tomado mayor conciencia por parte del estado y sus entes descentralizados competentes, es por ello que se ha diseñado y establecido un conjunto de normativas legales, siendo su objetivo fundamental la conservación de los cuerpos receptores donde se descarga el agua residual, previniendo la contaminación del ambiente y del hombre. Para ello se describe la legislación ambiental que rige en nuestro país a través de la pirámide kelseniana establecida en la figura 6.

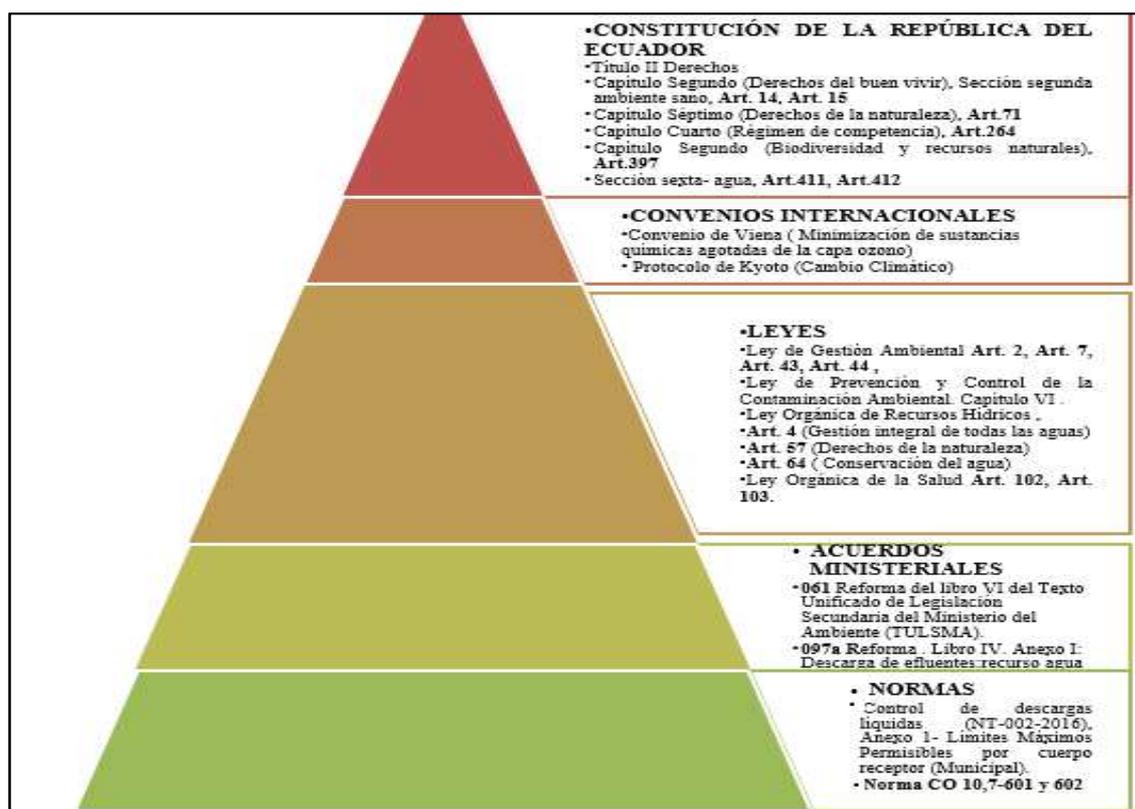


Figura 6 Marco Jurídico ecuatoriano para aguas, descargas líquidas

Fuente: (Asamblea Constituyente, 2008), (TULSMA, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:Recurso Agua; Anexo 1, Tabla 9, 2015)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación geográfica

La parroquia Lloa, se localiza geográficamente en la zona apreciada como segmento de naturaleza orográfica de la Cordillera de los Andes, oscila entre los 1,800 msnm hasta los 4,675 msnm en la cima del volcán Guagua Pichincha, conforma una de las 33 parroquias rurales del Cantón Quito, en dirección sur oeste, se encuentra a 11, 91 km de distancia del Distrito Metropolitano de Quito, colinda con las quebradas de los ríos Blanco, Cinto, Cristal y Saloya, pertenece a la Administración Municipal Zona Sur “Eloy Alfaro” (Gobierno de Pichincha, 2012).

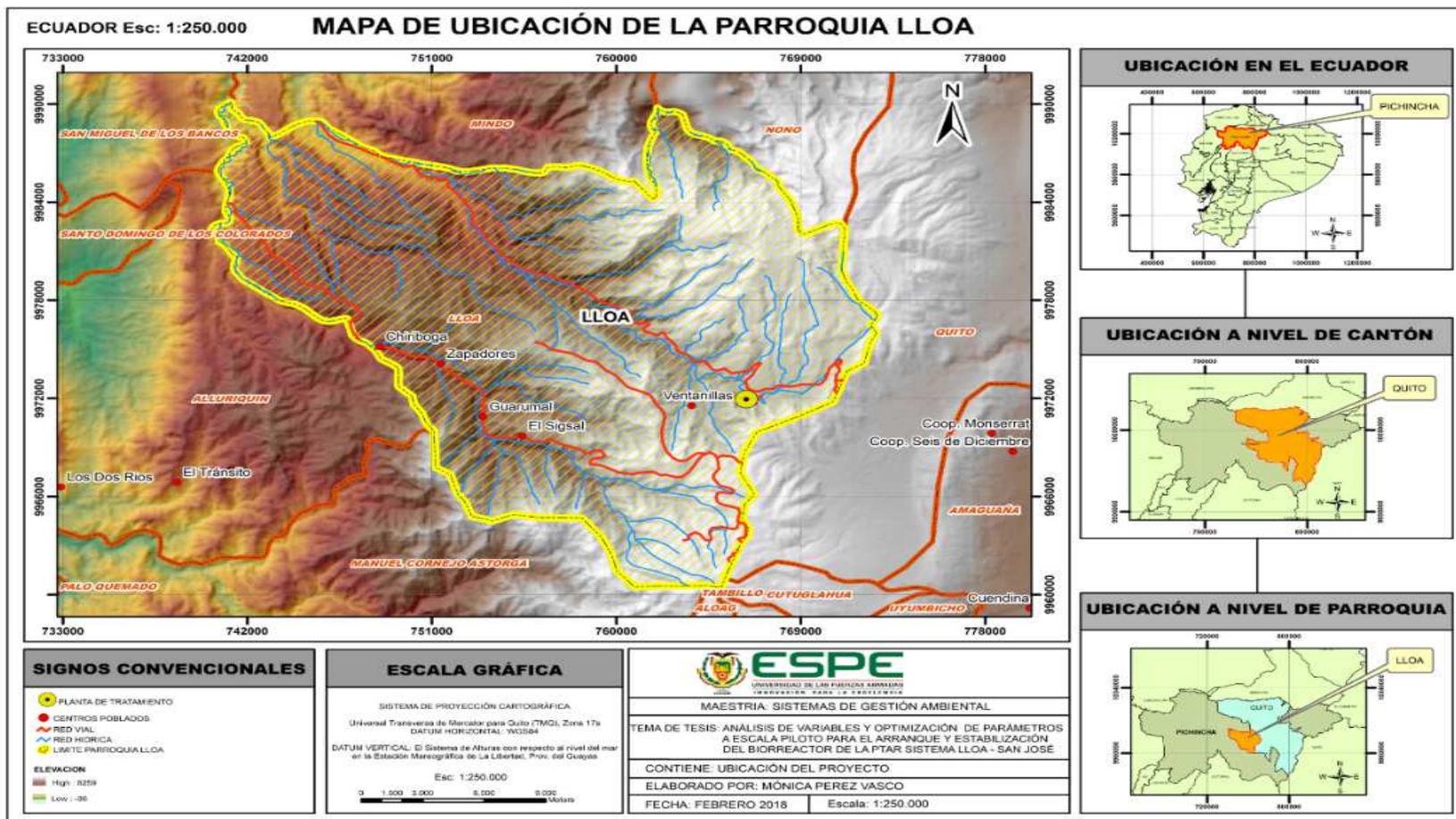


Figura 7 Ubicación Parroquia Lloa

3.1.2 Clima

Tipo de clima	: Templado-Frío
Temperatura media anual	: 14 °C
Precipitación media multianual	: 1500 mm.
Período de la estación de invierno	: noviembre - abril
Período de la estación de verano	: mayo - octubre

3.1.3 Descripción del medio físico

Se han identificado dos ecosistemas claramente definidos, con bosque natural, plantado y cultivado: hallando especies en el bosque como suros, bromelias, orquídeas, ortiga, helechos, pumamaqui y yagual; dentro del páramo se encuentra vegetación arbustiva, paja, chuquiragua, chicoria, ashpa, chocho, arquitecta, chilca, menta; también se evidencian bosques intervenidos como el canelo, aguacate, cedro, manglillo, drago, malva; y una variedad de aves como gallo de peña. Se encuentran también Reservas Privadas; Finca Ecológica del Recinto San José del Guarumal (Rojas, 2008).

3.1.4 Aspectos demográficos

La determinación de la tasa de crecimiento poblacional de Lloa, tiene su fundamento en los censos de población y vivienda realizados por el INEC en los años 1982, 1990, 2001 y 2010, que a continuación, se presenta:

Tabla 8
Aspectos demográficos

Fuente	Año	Población total
INEC censo	1982	1409
INEC censo	1990	1357
INEC censo	2001	1431
INEC censo	2010	1494

Fuente: (INEC, 2016)

Para el análisis y diseño de la PTAR se tuvo en cuenta la tabla 8 de relación población hasta el 2010 y los estudios realizados por (EPMAPS, 2013), donde realizan la proyección de la población Lloa San – José hasta el 2030.

Tabla 9
Proyección de la población Lloa San – José

Fuente	Año	Población total
EPMAPS	2015	1529
	2020	1564
	2025	1599
	2030	1634

Fuente: (EPMAPS, 2013)

3.1.5 Actividad económica

Aproximadamente el 50% de la población económicamente activa se dedica a la agricultura y ganadería. Entre los productos agrícolas se destaca los de cultivo, papa, cebada, trigo, maíz, hortalizas y legumbres. Sin embargo, dinámicas demográficas, como la migración; factores

económicos y de acceso a recursos, así como la cercanía a la ciudad de Quito; ecológicas, como los cambios de estaciones y aumento de heladas y lluvias, y principalmente la actividad del volcán Guagua Pichincha, entre otros factores, han producido un declive en la práctica de las actividades agrícolas (Gavilares, et.al, 2012).

3.1.6 Transporte

Para ingresar a la parroquia de Lloa existen tres maneras: 1) mediante la vía que comunica a la población del sector de la Mena 2) a través del barrio de Chilibulo y finalmente c) por el sector de Chillogallo que comunica con la parroquia en estudio. Por otra parte, en lo que refiere a líneas de transporte, en la actualidad existe la Cooperativa de Transporte Lloa, la cual transporta a la población desde la Mena dos hasta la parroquia Lloa y viceversa operando de lunes a domingo de 06h00 a 20h00 (Sarzosa , 2013).

3.1.7 Abastecimiento de agua potable

La población de Lloa cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable, constituido por: captación de la vertiente de Cuchicorral, hasta el tanque de Guashgua y luego al tanque de Lloa de 80 m³, cloración con hipoclorito de calcio (2 libras diarias), redes de distribución y 243 conexiones domiciliarias (EPMAPS, 2013)

3.1.8 Sistemas de alcantarillado

Actualmente, Lloa cuenta con un sistema de alcantarillado combinado, en San José existe un sistema de alcantarillado, constituido de las siguientes unidades: 12 pozos, 998,10 m de tubería de 200 mm de PVC, y un sistema de tratamiento compuesto de una fosa séptica y un pozo de absorción (Sarzoza , 2013).

3.1.9 Características de la zona del proyecto

Parroquia	:	Lloa
Barrio	:	Lloa Centro Poblado
Cantón	:	Quito
Provincia	:	Pichincha
Rutas de acceso a Lloa	:	Mena 2- calle Angamarca – Revisión de Tránsito
Características de la vía a Lloa	:	11,91 Km vía asfaltada hasta el área del proyecto
Ruta de acceso a San José	:	Lloa–San José.
Características de la vía a San José	:	4,1 Km vía lastrada desde Lloa.
Características de la vía a Urauco	:	8,50 Km vía lastrada desde Lloa
Características topográficas de la zona:	:	Ondulado - Montañoso
Nivel promedio de Lloa	:	3.100 msnm.



Figura 8 Ubicación del Proyecto

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un enfoque cuali-cuantitativo de tipo descriptivo experimental se realizó en el periodo de agosto 2017 - enero del 2018, en el laboratorio de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) ubicado en la Parroquia Lloa, con el propósito de diseñar una Planta de Tratamiento Piloto para determinar los parámetros óptimos de operación y poner en marcha la futura Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Sistema Lloa-San José, manejada por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales (DTAR) de la Empresa en mención.

La investigación se desarrollará en cuatro etapas:

Etapa I. Monitoreo y Caracterización de Aguas residuales

Etapa II. Diseño de la planta piloto.

Etapa III. Fase Experimental.

Etapa IV. Propuesta Integrada de Gestión Ambiental.

3.2.1 Métodos Teóricos empleados en la investigación

Método histórico y lógico: Para determinar las tendencias y comportamiento de la comunidad de estudio. Este método ayuda al investigador a exponer las bases teóricas del tratamiento de los residuales referentes a lodos activados.

Método sistémico: Para fundamentar el modelo propuesto en el estudio piloto del biorreactor, utilizando para ello el análisis y síntesis para la descomposición del funcionamiento del objeto en sus diversos componentes y el establecimiento de las relaciones entre los mismos.

Método dialéctico: Para valorar la evolución de la investigación en el campo de la propuesta, empleando la inducción-deducción para determinar las generalidades y regularidades del proceso en la realidad.

Análisis y síntesis de la información: A partir de la revisión de la literatura especializada se revisó siguiendo los principales conceptos a desarrollar para su resumen posterior.

Método inductivo - deductivo: Para seleccionar los métodos o técnicas más apropiados para la evaluación del proceso piloto.

Se aplicaron métodos empíricos

Análisis documental: fue realizado para la valoración de la bibliografía relacionada con el problema de estudio, se consultaron documentos de carácter institucional, investigaciones previas realizadas que tocan aristas diversas del fenómeno que se pretende estudiar en su totalidad, informaciones estadísticas y otros instrumentos de recogida de información.

Método de medición: fue empleado en el diagnóstico cuali-cuantitativo de la situación a investigar, es decir, para obtener información primaria del estado actual de la disposición de residuales en la comunidad de estudio.

Estudio de casos: su utilización fue necesaria no solo para la constatación del problema científico, sino además para la creación de la propuesta de estrategia en la comunidad de estudio. Asociados a los métodos teóricos y empíricos fueron empleados los siguientes procedimientos: Análisis y síntesis: se aplicó en la descomposición del funcionamiento del objeto en sus diversos componentes y el establecimiento de las relaciones entre ellos.

Inducción-deducción: posibilitó la determinación de generalidades y regularidades del procedimiento de gestión.

Procesamiento de datos: toda la información obtenida en la investigación será recogida y procesada en Microsoft Excel, para su mejor entendimiento será expuesta en tablas y gráficos. Para la confección de mapas se utilizará ArcGIS y AutoCAD para el diseño de la planta piloto.

3.3 ANÁLISIS METODOLÓGICO DE LAS CUATRO ETAPAS

3.3.1 ETAPA I: MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN

3.3.1.1.1 Monitoreo

Se establecieron procedimientos y metodologías para cumplir con la ejecución de los Programas de Monitoreo. Su aplicación contribuyó al cumplimiento de la normativa ambiental y por ende a la protección de los ecosistemas acuáticos.

3.3.1.1.2 *Protocolo de Muestreo*

Para garantizar la integridad de la muestra desde el momento de la recolección hasta la entrega en el Laboratorio Central de Control de Calidad (L3C), se llevó a cabo una cadena de custodia con el siguiente procedimiento:

1. Programación de cronograma de muestreos mensuales
2. Selección idónea de frascos para recolección muestras
3. Toma de muestras (Afluente, efluente, biorreactor y clarificador)
4. Etiquetado de las muestras
5. Registro de muestreos en la bitácora Laboratorio Lloa
6. Transporte de muestras bajo condiciones apropiadas
7. Recepción y registro de muestras en libro de custodia Laboratorio EPMAPS
8. Análisis de las muestras

3.3.1.1.3 *Toma de Muestra*

- Antes de recolectar la muestra es muy importante contar con el equipo de protección personal adecuado con el propósito de evitar una exposición directa con las aguas residuales, que pueden generar efectos adversos en la salud.
- Las aguas residuales, son susceptibles a variaciones en distintos niveles como producto de reacciones físicas, químicas o biológicas, desde el momento del muestreo hasta el momento

de realizar el análisis. Las reacciones pueden ser de distintos niveles y naturaleza, por lo que hay que tomar las respectivas precauciones antes y durante el transporte, así mismo en el lapso que las muestras son conservadas en el laboratorio previo al análisis (INEN, 1998).

- Para la toma de muestra es muy importante el tipo de recipiente empleado ya que puede existir intercambios iónicos con las paredes del recipiente o producirse una adsorción sobre estas. Los recipientes recomendados y utilizados para la recolección son de plástico (polietileno de alta densidad).
- Dentro del proceso muestreo se utilizó la metodología de muestras compuestas, para este tipo de procedimiento es importante “no utilizar” un muestreador, sino que se debe tomar la muestra directamente en el frasco, antes de realizar la recolección se debe enjuagar con la misma agua residual (3 veces), el punto de muestreo inicial fue el afluente, efluente, biorreactor y clarificador, con el objetivo de tener una mayor calidad de los parámetros analizados. El muestreo consistió en introducir un frasco plástico de 250 ml, en los diferentes puntos críticos antes mencionado cada una hora para completar la muestra compuesta de 1000 ml/ en 4 horas, tomando cuatro muestras individuales en los diferentes puntos.

Esta relación se obtiene por la siguiente fórmula:

$$V_i = \frac{V(\text{ml}) \times Q_i(\text{l/s})}{N \times Q_p(\text{l/s})}$$

donde:

V_i = volumen de cada alícuota o porción de muestra,

V = volumen total a componer (pueden ser 10 L),

Q_i = caudal instantáneo de cada muestra,

Q_p = caudal promedio durante el muestreo

N = número de muestras tomadas

Una vez recolectada la muestra según los parámetros a ser analizados se envió al Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua (EPMAPS).

3.3.1.2 Toma de Datos en Campo

Para la toma de parámetros en campo se establecieron horarios tanto diurnos como nocturnos, obteniendo datos representativos y al mismo tiempo observar las fluctuaciones de las descargas afluentes, que representaran el comportamiento de la población y variaciones a lo largo del día y del proyecto de investigación, Los parámetros analizados se describen a continuación (anexo 1 y 2)

3.3.1.2.1 Medición del potencial de hidrógeno (pH)

Para la medición de pH, se utilizaron dos instrumentos: tiras de papel pH, las cuales fueron introducidas en las dos unidades operativas (biorreactor y clarificador) durante 15 a 20 segundos, una vez transcurrido este lapso se procedió a comparar la tira de pH con la escala de colores

presente en el frasco de contención de las tiras y determinar de esta manera el nivel de acidez o alcalinidad del agua residual.

Como segundo instrumento de medición se utilizó un equipo multiparamétrico modelo HQ40d marca HACH, previamente calibrada con solución buffer de pH conocido y en comparación a tres escalas pH 4, 7 y 10; la medición se realizó con el siguiente procedimiento:

- Conectar la sonda al medidor
- Quitar el capuchón de conservación de la sonda de medición en condiciones acuosas.
- Secado de la sonda de medición.
- Introducir la sonda en los lugares establecidos y presionar el botón “medir” hasta que la lectura se estabilice.
- Para obtener mediciones con menor rango de incertidumbre se decidió únicamente determinar los parámetros de campo con el medidor HQ40d. Las tiras de medición de pH únicamente servirán para procesos de preservación de muestras o corroboración de medidas.



Figura 9 Medición de pH en biorreactor

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

3.3.1.2.2 Medición Temperatura

La medición de temperatura se realizó empleando igualmente el equipo multiparamétrico HQ40d marca HACH; equipo con contiene en la sonda de pH un termómetro de medición, el cual será introducido en los lugares previamente establecidos. La medición se la realizara con el mismo procedimiento de la sonda de pH mencionado en el apartado anterior.

3.3.1.2.3 Medición de Turbiedad

Este parámetro muestra el nivel en el que el agua pierde su translucidez por causa de los sólidos suspendidos. Para la determinación de este parámetro se empleó el equipo turbidímetro marca HANNA modelo HI93414 y bajo el siguiente procedimiento:

- Tomar la muestra del lugar a medirse
- Encerar el equipo con la disolución presente en el equipo.
- Insertar 10 ml de agua en el frasco de medición, hasta la línea de referencia.
- Insertar el frasco en el equipo.
- Presionar medir
- Anotar en el registro de parámetros de campo.



Figura 10 Turbidímetro
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

3.3.1.2.4 Medición Sólidos Disueltos Totales

Para la obtención de la medida de Sólidos Disueltos Totales se empleó un equipo especializado de marca GHB, el cual consiste en obtener una medida directa en base a la relación con la conductividad en el agua residual, la medida se la obtiene con una sonda de medición como en los anteriores equipos, y bajo calibraciones directas con los buffers de calibración de conductividad en rangos bajo, medio y alto.

3.3.1.2.5 Medición Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es un parámetro muy importante para la respiración de los microorganismos aerobios en el tratamiento de las aguas residuales ya que permite obtener:

- Formación de hábitat necesario para las bacterias.

- Degradación de la materia orgánica
- Referencia de puntos muertos
- Referencia de rangos de funcionamiento del proceso.
- Presencia de bacterias biodegradantes.
- Inexistencia de malos olores

Para la toma de datos del oxígeno disuelto se utilizó un multiparamétrico HQ40d marca HACH con el siguiente procedimiento:

- Conectar la sonda al medidor
- Quitar el capuchón de conservación de la sonda de medición en condiciones acuosas.
- Secado de la sonda de medición.
- Introducir la sonda en los lugares establecidos y presionar el botón “medir” hasta que la lectura se estabilice.
- Anotar la medida obtenida con unidades de mg/l en el registro de datos de campo.

3.3.1.2.6 Medición Sólidos Sedimentables

La medida de este parámetro se lo realizó en el Cono Imhoff de 1 litro de capacidad de la siguiente forma:

- Recolección del volumen necesario (1 litro) en un muestreador de altura, para obtenerlo desde la parte más profunda del clarificador.
- Trasvase del volumen requerido hacia el cono Imhoff.
- Dejar reposar durante 30 minutos el agua recolectada

- Anotar los sólidos sedimentables que se presentaron, con unidades ml/l, el registro de parámetros de campo.



Figura 11 Toma de muestra para sólidos sedimentables
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Una vez que los Sólidos Sedimentables alcancen un valor de por lo menos 20 ml/l se procederá con la medición en laboratorio de SSV y SST, ya que con medidas inferiores al mencionado se asumirá que se cuenta con un número minúsculo de microorganismos como para evaluar las condiciones del efluente y del tren de tratamiento.

3.3.1.2.7 Demanda Química de Oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno es una adaptación del método aprobado EPA 410.4. Este método cubre la determinación de DQO en aguas de desechos domésticos e industriales.

Para realizar este procedimiento se cumplió con el siguiente Protocolo:

1. Para realizar el proceso de digestión de la muestra se utilizó un reactor HI 839800 marca Hanna y se precalentó a 150°C .
2. Posteriormente se destapó cuidadosamente el vial, y con la ayuda de una jeringa se adicionó 2 ml de la muestra previamente homogenizada proveniente del afluente y efluente del tanque de alimentación de la planta piloto, con el objeto de medir exactamente los ml adicionados de la muestra, se empujó el embolo por completo dentro de la jeringa y se insertó la punta en la muestra. Se empujó el embolo hasta el borde inferior específicamente hasta la marca de 2 ml.
3. A continuación, se colocó nuevamente la tapa hermética y se mezcló la muestra varias veces, se debe tomar en cuenta que el vial se calienta y se debe manipular con precaución.
4. Seguidamente con una nueva jeringa se tomó 2 ml agua destilada y se realizó el mismo proceso previamente descrito en el numeral 2 y 3, este vial será el blanco.
5. Una vez realizado este proceso se insertó los viales en el reactor de bloque y se mantuvo a los mismos a una temperatura de 150°C , por el lapso de dos horas.
6. Trascorridas las dos horas el equipo se apagó automáticamente y se aguardó al cabo de 5 minutos hasta que se enfríen.
7. Luego se invirtió cada vial varias veces para homogenizar las muestras.
8. Finalmente se colocó los viales en el medidor de DQO y Fotómetro Multiparamétrico HI 83099 marca Hanna y se procedió a la lectura de cada uno de los viales.



Figura 12 Determinación de DQO en afluente y efluente
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Para el caso de los sólidos volátiles y la DBO se utilizarán métodos y protocolos establecidos por el laboratorio central de control de calidad del EPMAPS, para el caso de la DBO específicamente se utilizó el METODO MAM-38 APHA 5210 B MODIFICADO y para los SV la APHA 2540E.

3.3.1.3 Preservación de Muestras

Para estabilizar los constituyentes físicos y químicos es pertinente la adición de un reactivo que preserve la muestra. En el caso se empleó ácido sulfúrico logrando llevar un pH menor a 2 y de

esta manera minimizar la volatilización, precipitación, adsorción o biodegradación sobre las paredes del recipiente, desde la toma hasta el análisis de la muestra. Se mantuvo las muestras conservadas con bloques de gel para fomentar una temperatura de 4°C en un enfriador.

3.3.1.4 Etiquetado de Muestras

Una vez tomada la muestra se procedió al etiquetado para evitar confusión entre lugares muestreados, las mismas que deben colocarse previo al período de muestreo, se debe escribir con tinta indeleble. En la Figura 24 se puede observar la etiqueta empleada para el proceso donde se incluyó la siguiente información.

	
DEPARTAMENTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
TIPO DE MUESTRA: SIMPLE	PTAR: LLOA- SAN JOSÉ
PROCEDENCIA: BIORREACTOR, CLARIFICADOR	
LUGAR DE MUESTREO: PLANTA PILOTO SIST. LLOA-SAN JOSÉ	
FECHA: 01/06 /2017	
NÚMERO DE MUESTRA: 1-2	RESPONSABLE: MÓNICA PÉREZ

Figura 13 Etiqueta de frascos

Fuente: (EPMAPS, 2017)

3.3.1.5 Bitácora de Registro Laboratorio

Toda actividad que se realice en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Lloa, se registraba en la bitácora de registro ubicada en el laboratorio donde se debía especificar los siguientes parámetros:

- Propósito del muestreo
- Lugar a muestrear
- Número de muestras tomadas
- Fecha
- Hora
- Método
- Dirección
- Nombre y firma del recolector

3.3.1.6 Transporte de Muestras

Las muestras se preservaron en un Cooler con hielo y se transportaron al laboratorio lo más rápido posible, debiendo ser respaldadas por un cuaderno de custodia respaldado por los parámetros tomados en campo como pH, Temperatura, Sólidos Disueltos Totales, Oxígeno Disuelto en el afluente, efluente, biorreactor y clarificador.

3.3.1.7 Recepción y Registro de la Muestra

En el laboratorio se recibió la muestra la que se inspeccionó en condiciones de seguridad; revisando los sellos y rótulos para comparar con lo consignado en el cuaderno de custodia.

Posteriormente se asignó un número interno, y finalmente se registró en el libro de muestras del laboratorio, hasta su análisis y almacenó en un lugar seguro bajo las condiciones apropiadas.

3.3.1.8 Caracterización

Para la Caracterización de las muestras tomadas a campo se tuvo en cuenta el Libro VI, anexo I la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes para el recurso agua; reformado por Acuerdo Ministerial 097A, en el cual se define los parámetros a cumplir acorde a los usos y las normas de descarga de efluentes a un cuerpo receptor para agua dulce y agua marina, la tabla 9, presenta los parámetros para descargas a un cuerpo de agua dulce, que es el caso del estudio realizado.

Tabla 10*Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	Método de análisis
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0	EPA 9071 A
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000	MMI-12/SM 9221-E
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DQO	mg/l	200	MAM-38 APHA 5210 B Modificado
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0	MAM-44/ Colorímetro HACH modificado
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0	KJELDAHL y/o Colorímetro MERCK
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130	MAM-31/ APHA 2540D Modificado
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600	MAM-29/APHA 2540B Modificado
Temperatura	°C		Condición natural +3	Conductímetro

Fuente: (TULSMA, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:Recurso Agua; Anexo 1, Tabla 9, 2015)

3.3.2 ETAPA II DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

3.3.2.1 Diseño de la planta piloto

Para el diseño de la planta piloto se tuvo en cuenta como uno de los principios trascendentales la primera caracterización del agua residual que ingresará al sistema de tratamiento, mismos resultados fueron comparados con la normativa ambiental vigente sobre parámetros de vertimientos del agua residual hacia un cuerpo receptos establecidos el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ministerio del Ambiente. Posteriormente se procedió a establecer la base de cálculo para el diseño de un tratamiento biológico de lodos activados compuesto por un biorreactor y clarificador para lo cual se tomó como referencia Ramalho, Tratamiento de Aguas Residuales, 1993.

Tabla 11*Fórmulas empleadas para el cálculo de parámetros de diseño PTAR Piloto*

Parámetro	Fórmula
Volumen del Biorreactor	$\text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Profundidad}$ <p>Largo (0,8 m y 0,1 m). Valor asumido: 0,95 m</p> <p>Ancho (0,4 y 0,6 m). Valor asumido: 0,22 m</p> <p>Profundidad (0,7 m y 1m). Valor asumido: 0,17m</p>
Caudal de ingreso	$\frac{V \text{ (Volumen bioreactor)} m^3}{\text{TRH (Tiempo de Retención Hidráulico) horas Asumido Teórico}}$
Volumen Clarificador	$\text{Caudal inicial (Qf)} \frac{m^3}{s} \times \frac{\text{Tiempo de retención hidráulico Clarificador (TRHc)}}{24 \text{ horas}}$
Dimensión Clarificador	<p>Diámetro superior (0,22 m y 0,30 m): Valor asumido 0,29 m</p> <p>Diámetro inferior (0,10 y 0,12): Valor asumido 0,13 m</p> <p>Altura de agua: $3 \times \left(\frac{\text{Volumen Clarificador}}{\pi} \right) \times (D. \text{ superior}^2 + D. \text{ inferior}^2 + D. \text{ Superior} \times D. \text{ inferior}).$</p>

Fuente: (Ramalho 1993)

Tabla 12

Fórmulas empleadas para el cálculo de operación de la PTAR Piloto

Parámetro	Fórmula	Parámetro Óptimo
Tiempo de Retención Celular	(Ecuación 5) $\frac{(\text{Sólidos Suspendidos Volátiles } b \text{ (mg/l)} \times \text{Volumen del biorreactor (m}^3\text{)})}{(\text{Sólidos Suspendidos Volátiles } (\frac{\text{mg}}{\text{l}}) \times \text{Caudal purga m}^3/\text{d})}$	25- 50 días
Tiempo de Retención Hidráulica	(Ecuación 6) $\frac{(\text{Volumen del Biorreactor m}^3)}{\text{Q(Caudal m}^3/\text{h)}}$	18-36 horas
Relación Alimento/Microorganismos (F/M)	(Ecuación 7) $\frac{(\text{Q } (\frac{\text{m}^3}{\text{h}}) \times (\text{To (tiempo de operación)24}) \times \text{DBO}^5\text{a o DBO}^5\text{e } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}))}{(\text{SSVb}(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times \text{Vb (m}^3\text{)})}$	0,05-0,40 (KgDBO ₅ /KgSSV)
Índice Volumétrico de Lodos	(Ecuación 8) $\frac{\text{SS}}{\text{SSTB}} \text{ (mg/g)}$	Sedimentabilidad <90 Excelente; 90 <IVL<150 Buena >150 Mala.
Factor de recirculación (r)	(Ecuación 9) $\frac{\text{Sólidos Suspendidos Volátiles Biorreactor (mg/l)}}{\text{Sólidos Suspendidos Volátiles Clarificador (mg/l) – Sólidos Suspendidos Volátiles Biorreactor(mg/l)}}$	75%-100%
Caudal de Recirculación (Q'w)	(Ecuación 10) Caudal Inicial (l/s) × Factor de recirculación	
Caudal de Purga (Qw)	(Ecuación 11) $\frac{(\text{Volumen del Biorreactor m}^3) \times \text{SSTb}(\frac{\text{mg}}{\text{l}})}{\text{TRC (d)} \times \text{SSTc } (\frac{\text{mg}}{\text{l}})}$	0,0003 m ³ /d
Eficiencia	(Ecuación 12) $\frac{\text{DBO Afluente – DBO Efluente}}{\text{DBO Afluente}} \times 100$	70-90%

Fuente: (Ramalho 1993; Torrescano, 2009)

3.3.3 ETAPA III EXPERIMENTAL

3.3.3.1 Instalación de Planta Piloto en campo

Se realizó la nivelación manual de la cobertura vegetal junto al proyecto en construcción del pretratamiento de desarenador de la PTAR Sistema Lloa San- José y así lograr la estabilización completa de las unidades operativas; así como, la diferencia de cotas para la recirculación de lodos y descarga al efluente. Se colocó soportes tipo mesa, tanto para el biorreactor como clarificador para mantener condiciones de movilidad hacia los lugares que faciliten la operación de la planta piloto. El caudal de entrada se determinó tomarlo posterior al desarenador, ya que, al haber pasado por el cribado, evitaremos la presencia de sólidos de todo tamaño en la planta piloto, logrando tener un mayor volumen útil, remoción y eficacia del tratamiento a implementarse.



Figura 14 Instalación de Planta Piloto en el exterior de las instalaciones
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

La alimentación de agua residual hacia la planta piloto se lo realizara mediante una bomba sumergible AQUA 45W marca EVANS y una manguera aforada al caudal de diseño establecido, la misma que se logró en base a la colocación de un “T” la cual desviaba el caudal excedente y únicamente direccionaremos $0,035 \text{ m}^3/\text{d}$, hacia el afluente del sistema de estudio, en este caso el biorreactor.

Hay que considerar que el caudal de ingreso al biorreactor será el que posteriormente pasará por un tratamiento primario; en este caso, cribado y desarenador por lo cual se tendrá ya únicamente agua residual con contenido específico para la remoción en las unidades operativas de estudio. Con el ingreso requerido de agua hacia el biorreactor, se realizó las pruebas de dosificación de oxígeno disuelto y se evaluó los posibles puntos muertos en el sistema. Para la inyección de oxígeno se utilizó una bomba de doble salida, la misma que fue adaptada con un difusor de burbuja fina para la repartición de oxígeno disuelto en la totalidad del biorreactor; para de esta manera lograr visualizar una mezcla homogénea corroborada con las mediciones de oxígeno disuelto tanto a diferentes alturas como en distintos lugares del biorreactor.

La recirculación se realizó desde el tanque de recolección de lodos de manera controlada con la instalación del equipo ISCO 6712, mismo que permite medidas controladas con la programación del caudal en base al requerimiento del usuario. Instalada la totalidad de la planta piloto se estableció, un periodo de prueba de 2 días en el cual se evaluó condiciones externas y mediciones de parámetros de campo para valorar las condiciones de instalación.

Transcurridos los dos (2) días se verificó que las condiciones no eran las adecuadas ya que:

- La Planta se encontraba físicamente inestable debido a la cobertura vegetal, pese a que se buscó nivelar no se logró estabilizar totalmente

- Hubo gran cantidad de vectores y basura que impedían el flujo continuo de agua tanto por las mangueras de circulación de agua, así como también se produjo el taponamiento del motor.
- Se evidenció diferencias marcadas de temperatura por lo que interferían las condiciones de crecimiento de la bacteria y cantidad de reacciones químicas que pudieran existir.
- Al encontrarnos en estación lluviosa, las inclusiones de agua pluvial variaban el volumen requerido en las unidades operativas por lo que podrían traer problemas posteriores en el cálculo de tiempo de retención hidráulica, tiempo de retención celular, relación alimento y microorganismos, caudal de purga y recirculación.



Figura 15 Instalación de Planta Piloto junto al Sedimentador
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

3.3.3.2 Instalación de Planta Piloto en Laboratorio

Como siguiente alternativa se consideró la opción de instalar la Planta Piloto en el laboratorio de control de calidad diseñado para la PTAR Sistema Lloa- San José, para lo cual se procedió a dotar de todo lo necesario para su implementación realizando el siguiente procedimiento:

- Se colocaron dos mesas de plástico con medidas de 1, 10cm x 80cm para el biorreactor y de 0,50cm x 0,40 cm para el clarificador con el fin de mantenerlas fijas.
- Se instaló un tanque de plástico para el almacenamiento del agua residual con una capacidad de 25 Litros; mismo que dotará de agua residual de forma continua al proceso, con esto evitará las variaciones de cargas, temperatura, oxígeno disuelto y demás parámetros, simulando las condiciones de un tanque de homogenización.
- El en tanque de homogenización se instaló una llave de regulación de plástico, para el paso de caudal constante, para lo cual se utilizó un kit para suministro de suero, en este caso agua residual, aforado a un caudal volumétrico de 0,035 m³/día.
- Una vez alimentado de agua residual el tanque de homogenización, se visualizó la sedimentación de las partículas en el fondo del mismo y taponamiento recurrente de la válvula por lo que se colocó una bomba sumergible AQUA 45W marca EVANS, misma que únicamente movía la capa sedimentable y provocaba movimientos en la totalidad del tanque, evitando los problemas anteriormente mencionados.
- Para proveer de oxígeno se utilizó las mismas condiciones de la aireación utilizada en la parte externa del laboratorio (bomba de doble salida con difusor de burbuja fina).

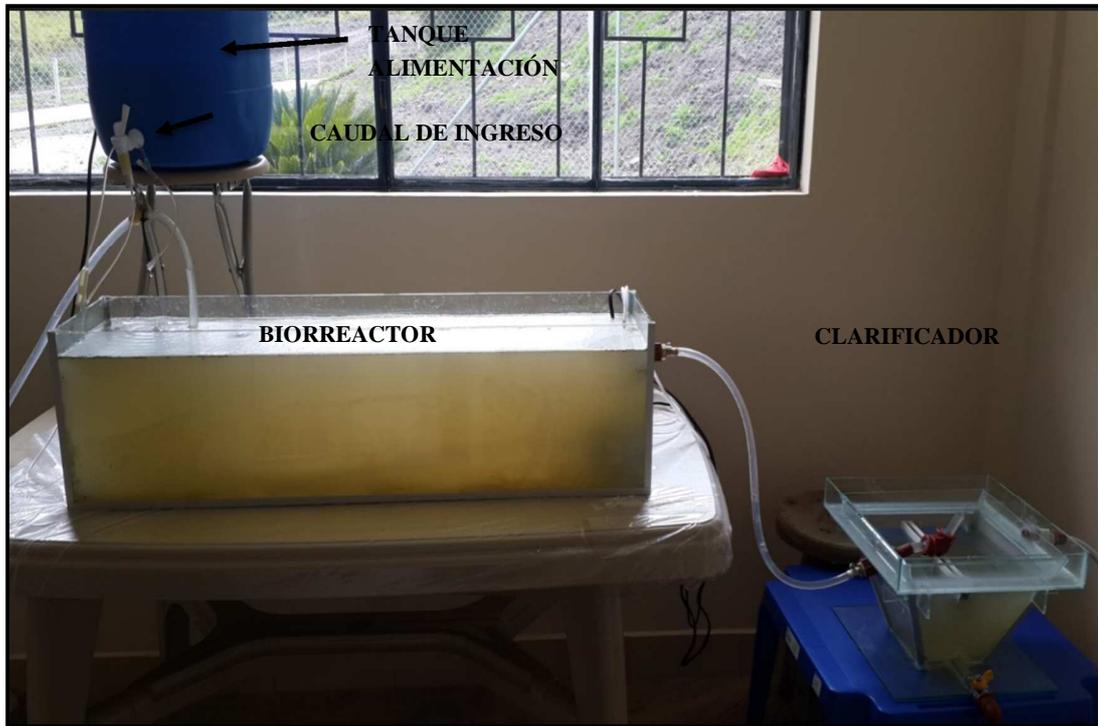


Figura 16 Instalación de Planta Piloto en dentro del Área de Laboratorios

Fuente: Mónica G Pérez (2017)



Figura 17 Clarificador Planta Piloto

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Realizada la instalación de la Planta Piloto en el laboratorio de control de calidad, se verificó que a diferencia de las condiciones externas el biorreactor ya no contaba con la presencia de vectores, diferencia de temperaturas (altas y bajas), no existía deterioro de las estructuras de la planta piloto, la estabilidad del terreno era ideal y la cercanía de las zonas eléctricas para la conexión de las bombas y el motor aireador.

3.3.3.3 Metodología de riesgo para evaluación en la instalación de Planta Piloto

Para la determinación del mejor escenario de instalación de la planta se tuvo en cuenta la evaluación de riesgos detectados que fueron explicados anteriormente, instalación de planta piloto en campo y en laboratorio. Para ello se tomó como referencia la evaluación de la metodología del Instituto Nacional de Seguridad Higiene del Trabajo (INSHT, 2011) de España, la cual es aprobada y avalada en el Ecuador.

Para la valoración y estimación del riesgo es necesario conocer que:

$$R = P * C$$

Donde:

R: riesgo

P: probabilidad de ocurrencia

C: consecuencias del daño

Consecuencia del daño

Tabla 13*Consecuencia del daño*

Consecuencia de Riesgos Asociados a la Naturaleza de Daño	
Ligeramente Dañino (1)	Molestias e irritación, por ejemplo: dolor de cabeza, malestar, irritación de los ojos por polvo. Cortes y magulladuras pequeñas
Dañino (3)	Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores. Golpes Sordera, dermatitis, asma, trastornos músculo-esqueléticos, enfermedad que conduce a una incapacidad menor.
Extremadamente Dañino (5)	Amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales. Cáncer y otras enfermedades crónicas que acorten severamente la vida.

Fuente: (INSHT, 2011)

Dentro de la guía establecida por el INSHT, se estima que la consecuencia del daño es “La materialización de un riesgo que puede generar consecuencias diferentes, cada una de ellas con su correspondiente probabilidad”, por ello se determina que las consecuencias esperadas presentan una probabilidad de ocurrencia alta, no obstante podemos encontrar el caso donde una probabilidad menor crea un riesgo mayor” (INSHT, 2011).

Tabla 14*Probabilidad de ocurrencia del daño*

Criterio de Valoración para la Probabilidad de Ocurrencia de un Daño	
Alta (5)	El daño ocurrirá siempre o casi siempre.
Media (3)	El daño ocurrirá en algunas ocasiones.
Baja (1)	El daño ocurrirá raras veces.

Fuente: (INSHT, 2011)

Cuando se tenga el escenario preparado para la valoración de probabilidad de ocurrencia del daño, se debe considerar los elementos siguientes:

- a) Periodicidad de exhibición al peligro.
- b) Operarios expuestos a determinados riesgos.
- c) Riesgos Eléctricos.
- d) Riesgos Biológicos.
- e) Presencia de vectores.
- f) Instalaciones y maquinarias defectuosas.
- g) Equipos de protección personal inadecuados.

El siguiente cuadro muestra un método simple para estimar los niveles de riesgo de acuerdo a su probabilidad estimada y a sus consecuencias esperadas.

Tabla 15*Evaluación del riesgo según INSHT*

		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino (1)	Dañino (3)	Extremadamente Dañino (5)
Probabilidad	Baja (1)	Riesgo Trivial (2)	Riesgo Tolerable (4)	Riesgo Moderado (6)
	Media	Riesgo Tolerable (4)	Riesgo Moderado (6)	Riesgo Importante (8)
	Alta (5)	Riesgo Moderado (6)	Riesgo Importante (8)	Riesgo Intolerable (10)

Fuente: (INSHT, 2011)

Teniendo en cuenta los niveles de riesgos de la tabla 15. Se procede a mejorar las condiciones requeridas del caso evaluado, así como tomar decisiones y elaborar planes de acción para prevenir el riesgo en cuestión.

Tabla 16*Valoración para cada riesgo según INSHT*

Riesgo	Acción y temporización
Trivial (T)	No se requiere acción específica
Tolerable (TO)	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
Moderado (M)	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer,

	con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante (I)	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Intolerable (IN)	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

Fuente: (INSHT, 2011)

3.3.3.4. Variación de escenarios

Una vez establecido el lugar idóneo de instalación y operación de la planta piloto se realizaron variaciones de escenarios que consistieron en adición de distintos tipos de unidades para determinar los parámetros óptimos de trabajo con el fin del arranque y estabilización adecuados de la planta piloto. Estos escenarios que se describen en la tabla 17

Tabla 17*Variación de escenarios*

Escenario	Variación
Escenario 1	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de alimentación (bomba sumergible) • Biorreactor (bomba de doble salida de oxígeno con difusores de burbuja fina) • Recirculación manual de lodos
Escenario 2	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de alimentación (bomba sumergible). • Difusores de aire con bomba sumergible • Adaptación de válvula Y, en el tanque de alimentación para caudal de ingreso y recirculación de lodos.
Escenario 3	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de alimentación (bomba sumergible) • Modificación de la bomba de dosificación de oxígeno disuelto • Agitador • Automatización recirculación de lodos

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ETAPA I. MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

4.1.1 Caracterización del afluente para diseño de PTAR sistema Lloa-San José

En el mes de agosto del 2017 se realizó la primera caracterización de las aguas residuales de ingreso (afluente) al proyecto de construcción de PTAR Sistema Lloa- San José. Considerando que el agua residual que se pretende tratar es de origen doméstico, se puede observar en la tabla 18 el incumplimiento de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Grasas y Aceites; y, Tensoactivos, no obstante, los parámetros de Sólidos Suspendidos Volátiles, Sólidos Totales y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se encuentran acorde a lo establecido en la norma de calidad de agua, para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce del libro VI, anexo I, tabla 9

Tabla 18*Primera caracterización afluente-efluente Sistema Lloa-San José*

Parámetro	Unidad	NORMA Anexo I, Tabla 9 TULSMA	Afluente	Cumplimiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	100	189,6	No Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		200	410,5	No Cumple
Grasas y Aceites	mg/l	30	47,6	No Cumple
Sólidos Suspendidos Volátiles		130	130	Cumple
Sólidos Totales	mg/l	1600	570	Cumple
Tensoactivos		0,5	9,64	No Cumple

Fuente: (TULSMA, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:Recurso Agua; Anexo 1, Tabla 9, 2015)

Dentro de las características de esta agua residual se evidencia que los parámetros más elevados son DBO₅, DQO y los Tensoactivos, observando que un, 89,6 mg/l y 310,5 mg/l de la DBO₅, DQO respectivamente estando por encima de los límites máximos permisibles que corresponde. Según estudios realizados por (Santambrosio, Ortega, & Garibaldi, 2015) demuestran que en la caracterización de afluentes de aguas residuales domésticas la demanda bioquímica de oxígeno expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza

conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua y por esta razón se necesita establecer procesos de reducción de la DBO₅.

Por otra parte (Ocampo & Pérez, 2013), mencionan que si se realiza una descarga de aguas residuales con un alto nivel de DBO, y el cuerpo receptor no es capaz de diluir este componente hasta alcanzar un nivel seguro, la cantidad de oxígeno disuelto reduce de tal manera que los peces y otros organismos mueren asfixiados, por ello es importante realizar un tratamiento previo a la descarga.

Con respecto a los tensoactivos, se evidencia que presenta un 9,14 mg/l por encima del cumplimiento legal de descarga, dentro del análisis de este parámetro se evidenció en el primer escenario la aparición de espuma en el biorreactor, por lo cual es un parámetro que puede estar relacionado con los elevados resultados de los tensoactivos como demuestra los análisis de laboratorio.

Por otra parte, analizando los tensoactivos, también llamados surfactantes o agentes de superficie activa, son iones que se hallan principalmente en los detergentes, jabones, productos para la limpieza y lavado de ropa, la principal razón para su predominio, es la excelente capacidad limpiadora en uso doméstico y en aplicaciones industriales (Albistegui, 2016). Debido a la problemática analizada no se debe dejar de lado los riesgos para el medioambiente de estos agentes, ya que, los productos de limpieza se vierten masivamente en las alcantarillas, cuando en algunas ocasiones no son biodegradables.

4.1.1.1 Potencial Hidrógeno (pH)

Conociendo que el pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno y que dado por su naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa puede afectar los usos específicos del agua, se hace necesaria una caracterización del mismo para determinar el comportamiento de este parámetro en el arranque del biorreactor. (Ver figura 18)

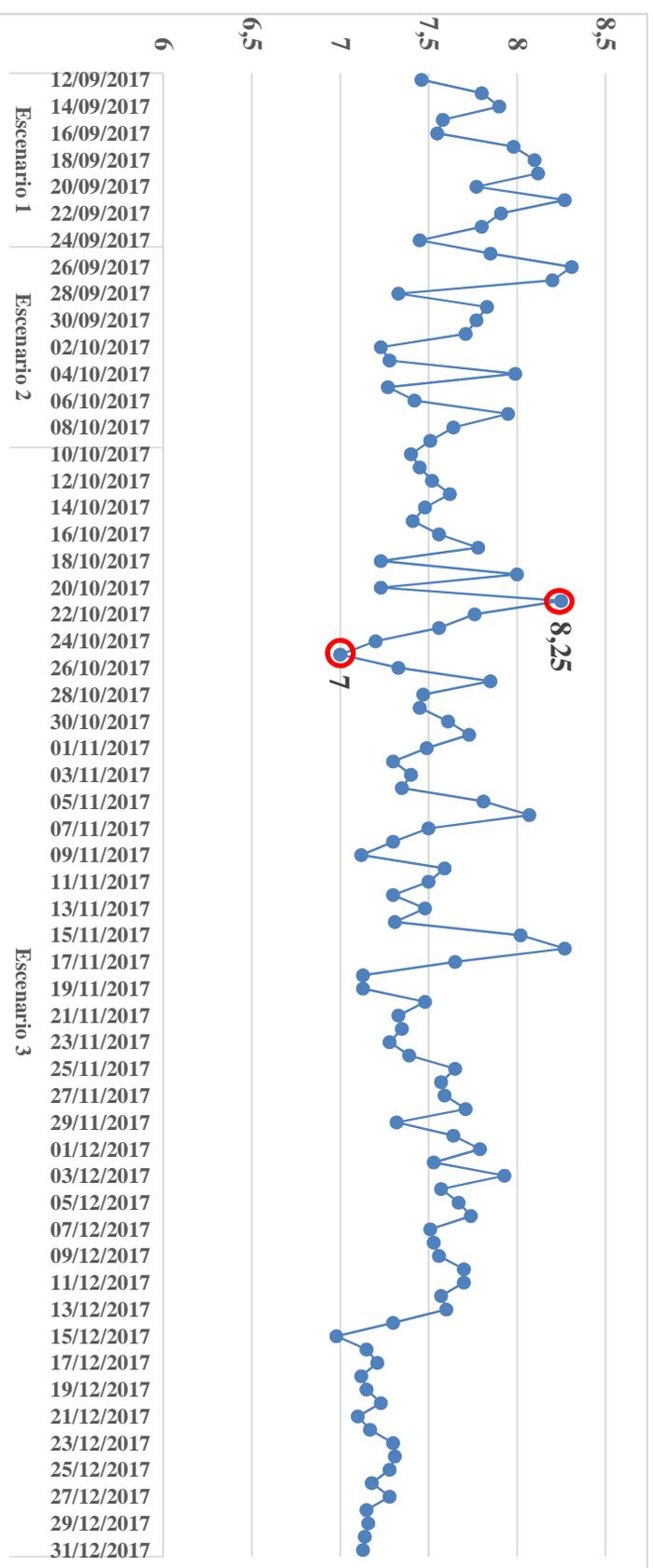


Figura 18 Comportamiento del pH en el arranque

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Como se demuestra en la figura 18, el comportamiento del pH varía en las mediciones realizadas diariamente por cuatro meses, observando que disminuye considerablemente del 14 al 17 de noviembre de 8,2 a 7, sin embargo en la mayor parte del tiempo evaluado tiene un comportamiento entre 7,4 y 8,2. Por los valores representados el pH se mantiene dentro de los parámetros de límites establecidos para la descarga del agua residual hacia un cuerpo receptor de agua dulce según el anexo I del Libro IV tabla 9, el cual oscila entre 6-9 respectivamente.

No obstante autores como (Barragán, 2017) describe la importancia del pH en la función principal de un biorreactor, dentro de sus investigaciones analiza al pH como uno de los componentes importantes del agua. Las aguas grises poseen un pH de 6,6, mientras que el pH presente en la orina humana es de 6,1. Es por esta razón, que se ha seleccionado un valor intermedio de pH en aguas residuales domésticas, siendo este de 6,4.

4.1.1.2 Oxígeno Disuelto (OD)

Como se observa en la figura 19, el comportamiento del oxígeno disuelto (OD) durante el arranque del biorreactor presenta valores muy bajos que oscilan entre 0,23-0,43 mg/l, un problema que puede afectar considerablemente la vida de los microorganismos presentes en el agua residual, y remoción de DBO₅, además puede estar relacionado con altas temperaturas. En el segundo escenario incrementa considerablemente y llega a tener valores de 7,47 mg/l, esto conlleva a un exceso de oxígeno lo cual produce una saturación del agua residual provocando una muerte de bacterias en el biorreactor, con correcciones realizadas en el escenario tres se estabilizan los niveles

de oxígeno disuelto como lo establece la figura antes mencionada, manteniéndose alrededor de los 2mg/l, parámetro establecido por las normas según (Packard, et al. 1969).

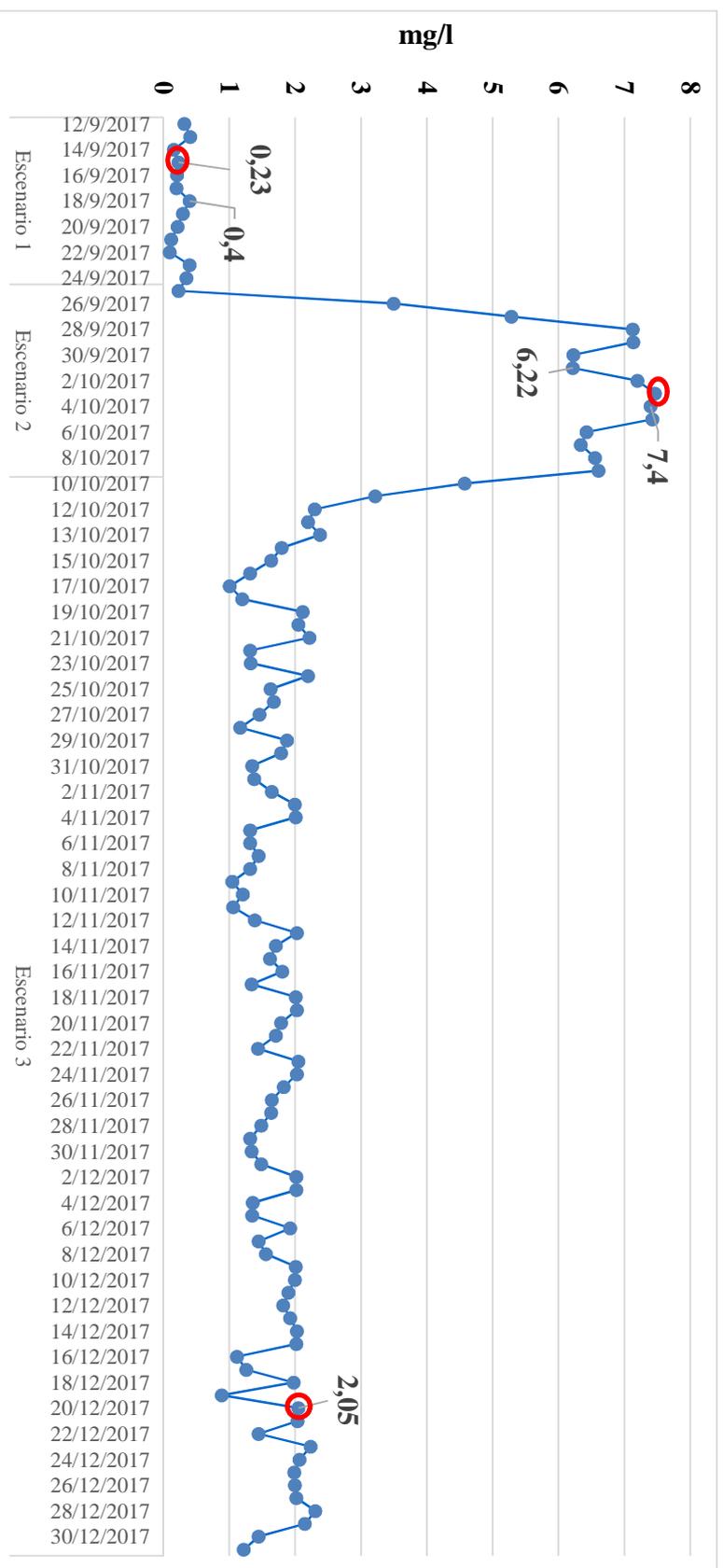


Figura 19 Comportamiento de oxígeno disuelto en el arranque
 Fuente: Mónica G Pérez (2017).

Según refiere (Glynn & Heinke, 2010) el oxígeno es un elemento fundamental en las aguas residuales domésticas, ya que forma parte del proceso de biodegradación de la materia orgánica, encontrándose en una escala de 1,6- 2,5 mg/l, teniendo en cuenta la procedencia del agua doméstica residual a tratar. Sin embargo (Astudillo & Rikeros, 2015) corroboran que el oxígeno disuelto debe encontrarse en un rango de 1,75- 2mg/l, ya que es importante en el tratamiento biológico del agua residual siendo el elemento necesario para que los microorganismos puedan mantener el proceso de degradación de la materia orgánica.

4.1.1.3 Temperatura (T°)

Cuando analizamos aguas residuales es importante destacar que dentro de las características físicas encontramos la temperatura. Por lo tanto, si interpretamos la figura 20 podemos observar que este parámetro es relativamente alto en el primer escenario con temperaturas de 17,9°C a 21,4°C, por lo que contribuye a la falta de solubilidad de oxígeno disuelto. En el segundo escenario de operación alcanza un pico máximo y único de 22,4°C, pero llega a un proceso de estabilización, y finalmente en el tercer escenario llega a un equilibrio fluctuando temperaturas entre 13,3°C y 17°C, en concordancia con (Charpentier, 2014), quien describe que las aguas residuales domésticas en un proceso de tratamiento biológico, poseen temperaturas mayores a las de consumo que oscilan entre 10°C a 22°C, con un valor promedio de 16°C, debido a la aportación de agua caliente procedente del aseo y tareas domésticas.

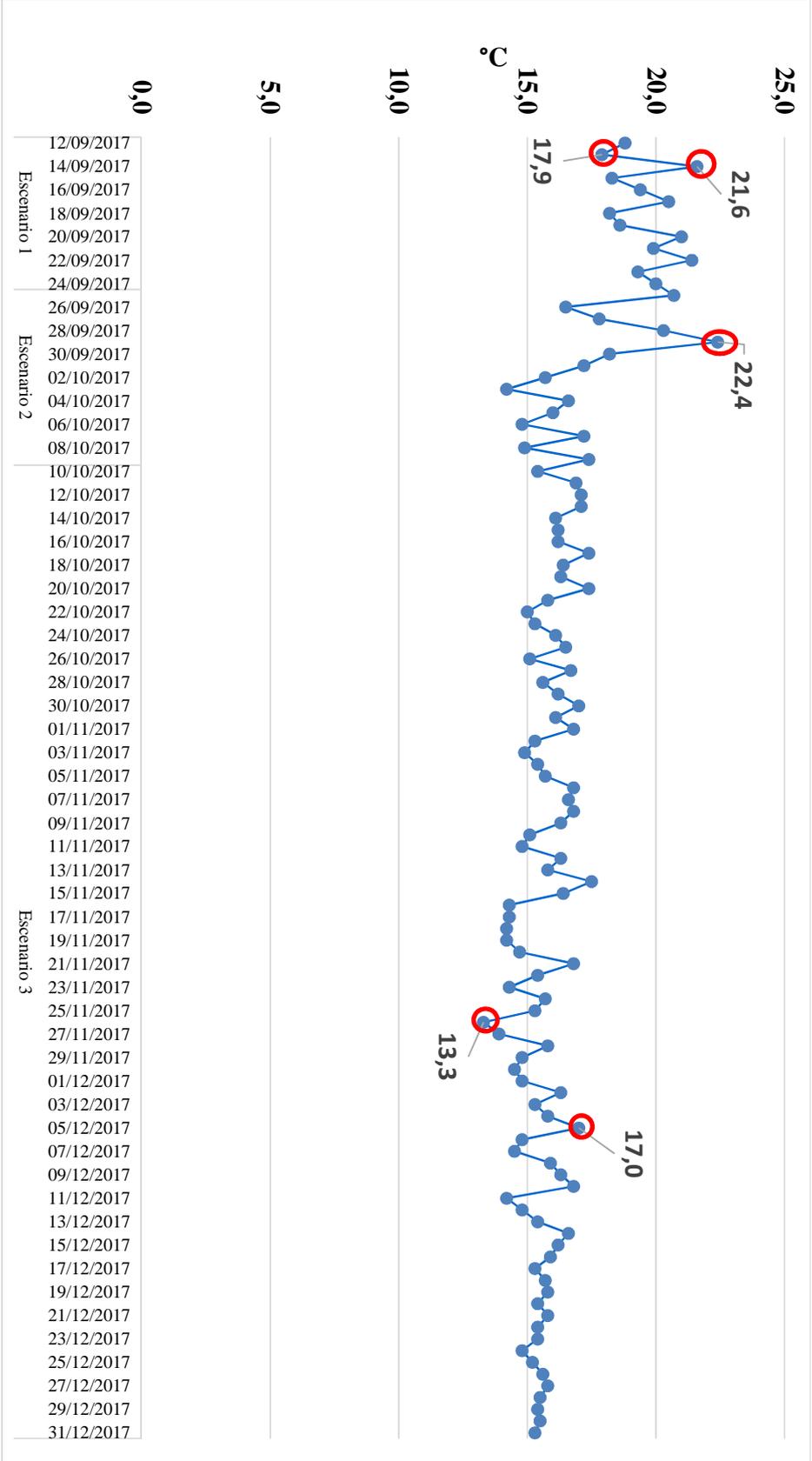


Figura 20 Comportamiento de la temperatura en el arranque
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

La Temperatura es un parámetro de estable observación en las aguas residuales a los impactos que puede ocasionar al medio ambiente, (Castro, 1998), un exceso de la temperatura reduce de manera considerable la concentración de saturación del oxígeno en el agua residual, de esta manera afecta considerablemente la vida acuática del medio a analizar. El agua caliente no retiene la suficiente cantidad de oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajan, especialmente cerca de la superficie. La temperatura según (Cerezo, 2011), también puede acelerar la descomposición de materia orgánica, disminuyendo la solubilidad del oxígeno y de otros gases que se encuentran en el agua residual, en resumen, la temperatura puede modificar la concentración de saturación del oxígeno disuelto, la velocidad de las reacciones químicas que se producen y la disminución de actividad bacterial.

4.1.1.4 Turbidez

Este parámetro físico permite determinar la calidad del agua vertida en relación con la materia coloidal y en suspensión. En la figura 21 se analiza el comportamiento de la turbiedad en el arranque del biorreactor, donde ésta es considerada como uno de los parámetros principales a controlar en las aguas residuales que se encuentran con una gran variación en el período evaluado, constituyendo en el primer inicio con 110 NTU disminuyendo hasta un 9,5 NTU debido al proceso de estabilización de la planta, en el segundo escenario oscila entre 13,7 NTU a 48,5 NTU, sin embargo en el tercer escenario se puede apreciar el incremento de 39,5 a 328,4 NTU, trayendo como consecuencia altos niveles de sólidos disueltos totales por lo que, en el tratamiento secundario del agua residual se debe considerar otra unidad operativa con un clarificador.

Pese a que el estudio se centra en la estabilización del biorreactor, se consideraron mediciones en el clarificador, ya que es unidad operativa importante por lo en los 4 meses se realizó el análisis de turbidez, obteniendo un promedio de 46,64 NTU, y en el efluente de 12,5 NTU lo que evidencia que este proceso ayuda a la eliminación de la materia coloidal y sólidos en suspensión cumpliendo con lo establecido en tratamiento de lodos activados debe tener una turbidez ≤ 15 NTU para comprobar que el tratamiento ha sido eficiente. Por lo que, además se deberá considerar una fase terciaria como una desinfección a la salida del efluente hacia el cuerpo receptor, a fin de mantener una mayor calidad del agua residual tratada.

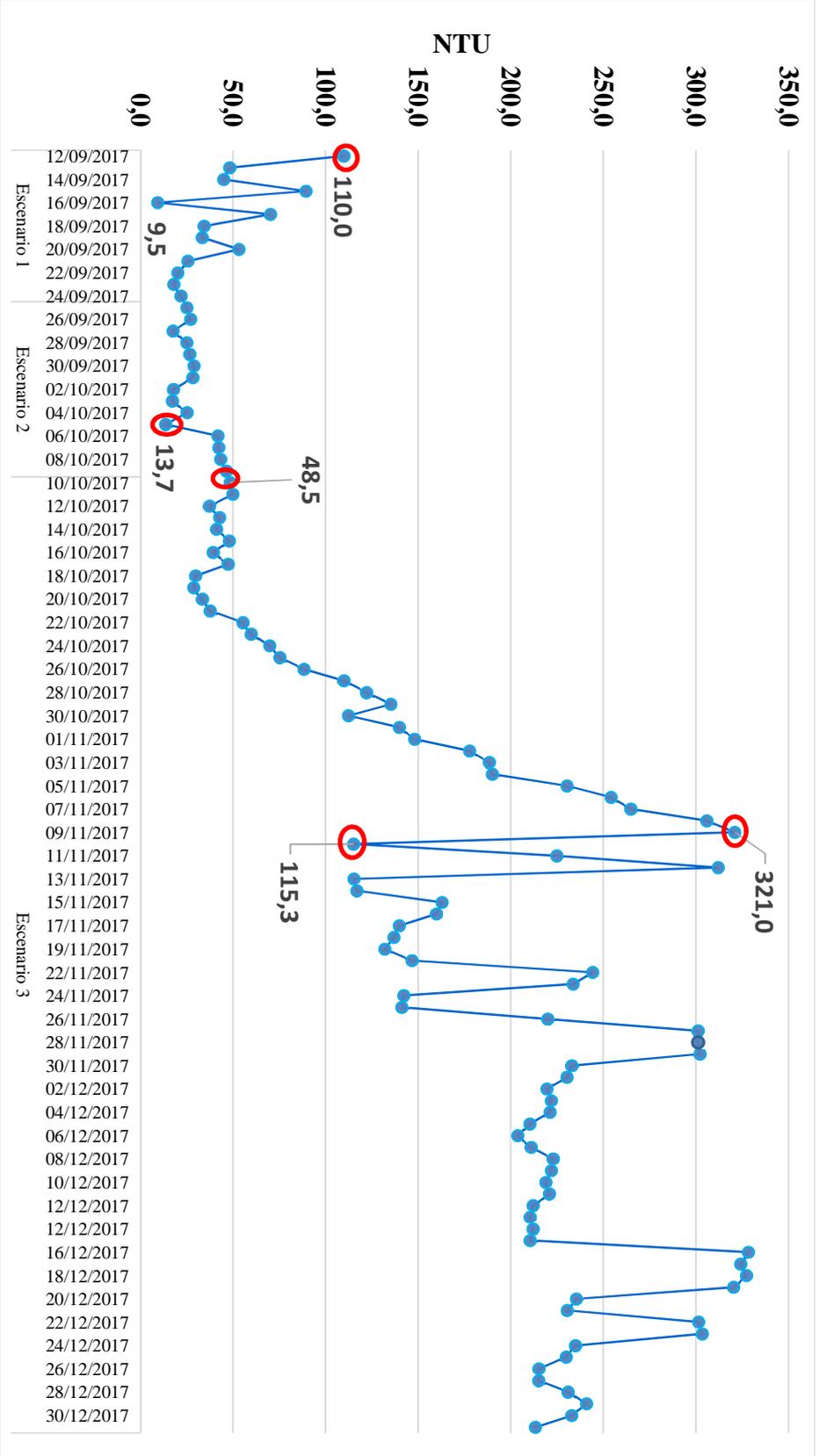


Figura 21 Comportamiento de la turbidez en el arranque del biorreactor
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Estudios realizados por (Metcalf & Eddy, 1996) describen la necesidad de medir la turbidez en el proceso de tratamiento para verificar que los valores estén dentro de las normas reguladoras, ya que permiten determinar la calidad del agua residual en relación con la materia coloidal y sólidos en suspensión que se puedan encontrar.

Si la turbidez del agua es relativamente alta, (Espinoza, et.al, 2014), tendrá diversas partículas suspendidas en ella, una vez descargado este efluente al cuerpo receptor, estas partículas sólidas bloquearán la luz solar e impedirán que las plantas acuáticas consigan la luz solar que requieren para la fotosíntesis. Esto provocaría que las plantas no puedan producir el oxígeno necesario disminuyendo los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). (Santambrosio, Ortega, & Garibaldi, 2015), interfiere en la temperatura del agua residual ya que partículas suspendidas en el agua residual absorben calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente.

4.1.1.5 Sólidos Sedimentables (Ssed)

En la figura 22 se analiza los sólidos sedimentables en el arranque del biorreactor y clarificador, en el primer escenario tiene un valor de 0 ml/l, debido a que no se tenían las condiciones óptimas de operación. En el segundo y tercer escenario, existe un aumento de los sólidos sedimentables llegando a valores en el biorreactor de 72ml/l y en el clarificador de 238ml/l, parámetro que es comparando con el Índice volumétrico de lodos, según (Mata, 2010) ya que puede tomarse en cuenta como variable de medición importante para estimar las características de sedimentación del lodo.

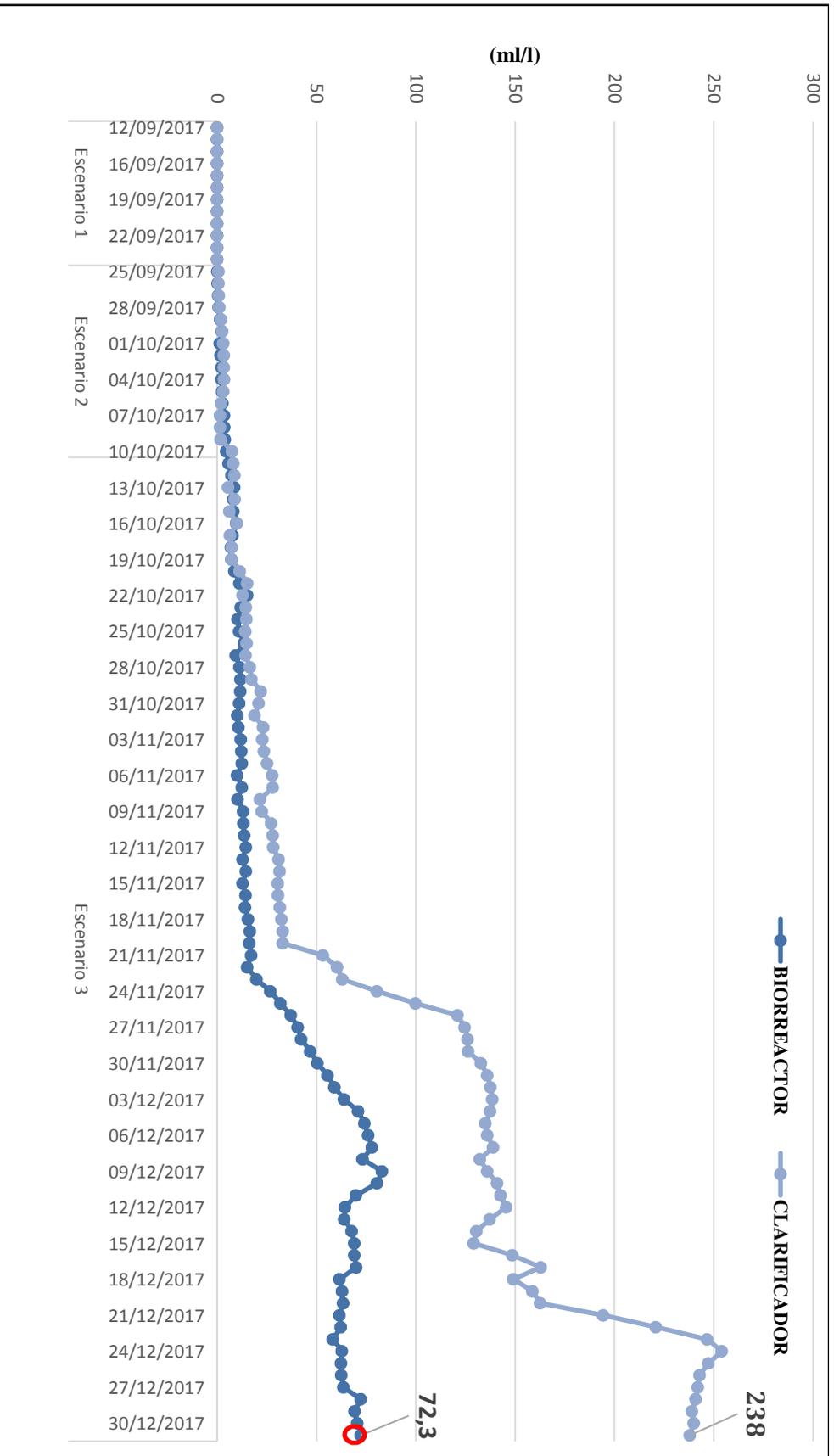


Figura 22 Comportamiento de los Sólidos Sedimentables (SSed) el arranque
 Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Según (Mara, 1985), la función de la sedimentación en un proceso de lodos activados con aireación extendida es la eliminación o disminución de la contaminación orgánica que se puede encontrar en el agua residual, destacando la relación que se tiene entre el índice volumétrico de lodos y los sólidos sedimentables ya que ambos parámetros dependen del tiempo de sedimentación. Sin embargo (Seoanez, 2001) expresa la relación F/M como uno de los elementos fundamentales para la sedimentación, explica que para que un lodo presente condiciones óptimas de sedimentación debe tener un IVL bajo, para obtener una mayor relación F/M.

4.2 ETAPA II DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

Para el diseño de la Planta Piloto se tuvo en cuenta como elemento fundamental y prioritario los parámetros de caracterización de las aguas residuales referidas en la tabla 19, una vez obtenido los datos referidos se procedió al diseño de la planta piloto analizando con unidades de operación fundamental el biorreactor y clarificador, para de esta manera establecer en el capítulo V el diseño general la PTAR Sistema Lloa-San José, cumpliendo con las siguientes dimensiones:

4.2.1 Cálculo de parámetros de diseño del Biorreactor y Clarificador de la Planta Piloto

Para el cálculo del biorreactor y clarificador se emplearon las siguientes fórmulas:

Tabla 19*Parámetros de diseño del Biorreactor y Clarificador planta piloto*

	Volumen Biorreactor = 0,95 m × 0,22 m
Ecuación 1. Volumen Biorreactor	× 0,17m
	Volumen Biorreactor = 0,035 m ³
	Caudal de Ingreso = $\frac{0035 \text{ m}^3}{24h}$
Ecuación 2. Caudal de Ingreso	Caudal de Ingreso =0,00146 m ³ /h
	Caudal de Ingreso =0,035 m ³ /d
	Volumen Clarificador: (0, 035 m ³ /d * 5
Ecuación 3. Volumen Clarificador	horas) /24 horas
	Volumen Clarificador: 0,0072 m ³
	Altura de agua: $3 \times \left(\frac{0,035 \text{ m}^3}{3,14}\right) \times (0,29^2 + 0,13^2$
Ecuación 4. Dimensión del Clarificador	+ 0,29 × 0,13).
	Altura de agua: 0,007 m ³

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Como se puede observar en la tabla anterior se describen los cálculos de los diferentes parámetros de diseño para la planta piloto, se encuentra el caudal del clarificador porque el biorreactor se complementa con un clarificador, el mismo que separa el lodo del licor mezcla, las dimensiones se establecieron acorde al biorreactor. Ver anexo 4.

4.2.2 Evaluación de metodología para instalación de planta piloto

En la metodología utilizada se identificó que la primera opción de instalación de la planta piloto a campo no fue factible porque existieron tres problemas fundamentales como: presencia de vectores, instalaciones eléctricas defectuosas y exceso de basura en los exteriores de la construcción de la planta. Como se analiza en la tabla 20, la probabilidad de ocurrencia de peligro por las consecuencias de un daño no solo a los operarios sino en sentido general al medio ambiente, trae consigo riesgos importantes, específicamente en la instalación en campo, por ello es más recomendable instalar la planta piloto en el laboratorio donde no se tiene definido riesgos con esta magnitud.

Tabla 20

Metodología de evaluación de riesgo

Riesgos Detectados	Instalación en Campo		
	Probabilidad	Consecuencia	Evaluación del Riesgo
Presencia de Vectores	Alta (5) , El daño ocurrirá siempre o casi siempre.	Dañino (5) Afectaciones importantes	Importante (I) No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo.
Riesgos Eléctricos			
Presencia de basura			
Instalación en Laboratorio			
Riesgos para evaluar Instalación	Probabilidad	Consecuencia	Evaluación del Riesgo
Presencia de Vectores	Baja (1) El daño ocurrirá raras veces.	Ligeramente Dañino (1) No se evidenciarán afectaciones importantes	Trivial (T) No se requiere acción específica
Riesgos Eléctricos			
Presencia de basura			

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Según (Argudo, 2017), describe que la Royal Society en 1992 definió como riesgo la combinación de la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de un peligro determinado con la magnitud de las consecuencias de tal ocurrencia. A raíz de esto en sus evaluaciones el investigador antes mencionado, determina los riesgos ambientales en el diseño de instalaciones que pudieran ocasionar pérdidas ambientales, humanas y socio-económicas.

Cuando se trabaja la gestión del riesgo en el diseño o construcción de cualquier tipo de instalación, (CELEC, 2016) se debe tener un diagnóstico de la situación o de los diferentes escenarios donde será construido el proyecto. Para la construcción y operación de cualquier tipo de proyecto, se debe tomar en cuenta las fuentes de ruido, de radiación electromagnética, el estado de los suelos, gestión de residuos, vertidos y emisiones, gestión de instalaciones y actividades desarrolladas, a raíz de esto se determina las diferentes situaciones que traen consigo afectaciones al personal y al ambiente y que pueden considerarse indicadores de gestión para ayudar a jefes de proyectos en la mejor decisión para la ejecución del proyecto en general.

4.2.2.1 Primer Escenario de Operación

Una vez instalada la planta piloto, se procedió a efectuar las siguientes actividades:

- El tanque de homogenización, se alimentó de agua residual de forma frecuente (todos los días en la mañana) para dotar al biorreactor de carga orgánica en la totalidad del día; además se realizaron inspecciones rutinarias al tanque, para evitar que este se quede sin agua y por ende se produzca el daño de la bomba al absorber aire.

- El caudal de ingreso fue de 35 l/d (según diseño), mismo que se regulo para la entrada desde el tanque de alimentación hacía el biorreactor, utilizando el método volumétrico, que consiste en mediciones continuas en función de un volumen conocido (recipiente) y un tiempo de llenado del recipiente medido con un cronómetro, la fórmula empleada fue la siguiente:

$$Q = \frac{V}{t}$$

- Para el cálculo del caudal volumétrico se utilizó una probeta de 50 ml y se colocó bajo la aguja de goteo instalada en el tanque de alimentación, y con la ayuda de un cronómetro se tomó el tiempo de cuánto se tarda en llenar 11,3 ml medidos durante 5 tiempos y se obtuvieron los siguientes valores:

Tiempo 1: 28 segundos

Tiempo 2: 29 segundos

Tiempo 3: 30 segundos

Tiempo 4: 27 segundos

Tiempo 5: 26 segundos

- Obtenidos los valores se calculó un promedio de los 5 tiempos y como resultado se obtuvo un valor de 28 segundos.

- Se realizó una conversión de los mililitros a litros referente al volumen de 11,33 ml que se muestra a continuación:

$$1000 \text{ ml} \longrightarrow 1 \text{ litro}$$

$$11,5 \text{ ml} \longrightarrow X$$

$$X = 0,0113 \text{ litros}$$

- Una vez obtenidos los valores promedio de los tiempos y en litros se procedió a aplicar la fórmula para cálculo de caudal volumétrico:

$$Q = \frac{V \text{ (Litros)}}{T \text{ (segundos)}}$$

$$Q = \frac{0,0115 \text{ Litros}}{28 \text{ segundos}}$$

$$Q = 4,1 \text{ l/s} * 86400 \text{ s/día}$$

$$Q = 35 \text{ l/d, valor obtenido en el diseño de la planta para ingreso afluente.}$$

- Dentro del análisis de este escenario se pudo constatar partículas sedimentables o sólidos que interfirieran con el correcto funcionamiento de la válvula de ingreso del tanque de homogenización, se programó limpiezas diarias tanto de la válvula como de la manguera, empleando agua a presión y de esta manera se evitó la adherencia a los materiales constituyentes.
- En el tanque biorreactor se planificó la medición horaria de los parámetros de campo (pH, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Turbidez y Sólidos Sedimentables), para evaluar

si el proceso biológico se encuentra con condiciones de mezcla completa o con puntos muertos que pudiesen reducir la eficiencia del tratamiento.

- La medición de los parámetros se lo realizó con el equipo multiparamétrico HQ40d, mismo que cuenta con 3 sondas de medición principales (pH, conductividad y OD) y posee mediciones y calibraciones amigables con el usuario; al contar con mediciones continuas y en gran número, se realizó un cronograma de calibraciones y mantenimientos preventivos a las sondas utilizadas, conservando la precisión y vida útil del equipo. Cronograma de registro de parámetros diarios en campo de biorreactor y clarificador, Anexo 1.
- Se realizó el ajuste en la válvula de retorno de lodos al 100% del total de volumen de agua tratada, para aumentar el tiempo de retención celular en el sistema y mejorar las condiciones de formación de la biomasa.
- Se efectuó el mantenimiento continuo de las unidades operativas, ya que al encontrarnos con el arranque operacional y consecuente formación de bacterias se generaba espuma y biopelícula en la altura de agua que daba apariencia visual extraña al afluyente, mas no interferencia en el sistema.
- Se instaló un sistema de aireación mediante una bomba de doble salida, la misma que fue adaptada con un difusor de burbuja fina para la disolución del oxígeno en el agua, los cuales fueron ubicados en la parte superior del biorreactor, con una profundidad de 10 cm, y a los extremos, para lograr un esparcimiento continuo e igual de difusión de oxígeno.

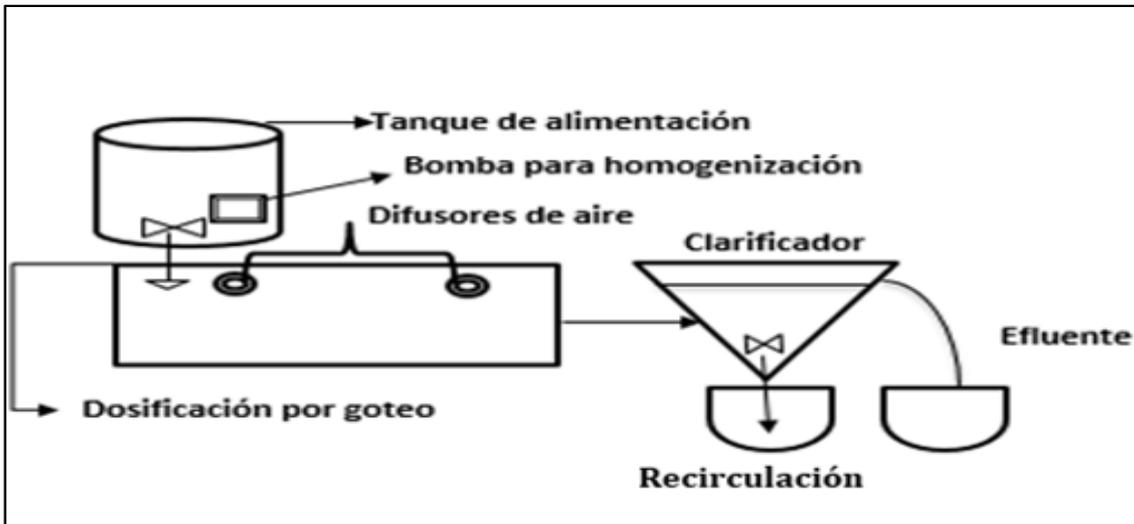


Figura 23 Condiciones Primer Escenario
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

4.2.2.1.1 Análisis de problemas operacionales en el primer escenario

Posterior a la realización de las actividades mencionadas en el período del 12 al 24 de septiembre del 2017, se evaluaron los problemas operacionales presentes en este escenario los cuales fueron:

- En el primer día de funcionamiento de la planta dentro del laboratorio se pudo observar que se formó espuma blanca en el biorreactor (figura 24).



Figura 24 Arranque del Biorreactor formación de espuma
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

- Posterior a la medición de parámetros de campo se pudo notar la diferencia de oxígeno disuelto que presenta el biorreactor al medirlo con el equipo en diferentes estratos del mismo (ubicación de las sondas de medición en diferentes alturas y posiciones), por lo que se determinó que en este caso estamos obteniendo condiciones de mezcla incompleta del biorreactor (zonas muertas) y como consecuencia mala formación de biomasa, baja remoción, baja eficiencia y fermentación.
- De forma visual se pudo notar que el aire inyectado en el agua se da en lugares específicos y no es repartido en la totalidad el biorreactor, corroborando esta teoría al medir el Oxígeno Disuelto (OD), en el lugar de difusión y en los demás puntos, por lo que es necesario equipamiento adicional para distribuirlo de mejor manera y tener un oxígeno disuelto homogéneo en toda la unidad operativa.
- En la realización de la prueba de sólidos sedimentables en el cono Imhoff, se obtuvo en todo el periodo 0 ml/l como resultado general, a pesar de encontrarnos con presencia de sólidos en el fondo del biorreactor, por lo que se determinó que con el equipo adicional a implementarse se debe obtener el levantamiento completo de los lodos del fondo, formación de biomasa en todo el volumen del tanque, evitando la sedimentación por peso y la diferencia de oxígeno disuelto, al producirse una mejor mezcla en el reactor.
- Se observó que con los problemas mencionados anteriormente todos los sólidos no estaban pasando hacia el clarificador por la baja impulsión de los difusores y mezcla incompleta en el biorreactor, por lo cual únicamente estaba pasando agua (sin lodo a sedimentarse) al clarificador, haciendo que el retorno de lodos no sea necesario y la inclusión y aumento de bacterias en el proceso sea nulo.

Posterior a los hechos mencionados se elaboró registros de falencias en el arranque operacional para encontrar las posibles soluciones y poder subsanarlos de manera total; para lo cual, se establecieron actividades de mejora a la planta piloto, las mismas que serán descritas en el escenario 2.

4.2.2.2 Segundo Escenario de Operación

Analizada la problemática del primer escenario se procedió a un segundo escenario de operación y se plantearon las siguientes soluciones:

- Los problemas de dosificación de oxígeno disuelto se verán solucionados al incluir en el proceso biológico una bomba sumergible en conjunto con los difusores de oxígeno, lo que dará una mezcla a alta velocidad en la totalidad de la unidad operativa y producirá homogenización completa del tanque biorreactor.
- Se manifestó de forma general que la deficiencia de oxígeno disuelto mencionado anteriormente, está interfiriendo en la totalidad del proceso operativo, no únicamente en la unidad operativa de inclusión de Oxígeno Disuelto (OD), razón por la cual se produce estancamiento por la sedimentación en el biorreactor biológico y la inexistencia de sólidos sedimentables (SS) en el clarificador, por lo que al mejorar este hecho se generará un mejor hábitat para el crecimiento exponencial de las bacterias y levantamiento del licor mezcla.
- Con la generación de condiciones óptimas, se evaluó de forma frecuente el crecimiento de bacterias en el sistema, a través del ensayo de sólidos sedimentables en campo (formación de lodo) y de igual manera en base a los análisis de laboratorio (sólidos volátiles, sólidos

suspendidos y sólidos totales), para de esta forma corroborar la presencia de colonias bacterianas en el biorreactor y en el fondo del clarificador.

Una vez planteados los inconvenientes se procedió a realizar las mejoras con las siguientes actividades:

- En el tanque de homogenización continuará trabajando la bomba sumergible AQUA 30W marca EVANS tal y como se encontraba en el primer escenario, para evitar la sedimentación de las partículas presentes en aguas residuales afluyente, taponamiento de la válvula de ingreso y puntos muertos generadores de condiciones anaerobias en el sistema.
- Se realizó una recirculación del 100% del caudal de proceso, con la finalidad de modificar el tiempo de retención celular, lo que permite obtener mayor relación alimento microorganismo, produciendo mayor cantidad de materia orgánica en el biorreactor, dotando a las bacterias de suficiente alimento para su crecimiento exponencial, y consecuente tiempo de contacto acorde a la degradación de la materia orgánica.
- El equipo de alimentación de caudal al biorreactor fue modificado, para lo cual se realizó una adaptación en la válvula de ingreso formando una T; en el lado izquierdo se colocó una aguja de goteo aforada ($0,070 \text{ m}^3/\text{l}$) y en el lado derecho se adaptó una manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada por donde será direccionada el agua residual hacía un balde de retorno del agua residual, en el cual se instaló una bomba sumergible de recirculación donde estará conectada una manguera hacia el tanque de homogenización.
- Se colocó una bomba sumergible en conjunto con el difusor de oxígeno, el cual fue instalado de la siguiente forma: en el seccionamiento de ingreso de la bomba para movilización del agua se instaló el difusor de oxígeno, para obtener la absorción de las

partículas de oxígeno por la hélice y la mezcla e impulsión del burbujeo en conjunto con el agua en la totalidad del biorreactor para evitar la sedimentación de sólidos generados, mezcla incompleta y aumento de oxígeno disuelto.

- Se continuó con las recargas de agua cruda en el tanque de homogenización para continuar con la alimentación de materia orgánica al sistema biológico y simular un proceso normal de inclusión de nuevas descargas afluentes al sistema.
- En la mesa que se encontraba el clarificador se colocó un soporte, el cual modifica la altura presente entre las dos unidades operativas (biorreactor y clarificador) logrando obtener una velocidad diferente de traspaso de agua y proceso únicamente de traslado de agua por vasos comunicantes con el fin de que se encuentren con una mínima diferencia de altura respecto al biorreactor.
- El agua tratada procedente del vertedero del clarificador (efluente) se recolectó en una probeta para realizar los primeros análisis de laboratorio y posteriormente evaluar la remoción y eficiencias de la planta (Ver anexo 8).
- En la figura 25 se describen los equipos adicionados en el segundo escenario con el objetivo de mejorar las condiciones de la planta piloto:
 1. Manguera de recirculación
 2. Bomba de recirculación.
 3. Manguera para recirculación.
 4. Bomba sumergible para agitación
 5. Aguja de goteo
 6. Manguera para el excedente del agua residual.

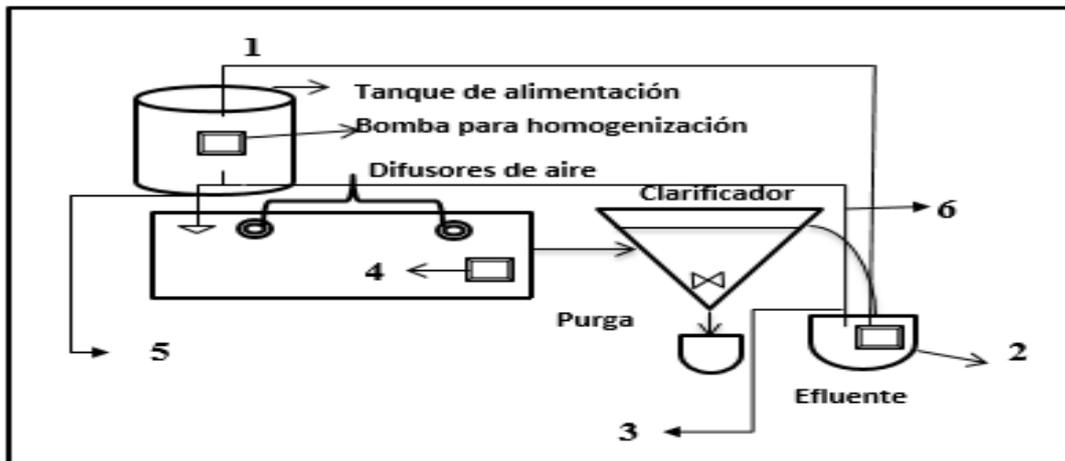


Figura 25 Condiciones segundo escenario
Fuente: Mónica G Pérez (2017)



Figura 26 Segundo Escenario de Operación Planta Piloto
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

4.2.2.2.1 Análisis de problemas operacionales en el segundo escenario

Analizando el segundo escenario se encontraron las siguientes problemáticas:

La bomba sumergible instalada conjuntamente con el difusor de oxígeno en el biorreactor como se describió en el anterior escenario, ocasionó varios inconvenientes como son:

- Oxígeno disuelto fluctuante y demasiado elevado debido a la presión ejercida por la bomba y el difusor en conjunto.
- No se evidencia presencia de sólidos sedimentables en el proceso en base a la prueba de sedimentación con el cono Imhoff.
- La cantidad de flocs bacterianos que se generan en el biorreactor se rompen debido a la elevada presión y velocidad ejercida por la parte electromecánica del sistema.

Otro de los inconvenientes que se visualizó en el segundo escenario fue que el seccionamiento de recirculación de lodos, el balde de almacenamiento que redireccionaba el excedente de tanque de alimentación tendía a derramarse en las horas de la noche y madrugada cuando se encontraba sin operación continua y vigilancia.

4.2.2.3 Tercer Escenario de Operación

Se decidió tener en cuenta un tercer escenario de operación donde se consideraron las dificultades generadas en el segundo escenario para proceder a subsanarlas con el objetivo de tener mejoras eficientes en el tratamiento de las aguas residuales del sistema Lloa-San José. Una vez analizada la problemática del segundo escenario se procedió a realizar las siguientes reformas en la planta piloto

- Para disminuir los niveles de oxígeno disuelto en el biorreactor se utilizará únicamente una salida de los difusores de los dos disponibles en el motor, e igualmente a la única salida se le acoplo una “Y” para desviar el oxígeno excedente del motor, con la finalidad de obtener un rango más estable de condiciones aerobias y burbujeo fino en el sistema.
- En el biorreactor con el objetivo de realizar un proceso de mezcla completa se creyó pertinente la implementación de un agitador que homogenice el agua residual contenida en el biorreactor, por lo que se adicionó el mismo el cual posee: adaptador universal y variador de velocidad.
- El agitador antes mencionado fue ubicado en el centro del biorreactor, figura 26 y velocidad media establecida, con el objeto de evitar la sedimentación en el biorreactor (mezcla completa) y por otra parte no realizar movimientos muy bruscos que puedan romper los flocs bacterianos en formación e interferir con el aumento de oxígeno disuelto.

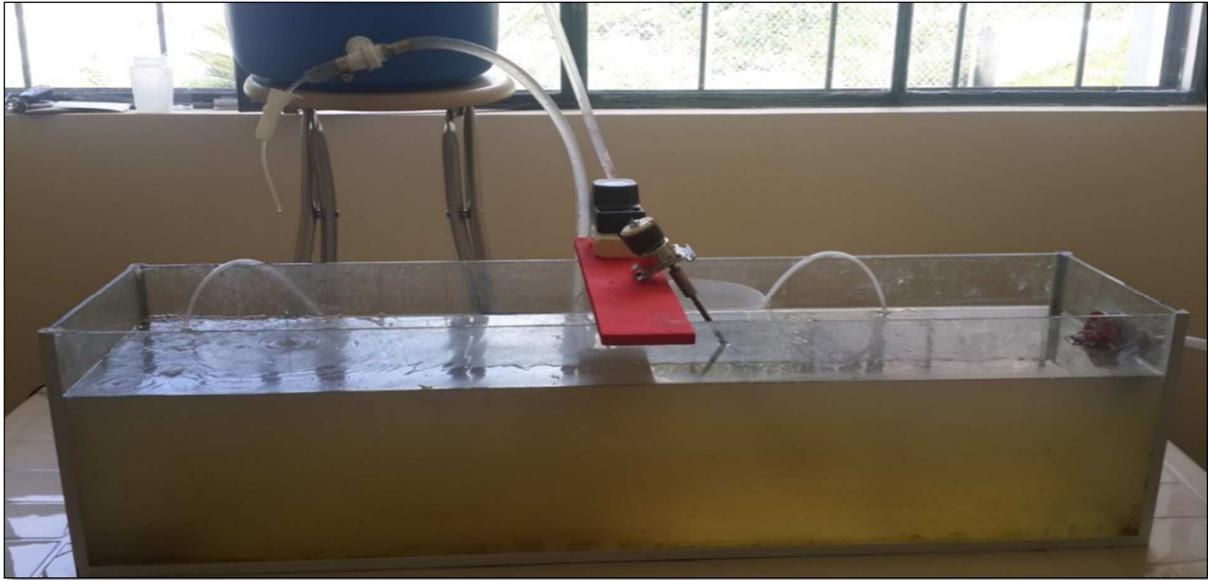


Figura 27 Agitador para biorreactor
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Para evitar el derrame en el balde de recirculación se buscó automatizar el proceso, para lo cual se utilizó un flotador el cual encendía y apagaba la bomba en base a alturas definidas, el cual permitía que la bomba presente nunca trabaje en vacío, no deje el balde desbordar y se produzca una recirculación automática las 24 horas de trabajo de la futura PTAR.



Figura 28 Instalación de flotador en balde para recirculación
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

- El tanque de alimentación permaneció con las mismas condiciones del primer y segundo escenario es decir con la bomba sumergible para evitar la sedimentación y taponamiento en el equipo de goteo para ingreso de caudal.
- El caudal de ingreso se mantuvo, en las mismas condiciones que el escenario uno de 0,035 l/d para de esta manera tener régimen constante tanto en el afluente del biorreactor como de la recirculación de lodos.
- El agua del tanque de alimentación se refrescaba diariamente con el fin de evitar condiciones sépticas, levantamiento de sólidos, quitar la adherencia de biopelícula en las paredes del tanque de homogenización y una fluctuación de cargas entrantes hacia el tanque de homogenización.

- La frecuencia de mantenimiento y lavado de las mangueras se aumentó a dos veces por semana, evitando el taponamiento por el crecimiento de biomasa y aspecto desagradable de la PTAR.
- Los parámetros tomados en campo y los análisis de laboratorio se los realizo con la misma metodología de los escenarios anteriores y en los puntos pre-establecidos.

4.2.3 Cálculo de parámetros para la operación de la Planta Piloto para los tres escenarios.

En el capítulo se describen las ecuaciones de cálculo para los parámetros de operación que se trabajaron con el objetivo de analizar el funcionamiento óptimo para el biorreactor, los cuales se describen a continuación:

4.2.3.1 Tiempo de Retención Celular (TRC)

En la figura 28, podemos observar que en los tres escenarios de análisis el Tiempo de Retención Celular (TRC) varió considerablemente en los primeros días de arranque correspondiente al primer escenario oscilando entre 81-89 días valores fuera del rango estimado, se pudo generar debido a un nivel de Oxígeno Disuelto (OD) en el biorreactor bajo por lo que se inhibe la actividad microbiana aerobia y por ende la eficiencia en la remoción de DBO disminuye, esto puede estar relacionado con problemas con el sistema de aeración, pero también a sobrecarga orgánica, en el segundo se obtuvo valores entre 35-46 días y en el tercer escenario el TRC oscilo entre 22-50 días teniendo en cuenta que para un sistema de lodos activados con aireación extendida es de 20-50 días según

(Ramalho, 1996) y (Metcalf & Eddy, 1995). Por lo que se evidencia que los valores de los últimos dos escenarios se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

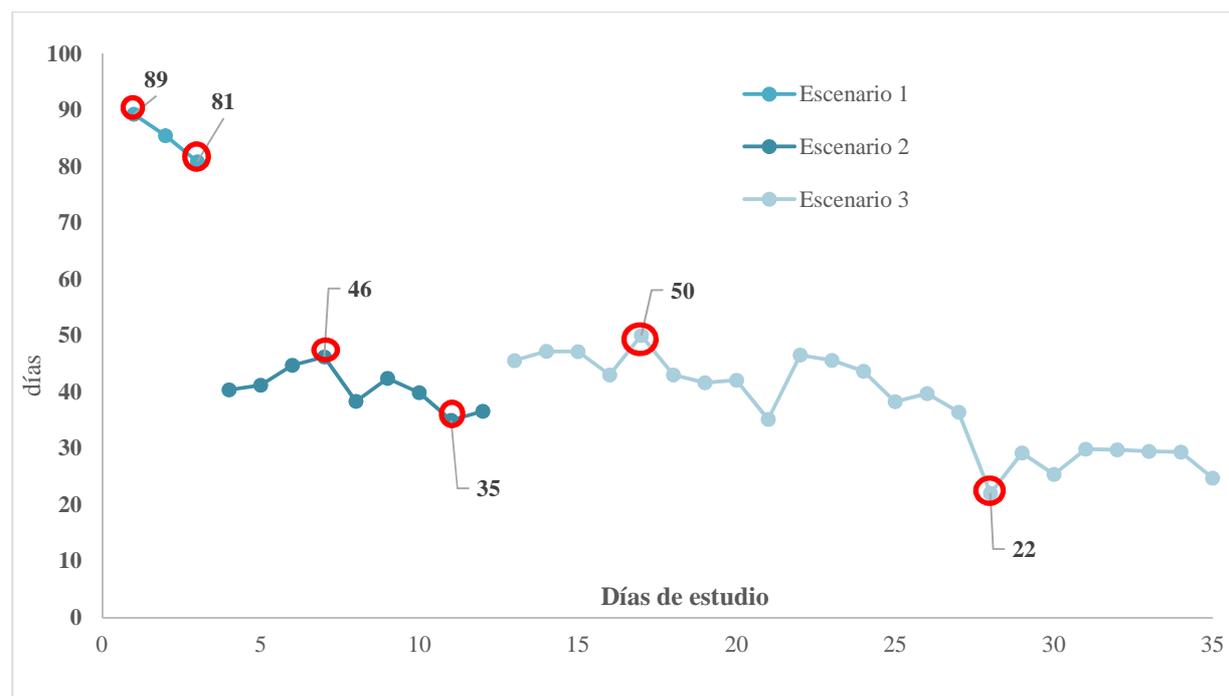


Figura 29 Tiempo de Retención Celular (TRC)

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Autores como (Von Sperling, 2009), refieren que el TRC es uno de los parámetros de diseño y operación más significativos en el sistema de lodos activados, influye en gran parte a la bioquímica del proceso, al depender de este el tipo de microorganismos presentes en el reactor. Este indicador ayuda al investigador y operario de una planta de tratamiento conocer el volumen y la producción de lodos así como la disponibilidad de alimento, por lo que se le considera también como un parámetro nutricional, ya que con un TRC bajo se estima que hay un F/M alto y con un TRC alto dispone de un F/M bajo (Skosana, Hein , & Preez, 2017).

Diferentes autores como, (Fall, Espinosa, Flores, & Esparza, 2012), evaluaron un proceso de lodos activados analizando la temperatura (19 °C - 29°C), la cual es un eslabón fundamental en un adecuado TRC de operación en la planta, ya que variaciones en la temperatura afectan significativamente el crecimiento de las bacterias y se hace necesario ajustar el TRC para garantizar su desarrollo. Sin embargo según (Villafranca, 2011), con un TRC de 11 días, se logra en un sistema convencional de lodos activos con un desarrollo positivo de bacterias, la propia autora indica que el crecimiento de las bacterias se inhibe con TRC inferiores a 6 días. y a una temperatura por debajo de los 10 °C.

4.2.3.2 Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

Para el análisis del TRH, en la figura 29 se debe tener en cuenta que el parámetro se valoró entre las 18 y 36 horas establecido por (Metcalf & Eddy, 1995), por cuatro meses en diferentes escenarios, considerando esto se observa una constante en el primer y tercer escenario siendo el TRC de 24 Horas, de acuerdo a los resultados del primer escenario se decidió cambiar el caudal de entrada en el segundo escenario con el fin mejorar las condiciones aerobias y materia orgánica en el biorreactor, incrementando la relación alimento comida, para crecimiento exponencial de los microorganismos, lo que trajo como consecuencia que el TRH se encontrara fuera los valores establecidos para este proceso, por lo que se realizó un ajuste al caudal de entrada para el tercer escenario obteniendo las mismas condiciones idóneas del primer escenario, presentando las características adecuadas de funcionamiento del sistema de tratamiento de lodos activados con aireación extendida.

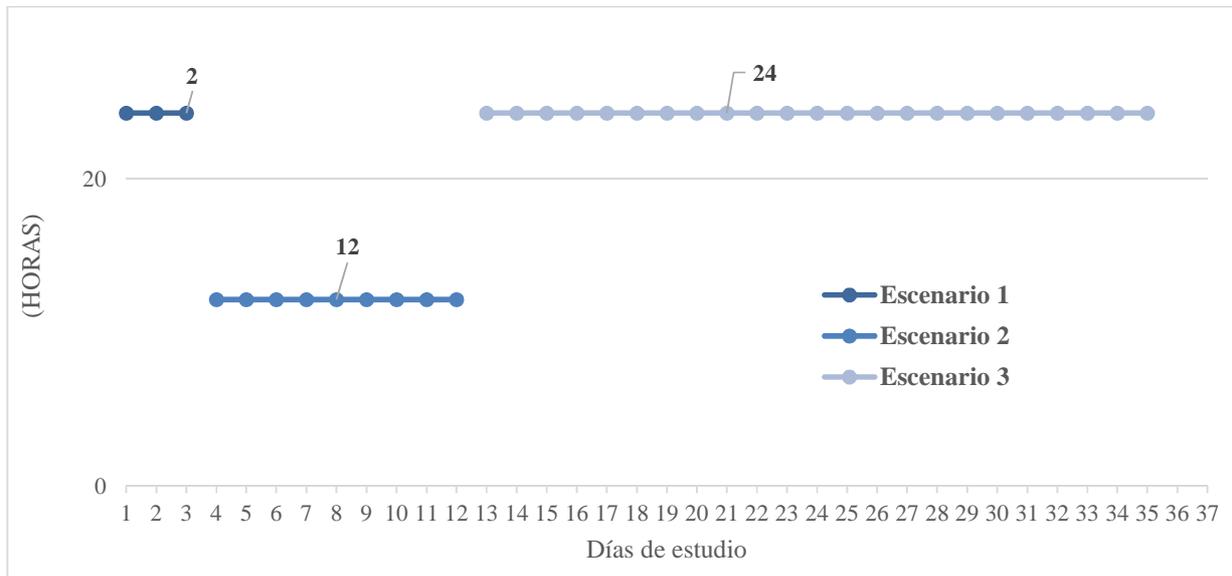


Figura 30 Tiempo de Retención Hidráulica

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

El TRH es uno de los parámetros más importantes del proceso de lodos activados ya que representa el tiempo de permanencia del agua en el sistema (Sandoval & Cisneros, 2012). Los valores de TRH en el tanque de aeración, tradicionalmente usados en el proceso de tratamiento del agua residual doméstica se sitúan entre 4 a 8 horas. Valores de TRH que han sido usados en algunas plantas de tratamiento en Estados Unidos los cuales producen admisibles concentraciones de SSLM de 1500 a 5000 mg/L. (Amundarain, 2010).

Investigaciones realizadas por (Quiroga & Varila Quiroga, 2010), en la construcción, puesta en marcha y operación de un biorreactor de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales a escala laboratorio, determinaron que es importante analizar el TRH al menos una vez por semana ya que este parámetro ofrece datos que pueden influir en la determinación de los coeficientes cinéticos de crecimiento biológico. Analizando la variación el TRH de 5 a 36 horas concluyen en

su investigación que un aumento de la TRH disminuye la concentración de sólidos en el agua residual esto se debe a que los microorganismos presentes en la mezcla ya han consumido toda la materia orgánica disponible por lo que a medida que aumenta el TRH también aumenta el consumo de biomasa propio del período de respiración endógena, disminuyendo considerablemente los sólidos suspendidos volátiles (SSV) presentes en la composición del licor de mezcla.

4.2.3.3 Relación Alimento/ Microorganismo

Para la relación de parámetros típicos de diseño para diversas variaciones del proceso de lodos activados con aireación extendida se tuvo en cuenta a (Metcalf & Eddy, 1996) donde la relación alimento microorganismo (F/M) se evalúa de 0,05 a 0,4 de DBO para el TRH de 18 a 36 horas y un TRC de 20 a 40 días, sin embargo, se evidencia en la figura 30 que la DBO está por encima de los parámetros establecidos en el primer y segundo escenario, teniendo valores de 0,7 y 0,5 (KgDBO/KgSSV), siendo la F/M relativamente alta, quiere decir que existe un predominio de microorganismos filamentosos, con un promedio de 272 mg/l de sólidos suspendidos volátiles muy por debajo de los parámetros los cuales oscilan entre 3000-6000 mg/l, causando condiciones desfavorables donde se evidenció lodo abultado llamado Bulking.

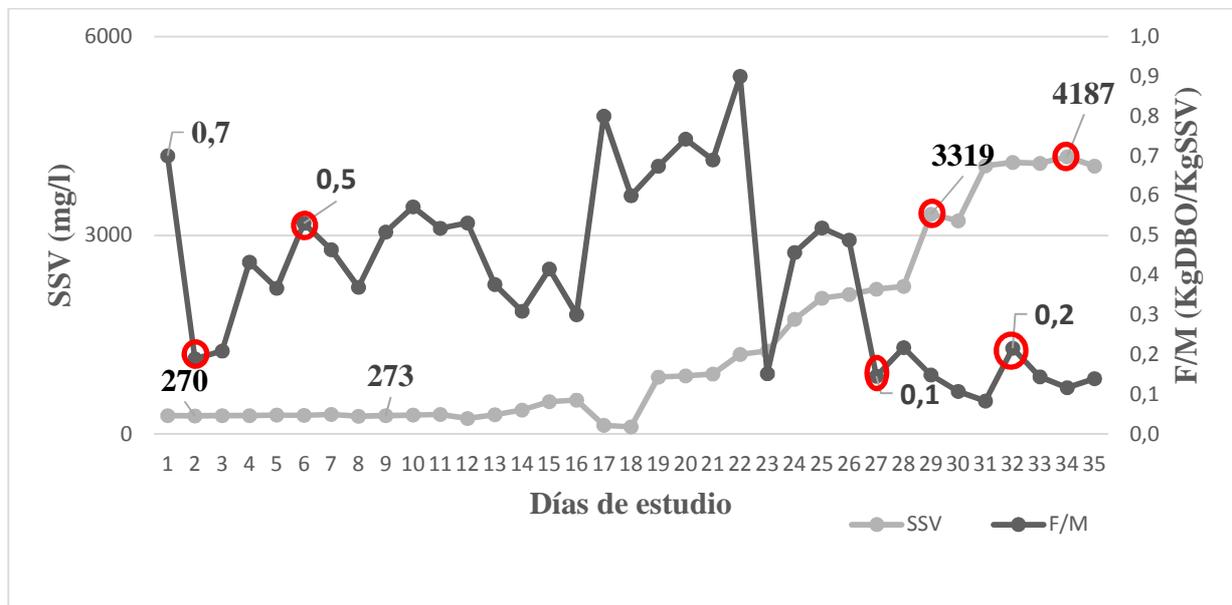


Figura 31 Relación Alimento/ Microorganismo (Kg DBO₅/ Kg SSV)
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Para el caso del tercer escenario esta relación se mantuvo en un intervalo entre 0,11-0,38 (Kg DBO₅/ Kg SSV), valores obtenidos que se encuentran dentro del rango optimo establecido para este tipo de tratamiento, lo cual influye positivamente en el crecimiento microbiano y la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Sin embargo las investigaciones realizadas por (Contreras, 2001), señalan que la F/M en un clima templado con un proceso de lodos activados con aireación extendida el valor debe oscilar entre 0,1-0,2 (Kg DBO₅/ Kg SSV), por lo que se evidencia en estos puntos de análisis antes mencionados que existió una inestabilidad de este parámetro en el biorreactor.

Investigaciones realizadas por (Ramalho, 1996), indica que las bajas concentraciones de F/M están relacionadas con la cantidad de alimento (sustrato) presente en el sistema son escasa para mantener el crecimiento de microorganismos, por lo que se ven obligados a vivir bajo el sistema de respiración endógeno. En este caso cuando se obtiene el lodo bajo estos parámetros antes mencionados las condiciones de sedimentación son bajas y presenta flóculos esparcidos como consecuencia de la carencia de alimento, baja concentración de microorganismos. (Sandoval & Cisneros, 2012).

4.2.3.4 Índice Volumétrico de lodos (IVL)

Como se observa en la figura 31, el IVL es cero en el primer escenario, porque dentro del arranque y puesta en marcha de la planta piloto no existió una mezcla completa y los sólidos no pasaban hacia el clarificador por baja impulsión de difusores por lo que no hubo ningún contenido de sólidos sedimentables, dada estas circunstancias no se pudo definir este parámetro, el segundo escenario se realizó un reajuste de las unidades operativas, obteniendo una mejora en la cantidad de sólidos sedimentables en el clarificador, no obstante debido a movimientos bruscos realizados en este escenario, ocasionados por la bomba sumergible, los valores de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla se encontraron por debajo de los límites establecidos llegando a 273mg/l, debido que se encuentra en el proceso de estabilización y crecimiento bacteriano, no siendo el caso para el tercer escenario donde el IVL pasa de una excelente a buena sedimentabilidad comparados con los parámetros de operación establecidos por (Abefase, 2012), sin embargo en las dos últimas semanas de muestreo se llegó al rango de 4047 mg/l de sólidos suspendidos volátiles donde los valores establecidos oscilan entre 3000 a 6000 mg/l.

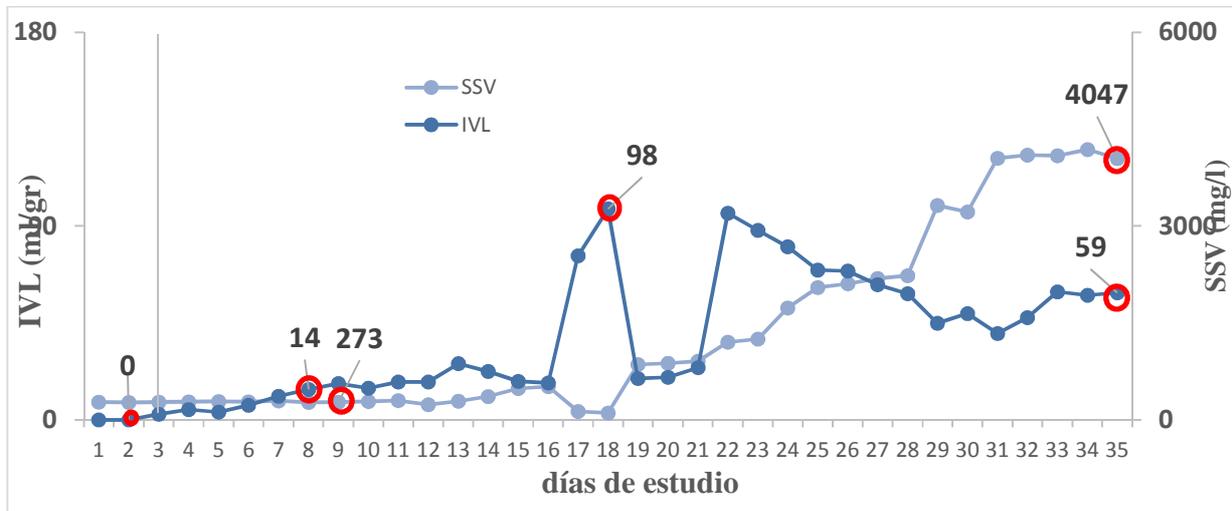


Figura 32 Índice Volumétrico de lodos

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Dentro de la literatura analizada también podemos encontrar resultados de (Pacheco, Jáuregui, & Pavón, 2003), donde las variaciones de éste parámetro oscilan entre 75-125 ml/g, lo cual no presenta alteraciones significativas en los procesos biológicos, Según (Mata, 2010), el IVL puede tenerse en cuenta como una variable de medición necesaria para estimar las características de sedimentación del lodo.

Sin embargo Investigaciones realizadas por (Wanner, 2004) clasifica los lodos de acuerdo a su índice volumétrico con respecto a, óptima sedimentación menos de 100ml/g, buena entre 100-200 ml/g y Bulking mayor que 200 mg/l, pero cuando se realizan los análisis en el tratamiento de agua residual para el proceso de lodos activados con aireación extendida se puede observar que un valor de lodo mayor a 150 ml/g de IVL presenta una baja sedimentabilidad.

4.2.3.5 Caudal de Recirculación y de purga

La tabla 21 muestra los valores del factor de recirculación, caudal de recirculación y caudal de purga que se obtuvieron en la planta piloto, estos parámetros necesitan un constante monitoreo debido a que de ellos depende de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla, una vez que los valores de los SSV aumentan, es decir sobrepasan los 6000 mg/l es necesario realizar la extracción de la purga y hacer una recirculación con el objetivo de mantener una mayor cantidad de lodo activado en el biorreactor. Solo en el tercer escenario se alcanza un valor de SSV de 3858 mg/l, por lo que se generó una recirculación constante en los tres escenarios para alcanzar un nivel óptimo de crecimiento bacteriano.

Tabla 21

Cálculos de factor y caudal de recirculación / purga

Ecuación 9 Factor de Recirculación	$\text{Factor de Recirculación} = \frac{SSV_b}{SSV_c - SSV_b}$ $\text{Factor de Recirculación} = \frac{4047 \text{ mg/l}}{8306 \text{ mg/l} - 4047 \text{ mg/l}}$ $\text{Factor de Recirculación} = 0,95$
Ecuación 10. Caudal de Recirculación	$\text{Caudal de Recirculación (Q'w)} = 0,035 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,95$ $\text{Caudal de Recirculación (Q'w)} = 0,033 \text{ m}^3/\text{d}$ $\text{Caudal de Recirculación (Q'w)} = 0,00041/\text{s}$
Ecuación 11. Caudal de Purga	$\text{Caudal de Purga (Qw)} = \frac{0,0355 \text{ m}^3 \times 4047 \text{ mg/l}}{50 \text{ d} \times 8306 \text{ mg/l}}$ $\text{Caudal de Purga (Qw)} = 0,0003 \text{ m}^3/\text{día}$

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

4.2.3.6 Eficiencia de remoción de DBO

La eficiencia de remoción de DBO se analizó en los tres escenarios considerando las investigaciones realizadas por (Torres & Ávila, 2015), donde el porcentaje de remoción debe considerarse en un sistema de lodos activados entre un 70-90%. En el caso del primer y segundo escenario están por debajo de lo establecido entre 30-46% debido a la sobre saturación de oxígeno en el agua residual, para el segundo escenario se decidió aumentar el caudal y establecer un tiempo de retención hidráulico de 12 Horas, ocasionando que el agua no tenga el tiempo suficiente para interactuar con los microorganismos y que el porcentaje de remoción de contaminantes disminuya. Analizando la problemática existente en el escenario tres se decide mantener el caudal establecido en el escenario uno donde el tiempo de retención hidráulica a 24 horas, por lo que se evidencia en el grafico 8 que el porcentaje de remoción (eficiencia) llega hasta un 98%.

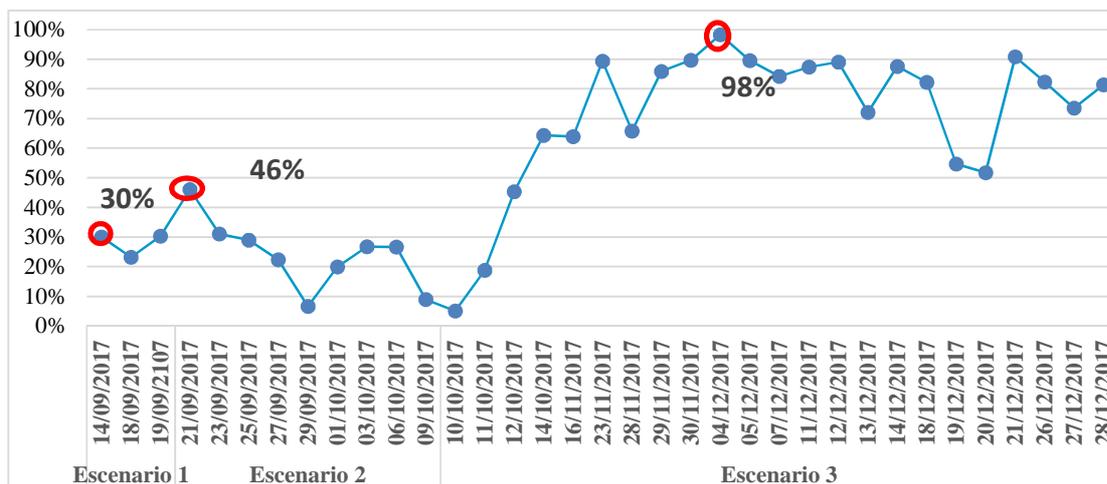


Figura 33 Eficiencia de remoción de DBO

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Investigaciones realizadas por (Gómez, et.al, 2007), afirman que las diferenciaciones que existen en la eficiencia de remoción están dadas principalmente por los inconvenientes de control y monitoreo en el proceso de operación, determina que en un sistema de lodos activados con aeración extendida la eficiencia debe encontrarse entre el 85 y el 95% de remoción de DBO. Sin embargo, autores como (Perea, Montaña, & Sigua, 2013), establecen que la eficiencia de un proceso de tratamiento de aguas residuales domesticas está dado por un análisis integrado de todos los parámetros de operación como DBO, DQO, en cada uno de las unidades operativas.

4.2.3.7 Eficiencia de remoción de DQO

La figura 33 muestra la remoción obtenida en el parámetro de DQO, dentro del primer y segundo escenario se tienen puntos bajos de remoción, debido a que no existe una mezcla completa porque se encontraba en el arranque y estabilización del biorreactor, cabe recalcar que este parámetro se encuentra en valores atípico de DQO en el afluente de 536-1647 mg/l, en los días de fines de semana donde aumenta considerablemente la visita de turistas a la parroquia.

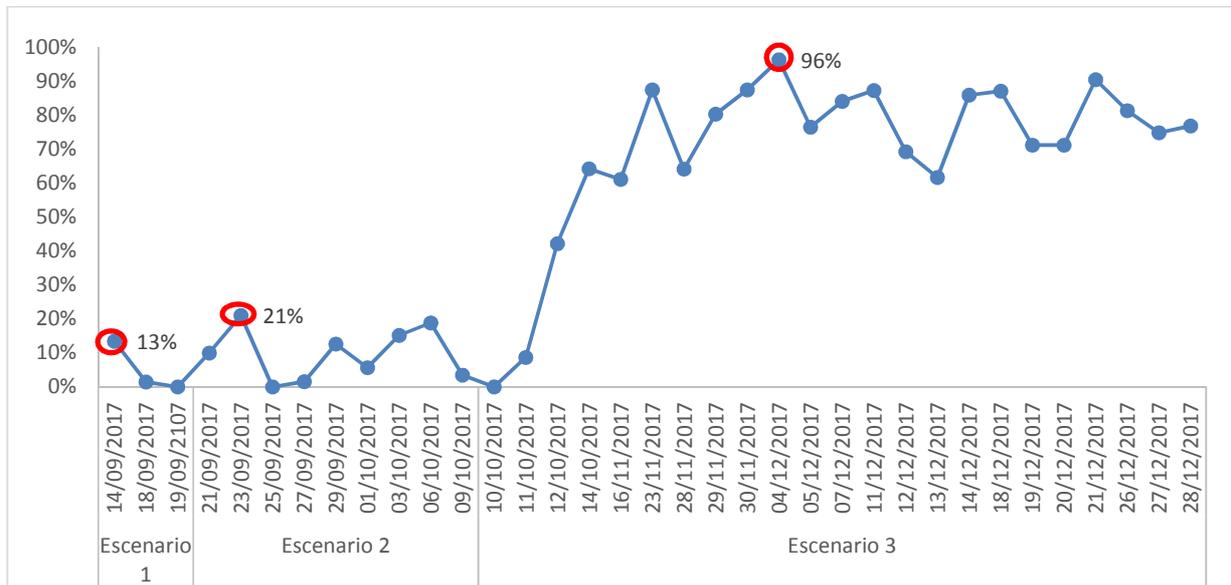


Figura 34 Eficiencia de remoción de DQO
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Aunque la información presentada en el gráfico anterior permite evidenciar que la eficiencia de remoción que se alcanza en el tercer escenario, es de 96% en el sistema. Investigaciones realizadas por (Von Sperling, 2009), describen que para el tiempo de estabilización del reactor en sistemas de lodos activados con aireación extendida debe ser de 15 y 30 días para tener una remoción de DQO estable en el proceso. Estudios realizados por (Torres & Ávila, 2015) señalan que la eficiencia de remoción de DQO en un sistema de lodos activados, puede estar entre un 60%- 90%, considerando de 30-45 días de remoción.

4.3 ETAPA III EXPERIMENTAL

4.3.1 Análisis experimental del primer, segundo y tercer escenario.

Dentro de esta etapa se consideraron diferentes parámetros experimentales para verificar las variables de operación del biorreactor y poder determinar las relaciones de operación óptimas de la Planta de Tratamiento DBO/DQO y SST/SSV/SS.

4.3.1.1 Relación DBO (mg/l) / DQO (mg/l) en el Afluyente

Evalutando la relación DBO (mg/l) / DQO (mg/l) en el afluyente, en la figura 34 se puede evidenciar que en el tercer escenario existe una biodegradabilidad de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual, en un análisis que comprende los tres escenarios los valores se encuentran entre 1,3-2,9 mg/l en el proceso de entrada del agua residual al sistema de lodos activados, parámetro este que si lo comparamos con las investigaciones realizadas por (Metcalf & Eddy, 1995), contamos con una materia orgánica en la composición del afluyente degradable a degradable.

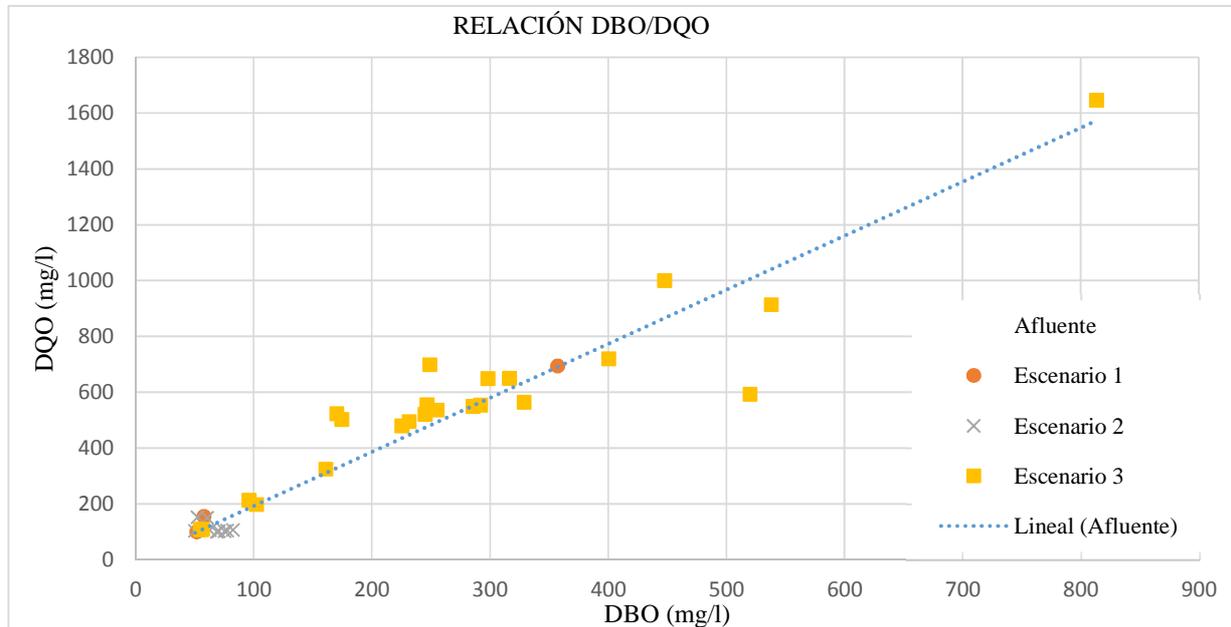


Figura 35 Relación DBO (mg/l) / DQO (mg/l) en el Afluente
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Investigaciones realizadas por (Soza, 2010) refiere como la diferencia entre la DBO y la DQO incurre en que existen más compuestos que se oxidan por vía química que por vía biológica, teniendo en cuenta la explicación anterior podemos encontrar valores de DQO más altos, por lo que se puede establecer una estrecha relación entre los dos parámetros, ya que en la actualidad no es necesario incubar una DBO por 5 días, porque teniendo el resultado de DQO, donde el ensayo dura alrededor de tres horas, se puede estimar el contenido de DBO en el agua residual. De acuerdo a estos resultados la autora estableció que para aguas residuales domésticas la relación entre la DBO/DQO en el afluente se encuentra poco biodegradable cuando es menor de 0,2 biodegradable cuando nos encontramos con valores entre 0,2-0,4 y muy biodegradable cuando es mayor que 1,4.

4.3.1.2 Relación DBO (mg/l) / DQO (mg/l) en el Efluente

En la figura 35 se describe la relación DBO (mg/l) / DQO (mg/l) en el efluente obtenida por el monitoreo de manera sistemática en los tres escenarios, los valores oscilan entre 1,9 - 3 respectivamente, aunque en las 35 mediciones realizadas durante los cuatro meses gran parte de los resultados oscila entre 3,5 - 5, demostrando que el efluente de este sistema biológico de lodos activados presenta una biodegradabilidad de los compuestos orgánicos encontrados en el agua residual, cabe destacar que los valores de DBO y DQO se encuentran dentro de los parámetros que rigen la normativa ambiental.

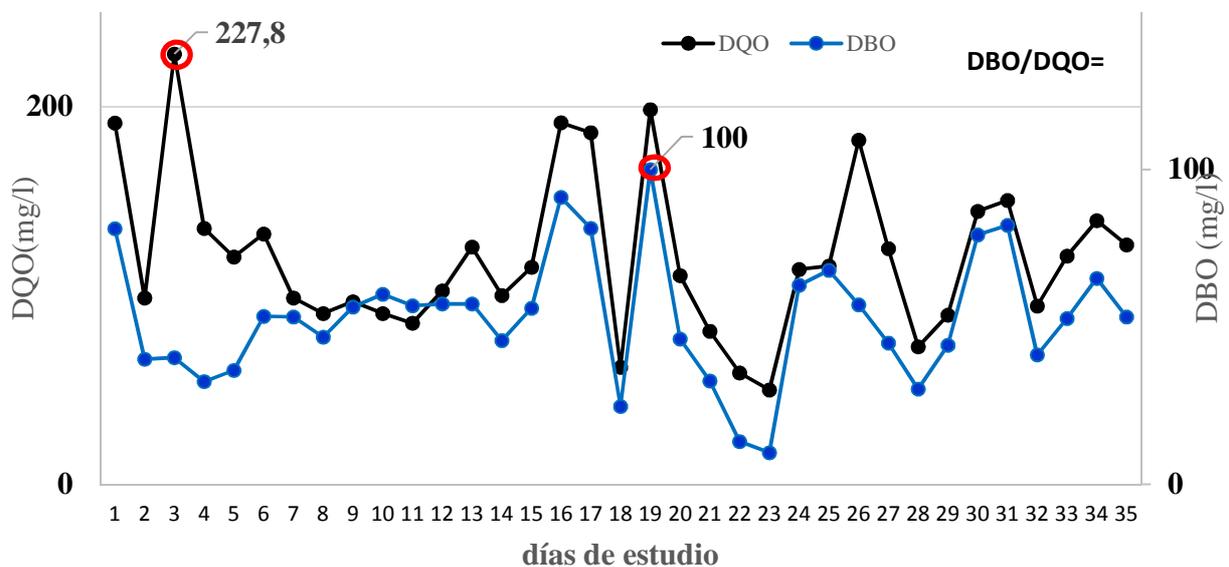


Figura 36 Relación DQO (mg/l) / DBO (mg/l) en el Efluente

Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Un acercamiento cuantitativo de la biodegradabilidad de un efluente según (Osorio & Peña, 2014), está dado por la correlación que existe entre la DBQ y la DQO. Para un efluente proveniente de tratamientos de lodos activados con aireación extendida se tiene establecido parámetros de evaluación de la biodegradabilidad (Hernández, 2012) cuando la relación se encuentra entre $2,5 < (DBO/DQO) < 5$. Sin embargo investigadores como (Metcalf & Eddy, 1995) difieren de lo anteriormente expuesto expresando que la biodegradabilidad es un parámetro que no depende únicamente de la composición del agua residual por lo que se debe tener presente que cuando la relación $DBO/DQO \leq 2,5 \Rightarrow$ materia orgánica degradable, $DBO/DQO = \Rightarrow$ materia orgánica poco degradable.

4.3.1.3 Relación Sólidos Totales (SST)/ Sólidos Volátiles (SSV) en el Biorreactor

Con relación al análisis expresado en la figura 36 se observa en cuanto a la relación SSV/SST de los tres escenarios en el biorreactor que este parámetro aumenta cuando se realizan las mejoras en la instalación de la planta piloto, a medida que aumenta la edad del lodo en el biorreactor aumenta también la relación SSV/SST y a medida que pasan los días los microorganismos se van aclimatizando para logara una mayor relación entre SSV/SST, los valores llegaron de 4000-4500 mg/l valores habituales en el tratamiento biológico de aguas residuales. A raíz de estos resultados nos indica que la relación SST/SSV presenta una confiabilidad de uno, lo que indica que el 100% de los sólidos suspendidos son volátiles, así lo demuestra también en su investigación (Abril & Granda, 2013), donde analizan la relación SST/SSV como un parámetro de operación donde nos indica la porción de materia orgánica en el licos mezcla, si esta relación está comprendida en 0,8-

0,9 reflejan el 80 al 90% de sólidos suspendidos volátiles y se excede de este rango se evalúa como un 100%.

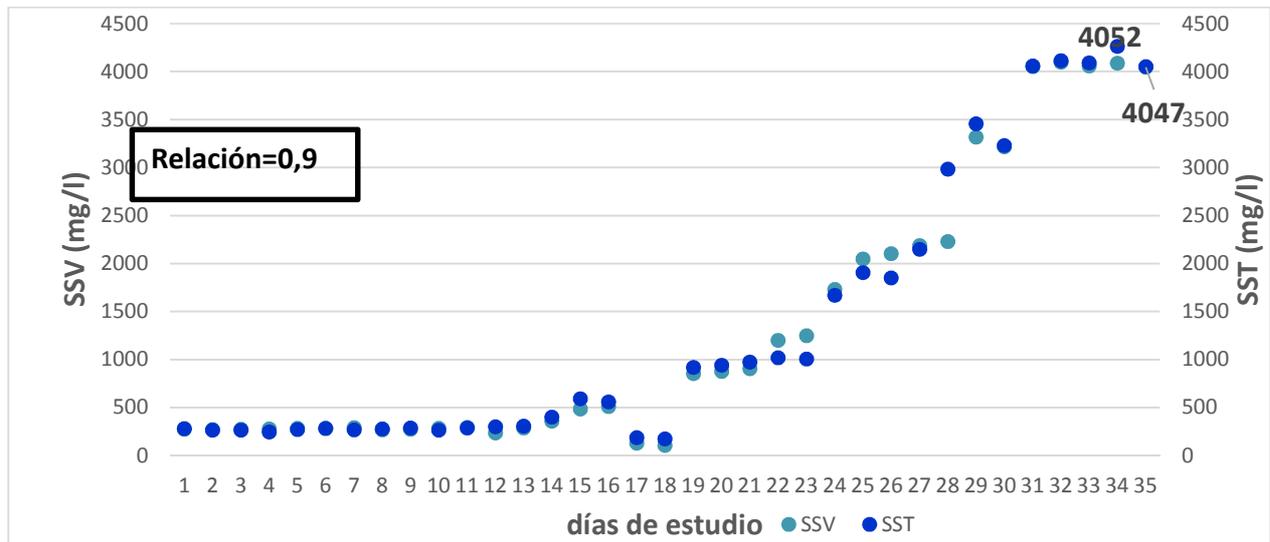


Figura 37 Relación Sólidos Totales (SST)/ Sólidos Volátiles (SSV) en el Biorreactor
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Según (Metcalf & Eddy, 1995) , los SST representan la concentración de sólidos presentes en el inóculo microbiano y los SSV representan la fracción de los SST que está presente como biomasa, responsable de la degradación de la materia orgánica, por lo tanto, mientras mayor sea el porcentaje de esta relación, el inóculo será más saludable, el parámetro para lodos activados con aireación extendida oscila entre 3000-6000mg/l . Si comparamos este valor con los resultados obtenidos en la figura anterior podemos afirmar que el sistema se encontraba con buen funcionamiento en cuanto a la relación SSV/SST.

Analizando la literatura autores como (Ramalho, 1996) indican que una buena relación entre SSV/SST oscila entre el 65 al 85 % dependiendo el tipo de lodo que se utilice, cuando se estudia la concentración de SSV del agua residual en un biodigestor en un tratamiento de lodos activados

con aireación extendida la relación SSV/SST es de 15 a 25 veces menor con relación al análisis de este parámetro en tratamientos de lodo en lagunas.

4.3.1.4 Relación índice Volumétrico de Lodos (IVL) / Sólidos Totales (SST) en el Biorreactor

La relación IVL/SSV correspondiente a los tres escenarios como se muestra en la figura 37, lo cual indica que los valores del primer escenario están por debajo de los parámetros analizados en la literatura, esto es debido a que se encuentra en el proceso de arranque del biorreactor por lo que no existe medición del IVL. En el segundo y tercer escenario se nota un incremento de IVL/SSV durante los tres meses de análisis, como se muestra en el gráfico anterior un aumento del IVL, aumenta también los SSV, Sin embargo, solo en el tercer escenario se mantiene una relación de IVL/SSV comprendido en los parámetros de diseño, ya que se encuentran en valores entre valor de 3000 y 6000 mg/l en el biorreactor los SSV y el IVL presenta un rango menor a 90 ml/g demostrando que existe una buena sedimentabilidad.

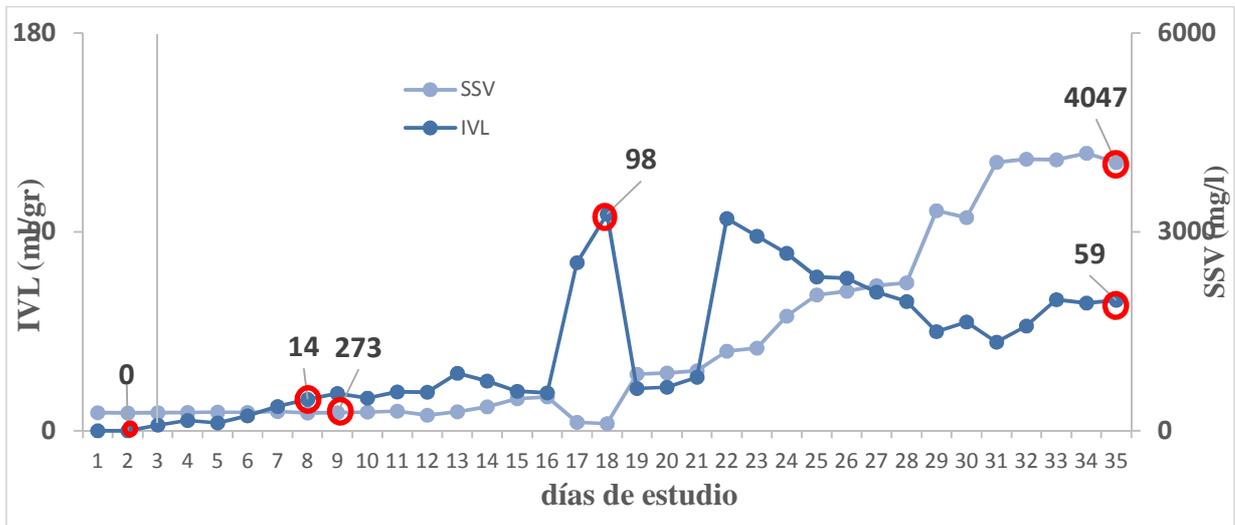


Figura 38 Relación índice Volumétrico de Lodos (IVL) / Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) en el Biorreactor
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

Estudios realizados por (Valencia, Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la cabecera Parroquial de San Luis, 2013), demuestran que en el arranque y actividades previas no se debe tener un valor de medición de los parámetros hasta que no exista una estabilización del sistema, para de esta manera obtener datos confiables en los que el investigador pueda ir haciendo mejoras en cada uno de los elementos que componen el sistema de lodos activados con aireación extendida, es recomendable a partir del cuarto día comenzar con los registros de parámetros de control de arranque. Investigadores como (Metcalf & Eddy, 1995) y (Ramalho, 1996), precisan que a partir del octavo día de arranque del proceso se debe establecer las relaciones de los parámetros incluyendo el IVL/SSV.

Varios autores (Fall, et.al, 2012), manifiestan que la utilización de IVL para medir las características de la decantación de los lodos es cuestionable, ya que puede tener el mismo

valor de decantación para lodos con características diferentes, manteniendo además la misma concentración de sólidos en suspensión totales de 2000 mg/l, por lo que discrepan de la relación que puede existir entre IVL/SSV, ya que un lodo con una concentración inicial de 8000 mg/l de sólidos totales en suspensión, no puede decantar sin embargo podría tener aún un valor del IVL de 125 ml/g ya que refiere la literatura que los valores típicos del IVL para lodos de buenas características de sedimentación con concentraciones de 800-3500 mg/l están comprendidos dentro del intervalo 150 - 35.

4.3.1.5 Caracterización final del efluente

De acuerdo con los resultados generados por el Laboratorio Central de Control de Calidad de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), se presenta a continuación una tabla resumen incluyendo la primera caracterización realizada en agosto de 2017 y la final el 28 de diciembre de 2017, fecha en la cual culminó el proceso experimental (Tabla.22)

Tabla 22*Caracterización final del efluente*

Parámetro	Unidad	NORMA Anexo I, Tabla 9 TULSMA	Afluente (Agosto)	Cumplimiento	Efluente (Diciembre)	Cumplimiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	100	189,6	No Cumple	53,2	Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		200	410,5	Cumple	126,8	Cumple
Grasas y Aceites		30	47,6	No Cumple	3,4	Cumple
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	130	130	Cumple	50	Cumple
Sólidos Totales		1600	570	Cumple	300	Cumple
Tensoactivos	mg/l	0,5	9,64	No Cumple	1,33	No Cumple

Fuente: (TULSMA, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:Recurso Agua; Anexo 1, Tabla 9, 2015)

Como se puede observar en la tabla 22, la mayoría de parámetros además de haber reducido su concentración, cumplen con la normativa ambiental vigente sobre límites máximos permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce, por lo que se puede deducir que

el tratamiento realizado por medio de lodos activados con aireación extendida fue eficaz, la remoción del DBO llegó hasta un 99% y la DQO alcanzó un 91%.

No es el caso del parámetro referente a tensoactivos que pese a que tuvo una buena remoción bajando de 9,64 mg/l a 1,33 mg/l no cumple con la normativa ambiental vigente que es de 0,5mg/l, por lo que concluye que el tratamiento de lodos activados por aireación extendida promueve a una remoción más no cumple con la normativa, por lo que el proceso debe ir acompañado de un tratamiento terciario que produzca aún más su remoción.

CAPÍTULO V

ETAPA IV PROPUESTA

5.1 DESCRIPCIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SISTEMA LLOA-SAN JOSÉ

En el proyecto de la Planta Piloto se estableció un proceso biológico con aireación extendida, en el cual se inyecta aire para favorecer el crecimiento de bacterias, las mismas que degradan la materia orgánica, reduciendo la carga del contaminante, a continuación, pasará a un clarificador donde se genera la sedimentación bacteriana permaneciendo en la parte superior el agua clarificada. Esta alternativa de tratamiento se presenta como propuesta al EPMAPS. La alternativa óptima para el Tratamiento de las Aguas Residuales del sistema Lloa-San José, se recomienda el tren de tratamiento que se muestra en la figura 43.

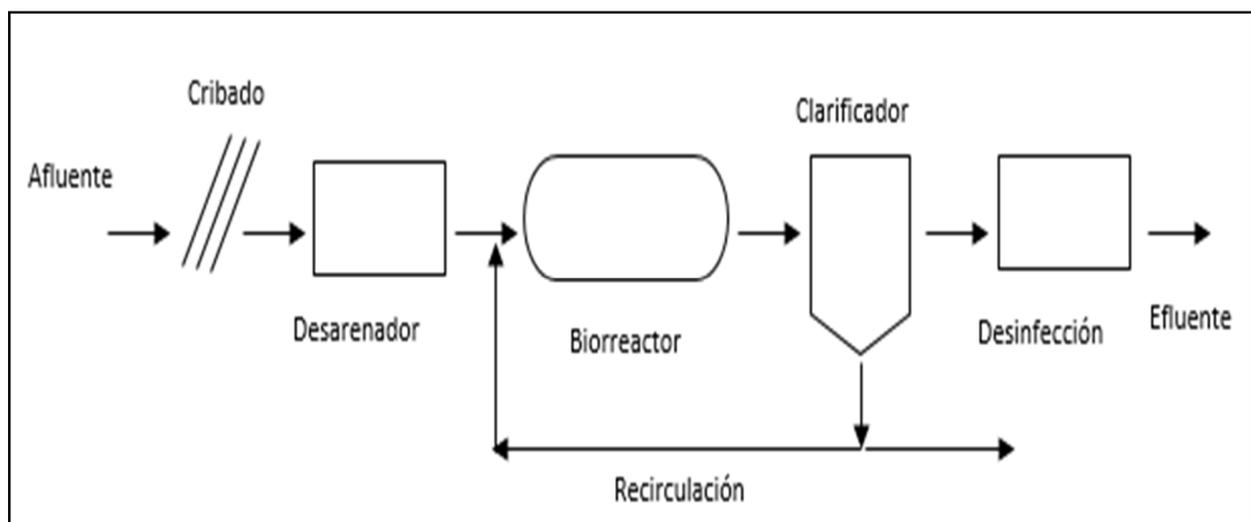


Figura 39 Alternativa Óptima de Tratamiento de Aguas Residuales Lloa-San José
Fuente: Mónica G Pérez (2017)

5.2 Propuesta de Diseño de planta sistema Lloa-San José.

De acuerdo a la proyección de habitantes que se tendrá para el año 2030, será de 1634h, referido esto se realiza la propuesta de diseño en base a lo sugerido por el código ecuatoriano de la construcción de parte IX, obras sanitarias CO 10.07 - 601 "Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes".

Tabla 23

Diseño de Unidades Operativas

Cribado	
Tipo de Reja	Justificación
Se sugiere utilizar barras con sección rectangular de 5 -10 mm de espesor por 35 -70 mm. Para el espacio entre barras se considera 35 mm.	Se considera este diseño como propuesta de cribado ya que en la parroquia Lloa no se tiene una sensibilización ambiental en la recogida de desechos sólidos, por lo que el alcantarillado está cubierto de cualquier tipo de material.
Desarenador	
Para el desarenador se propone de flujo horizontal debido a que es el más eficiente en la remoción de partículas de diámetro medio igual o superior a 0,2 mm. Con una velocidad de flujo alrededor de 1,5 m/s , por lo que el caudal de ingreso se propone sea de 14 m ³ /h.	Este tipo de desarenador de flujo horizontal presenta una mayor eficiencia en la eliminación de aquellos solidos con un tamaño igual o superior a 200 micras que proviene del proceso de cribado.
Biorreactor	
El biorreactor será por medio de una zanja de Aireación Extendida con un volumen de 350 m ³ , según el caudal de ingreso de 346 m ³ /d. Según la norma antes mencionada en dependencia de los habitantes equivalentes es el diseño de ancho y profundidad del biorreactor.	Se propone este tipo de biorreactor de zanjas de oxidación ya que es de bajo costo de operación y eficiente para comunidades de más de 1000 habitantes. Además, es de fácil operación y soporta variaciones en las variables y parámetros de operación.
Continua →	

Se propone dos aireadores pequeños con una velocidad de rotación entre 36 RPM y 40 RPM, el rotor de aireación deberá ser de acero inoxidable, debido a las características del agua residual, con trabajo de 24 horas para obtener una mezcla completa y la cantidad de oxígeno disuelto adecuado.

Clarificador

Para los parámetros de diseño del clarificador se recomienda por el caudal a tratar que corresponde a 346 m ³ /d, una profundidad 3 m, con volumen de 72m ³ .	Con este tratamiento secundario del clarificador se cumple con dos funciones fundamentales la de clarificar el licor mezcla para que mejores las características del efluente en la descarga hacia el cuerpo receptor y de concentrar el lodo activado para su retorno al biorreactor.
---	--

Desinfección

Se propone una desinfección como tratamiento terciario para minimizar la presencia de organismos patógenos que pueden ocasionar daños al ambiente y salud del hombre, dentro de este proceso se recomienda hipoclorito de sodio a una concentración de 10mg/l.

Lechos de secado

Se plantea lechos de secado para disponer los lodos producto del tratamiento	Tendremos lechos rectangulares compuestos por una capa de grava, gravilla, geotextil, donde se dispondrán los lodos provenientes del clarificador.
--	--

Manejo Desechos (Lodos)

Se deberá realizar un análisis CRETIB del Lodo	El análisis CRETIB nos permitirá saber qué tipo de lodo se ha generado, en el caso de ser peligroso, se deberá entregar a un gestor ambiental calificado.
--	---

Fuente: (CEC, 2012)

5.2.1 Criterios de operación para el biorreactor.

Como se puede observar en la tabla 23 los resultados obtenidos el arranque de la Planta Piloto reflejaría los parámetros óptimos para el arranque del biorreactor de la Planta del Sistema de Lloa-San José, con el objetivo que sea eficiente las operaciones teniendo en cuenta el Tiempo de Retención Hidráulica, Tiempo de Retención Celular, Factor de recirculación, Sólidos

Suspendidos Volátiles del Biorreactor, DBO del afluente y efluente, para la PTAR del Sistema Lloa–San José.

Tabla 24

Parámetros operación PTAR Sistema Lloa-San José

Parámetro	PTAR Lloa	PTAR Piloto	Unidad
Caudal ingreso	346	0,035	m ³ /d
Caudal de recirculación	330	0.033	m ³ /d
Caudal de purga	2,81	0,0003	m ³ /d
DBO Afluente	360	360	mg/l
Sólidos Suspendidos Volátiles en el Biorreactor	4000	4000	mg/l
Sólidos Suspendidos Volátiles Clarificador	1000	10000	mg/l
Tiempo de Retención Hidráulico	24	24	H
Tiempo de Retención Celular	50	50	D
Factor de recirculación	0,95	0,95	n/a
Volumen Biorreactor	350	0,035	m ³
DBO Efluente	36,00	36,00	mg/l
Eficiencia	90,00%	90,00%	%
Volumen Clarificador	72,18	0,0072	m ³

Fuente: Mónica G Pérez (2017).

Estos valores fueron analizados y discutidos en el capítulo cuatro, por lo cual se propone se mantengan estos parámetros en el PTAR Sistema Lloa-San José. Además, los resultados obtenidos de la última caracterización (efluente), realizada el 28 de diciembre fueron comparados con la normativa ambiental referida en el libro VI anexo I. Tabla 10, límites máximos permisibles de vertimiento hacia cuerpos de agua dulce. TULSMA 2015, cumpliendo con los parámetros DBO, DQO, Aceites y grasas, Solidos Totales, reconociendo la eficiencia de estabilización del biorreactor con los parámetros de operación obtenidos.

5.2.2 Gestión ambiental enfocada a la producción más limpia

Dentro de este capítulo se tiene como propuesta acciones de producción más limpia porque se consideran necesarias para los tratamientos de aguas residuales en cualquier tipo de diseño. Considerando que la producción más limpia, ayuda en el proceso de gestión ambiental a establecer puntos críticos de control con el objetivo de tener niveles más bajos de contaminación y riesgos ambientales. Para el sistema de tratamiento Planta del Sistema de Lloa-San José se propone lo siguiente:

- a) Implementar acciones de producción más limpia con el objetivo de optimizar los procesos que conforman todo el sistema de tratamiento como una forma de reducción significativa los costos operativos.
- b) Realizar un diagnóstico para identificar los impactos ambientales que se generan en el sistema de tratamiento de aguas residuales y establecer mejoras preventivas para minimizar la contaminación presente en las áreas de la PTAR.
- c) Elaborar e implementar un programa de producción más limpia que incluya acciones para reducir el riesgo que puede afectar las actividades o personas que se encuentran en su entorno.

A continuación, se describe el formato y algunas de las acciones que se deben tener presente en el programa propuesto.

Tabla 25

Acciones del programa de producción más limpia

Objetivos	Acciones	Responsable	Plazo de cumplimiento	Indicador
1. Asegurar la introducción de mejoras tecnológicas y prácticas de P+L aplicables para la PTAR.	1.1-Realizar un diagnóstico de la planta con todas las condiciones externas e internas para tener identificada la problemática existente.	Jefe de Unidad	1 mes	$\frac{\% \text{ meta alcanzada}}{\% \text{ meta programada}}$
	1.2-Establecer y mantener puntos críticos de control y planes preventivos de mantenimiento en la PTAR que permitan la transferencia de tecnologías y prácticas de Producción más Limpia.			
	1.2. Diseñar estrategias de mejoras en procesos de pretratamientos , tratamientos primarios, secundarios y terciarios.			
	1.3 Identificación periódica de oportunidades de implementar práctica de Producción más Limpia.			
	1.4 Desarrollar capacidades			

Continúa →

	humanas para implementar las prácticas de Producción más Limpia identificadas			
	1.5 Realizar las mejoras tecnológicas planificadas.			
2.- Asegurar la inocuidad de los productos finales (lodos y residuales del proceso)	2.1 Control sanitario de la limpieza y desinfección en toda la PTAR.			
	2.2 Establecer un plan de acción para el manejo integrado de los lodos secos			
3.- Garantizar un manejo adecuado de los productos químicos utilizados y los desechos peligrosos	3.1. Identificar los productos químicos utilizados y los desechos peligrosos generados.			
	3.2 Confeccionar un plan de manejo para los productos químicos y los desechos peligrosos.			
4.- Garantizar el uso eficiente de los portadores energéticos.	4.1- Determinar el consumo potencial de los equipos consumidores.			
	4.2- Confeccionar un plan de ahorro para cada área de trabajo			
	4.3 Elaborar el plan de mantenimiento de los equipos consumidores.			
5.- Prevenir la contaminación ambiental asociada a las actividades realizadas en la PTAR.	5.1 Diagnosticar la eficiencia de los sistemas de tratamiento.			
	5.2 Contratar el reciclado de residuales sólidos de toda la PTAR			

	5.3 Realizar las acciones constructivas o de mantenimiento.			
6.- Lograr un desempeño ambiental y perfeccionamiento.	6.1 Ejecutar las revisiones periódicas de las acciones de este programa			
	6.2 Realizar capacitaciones continuas a los operarios y personal de laboratorio.			

Fuente: Mónica G Pérez (2017).

5.3 Seguridad e higiene de los operadores

Este punto abarca como propuesta una manera de minimizar los riesgos de seguridad e higiene a los cuales se enfrentan todos los trabajadores cuya función es poner en marcha un sistema de tratamiento de aguas residuales, en estos puntos se incluyen los operarios, personal de mantenimiento, eléctricos, especialistas de laboratorio, el jefe de planta, y todos aquellos que de una forma u otra esta vinculados con la Planta del Sistema de Lloa-San José.

5.3.1 Seguridad

En la seguridad del personal se debe establecer la identificación de los riesgos por las diferentes áreas dentro de la PTAR, utilizando la metodología planteada en esta investigación, descrita en el capítulo III y analizada cualitativamente y cuantitativamente en el capítulo IV. Se debe considerar que dentro de una estación de tratamiento de aguas residuales existen riesgos, Físicos, Químicos, Mecánicos, Biológicos, Ergonómicos y Psicosociales., una vez identificados los riesgos se procede a la evaluación de los mismos y seguido las medidas preventivas y correctivas para mitigarlos, para ello se tendrá en cuenta las áreas y actividades de mayor riesgo las cuales son:

- Almacenamiento de productos químicos.
- Área de desechos sólidos
- Estación de Máquinas
- Unidades Operativas de Tratamiento
- Laboratorio
- Operaciones nocturnas
- Gases y vapores
- Manejo y transporte de materiales inflamables y explosivos

Una vez identificado y evaluado los riesgos, los trabajadores deben tener conocimiento de los mismos, para ello se pondrá la identificación de las áreas y actividades, teniendo en cuenta lo establecido en las normas INEN 439 de señaléticas.

5.3.2 Equipos, medios y materiales de protección personal

En la realización de cualquier operación de la PTAR, el personal debe contar con los equipos, medios necesarios tanto para las operaciones diarias que en cualquier mantenimiento prolongado que se realice, en cuanto a los materiales se deberá contar con un kit antiderrames, así como las emergencias de incendios o fugas. Además de contar con un equipo de primeros auxilios para casos de accidentes, incidentes en las diferentes operaciones.

Se debe considerar el anexo A de la resolución 513 del 15 de marzo del 2016, perteneciente a la seguridad y salud en el trabajo, el cual establece e implementa el registro de accidentes y enfermedades profesionales, este formato se encuentra en el anexo 6. Esta resolución antes

mencionada redacta en su anexo tercero el procedimiento para determinar los accidentes y enfermedades profesionales en diferentes puestos de trabajo que se describe a continuación como uno de los puntos que se debe establecer dentro de esta propuesta, anexo 7.

5.3.3 Capacitación del personal

Dentro de la propuesta se considera que los operarios deben contar con un plan de capacitación donde se describan las necesidades de cada personal, teniendo en cuenta las competencias laborales de cada puesto, es importante que dentro de este plan se incluyan acciones como manejo adecuado de equipos de protección personal, recarga y manejo de extintores, clasificación de sustancias químicas y su manejo, primeros auxilios, entre otros que el jefe de planta considere necesario.

5.3.4 Monitoreo de la salud del personal

Debido a las características de trabajo que se tiene en una PTAR se propone en cuanto a la salud del personal tener presente el monitoreo de los trabajadores, el jefe de planta del Sistema de Lloa-San José tendrá un análisis cada 6 meses para determinar la salud del personal. Debido a todas las exposiciones que se tiene de gases y bacterias en el tratamiento de las aguas residuales, además se tendrá en consideración un plan de vacunación para salvaguardar la salud de los trabajadores antes los riesgos a los cuales están expuestos.

5.3.5 Higiene de los operarios y personal en general

Se propone para un bienestar y salud de los operarios y trabajadores en general lo siguiente:

- No comer ningún alimento sin antes lavarse bien las manos o usar desinfectante.
- No se debe fumar cuando esté realizando labores en lugares donde se emiten gases o riesgos de incendio y explosión.
- Una vez que el trabajador ingrese a la PTAR, deberá inmediatamente a su casillero para realizar el cambio de ropa. Antes de retirarse de las funciones e ir a la calle o su casa, darse un baño con mucha agua y jabón.
- No salir de la planta con la ropa de trabajo ya que puede estar contaminadas con microorganismos patógenos.
- Se deberá limpiar el equipo de protección personal una vez utilizado, para que lo use posteriormente en condiciones óptimas de higiene, conservarse limpio y en buen estado.
- Mantener las manos, unas y pies bien limpios ya que las mismas son portadores de gérmenes.
- No andar descalzo dentro de la planta y en zonas de aguas usar botas de hule bien altas y contra la humedad.
- Ante cualquier incidente o accidente, atender inmediatamente y en caso de tener heridas o alguna magulladura en su cuerpo tener cuidado con el contacto con las aguas residuales.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

1. Mediante el análisis de variables en campo y laboratorio obtenidas a partir de una planta piloto, se determinó los parámetros operativos más eficientes que permitirán optimizar el tiempo de arranque y estabilización del biorreactor en la PTAR Sistemas Lloa- San José.
2. El análisis de las características físicas, químicas y biológicas del afluente demostró que, presenta altos contenidos de DBO, DQO, grasas y aceites además de tensoactivos en la primera caracterización, incumpliendo con la normativa ambiental vigente.
3. Se diseñó una planta piloto de agua residuales mediante tratamiento biológico compuesto por biorreactor y clarificador, para un proceso de lodos activados con aeración extendida a partir de parámetros de construcción de la PTAR Sistema Lloa- San José.
4. Los caudales de recirculación y purga calculados fueron de $0,033 \text{ m}^3/\text{d}$ y $0,0003 \text{ m}^3/\text{d}$ respectivamente.
5. El Tiempo de Retención Celular (TRC) osciló entre un intervalo de 20-50 días, mientras que el Tiempo de Retención Hidráulico fue de 24 horas, parámetros que se encuentran dentro de los sugeridos en el tratamiento de lodos activados por aireación extendida para una operación y eficiencia óptima.

6. De acuerdo al análisis final realizado al efluente se corroboró que, el tratamiento de lodos activados mediante aireación extendida es idóneo para tratar las aguas residuales provenientes de Lloa; ya que, al finalizar el tratamiento, las concentraciones de los distintos parámetros como DBO, DQO, Grasas y Aceites, disminuyeron considerablemente en comparación con la primera caracterización, logrando una eficiencia de remoción del 98% del DBO y 96% del DQO, cumpliendo con la normativa ambiental TULSMA, referida en el libro VI anexo I. Tabla 9, con relación a “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”, no obstante los tensoactivos pese a su remoción no cumplieron con la normativa, por lo que debe incluirse un tratamiento terciario.

7. La relación DBO/DQO tiene un valor de 2,1 mg/l, demostrando que se puede inferir el valor de la DBO a través de la DQO, ahorrando el tiempo de espera en el análisis.

8. La relación Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles (SST/SSV) obtenida en el estudio es de 0,98, lo cual indica que para esta PTAR se puede utilizar cualquiera de los 2 parámetros como indicadores de microorganismos presentes en el sistema.

9. Se realizó una propuesta de mejoras en el sistema, a fin de mantener una eficiencia enfocada al cumplimiento de los parámetros establecidos en la legislación ambiental vigente.

10. Se diseñó un programa de acciones para la producción más limpia con la finalidad de garantizar una gestión ambiental y seguridad e higiene en los trabajadores con relación al manejo integrado del tratamiento de aguas residuales del sistema Lloa-San José.

RECOMENDACIONES

1. Diseñar un plan de monitoreo semestral continuo en el afluente y efluente para un mayor conocimiento de las características del agua residual a la entrada y salida de la PTAR.
2. Realizar un estudio de identificación del tipo de bacteria para determinar las condiciones óptimas de desarrollo de este microorganismo y tener una mayor remoción de la materia orgánica contaminante.
3. Incluir un tratamiento terciario para una mayor eficiencia y remoción de los tensoactivos, ya que es el único parámetro que no cumplió con lo establecido por la normativa ambiental vigente, pese a que si hubo una remoción considerable.
4. Sensibilizar a la población de la parroquia Lloa con programas de gestión ambiental para evitar la generación de todo tipo de desechos sólidos en el sistema de alcantarillado.
5. Dar un seguimiento por parte del ente encargado de la PTAR una vez que la misma inicie su proceso de operación, de tal manera que se pueda verificar que las relaciones de los parámetros obtenidos en el estudio de la planta piloto estén de acuerdo a la realidad de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, J. A., & Granda Perea, F. (2013). *Evaluación comparativa en una planta escala piloto de lodos Activados de Aireación Prolongada en el Tratamiento de Lixiviado de Relleno Sanitario Municipal diluido con agua Residual*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Lima, Peru. Recuperado el 24 de septiembre de 2017
- Acosta, I. (20 de febrero de 2009). *Operar equipo y materiales de laboratorio clínico*. Recuperado el 2017 de noviembre de 2017, de <https://www.blogger.com/profile/1676007471942252728>
- Acuicultura . (13 de enero de 2018). *consideraciones-acuicolas.webnode.com.co*. Recuperado 5 de febrero de 2018, de consideraciones-acuicolas2.webnode.com.co: <https://consideraciones-acuicolas2.webnode.com.co/products/recurso-agua-en-acuicultura/>
- Aguas del Mare Nostrum. (23 de junio de 2016). *www.tratamientosdelaguaydepuracion.es*. Recuperado el noviembre de 2017, de www.tratamientosdelaguaydepuracion.es: <http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/pretratamientos-aguas-residuales.html>
- Albistegui, E. G. (2016). *Tensión superficial de los líquidos. Tensioactivos*. Universidad de Valencia , Botánica, Valencia. Recuperado el 2 de abril de 2017, de www.botanical-online.com
- Amaya , W., Cañon, Ó., & Áviles , O. (2004). Control de pH para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales . *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 4-5.
- Amundarain, M. (2010). *Evaluación De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales de un conjunto residencial*. Tesis, Universidad De Oriente, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Departamento Química, Puerto La Cruz. Recuperado el 3 de octubre de 2017, de www.ri.biblioteca.udo.edu.ve
- APHA, AWWA, APLF. (1992). *Métodos normalizados para análisis de aguas y aguas residuales 17 edition*. New York: American Public Health Association Enc.
- Arce, A., Calderón , C., & Tomasini, A. (2002). *Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales., México D.F - México.,, s.f.,. DF México, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. Recuperado el 12 de octubre de 2017.
- Arellano, M., Castro, W., Díaz, M., & Herrera, F. (2010). *Diagnóstico de la Información Estadística del Agua*. Quito: ECUADOR-CEPAL. Obtenido de CEPAL.

- Argudo, M. A. (2017). *Evaluación de riesgos ambientales*. Informativo, Universidad de Valencia , Ingeniería ambiental, Valencia. Recuperado el 14 de diciembre de 2017, de <http://www.cma.gva.es>
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador: Registro Oficial 449*. Montecristi.
- Astudillo, D., & Rikeros, A. (2015). “*Diseño Del Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Cantón Durán*”. Tesis, Escuela Superior Politécnica Del Litoral , Facultad de Ingenierías en ciencias de la Tierra. , Guayaquil. Ecuador. Recuperado el 8 de marzo de 2017, de <https://www.dspace.espol.edu.ec>
- Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito. (23 de Agosto de 2010). www.usfq.edu.ec. Recuperado el 27 de Febrero de 2017, de www.usfq.edu.ec: http://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/recursos_naturales/Documents/DC1AC1_El_agua_en_el_DMQ.pdf
- Ayala, R., Bernal, S., Carrasco, J., & Ortega, M. (junio-agosto de 2015). Evaluación de la relación de adsorción de sodio de las aguas de la red hidrográfica del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6 (5). Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500006
- Barragán, M. a. (2017). “*Sistema De Monitoreo De Variables En Un Biorreactor Para La Producción De Enzimas Humanas*”. Facultad de ingeniería , Iniversidad Javeriana, Bogota. Recuperado el 5 de agosto de 2017, de <https://repository.javeriana.edu.co>
- Becerril, J. (s/n de s/n de 2012). Optimización de metodologías analíticas para la determinación de contaminantes emergentes en aguas de abastecimiento y residuales. Universidad de Santiago de Compostela. Recuperado el 22 de octubre de 2017, de <http://minerva.usc.es/handle/10347/6>
- Beltran, J. (8 de noviembre de 2011). *contaminaciondelagua-riosylagos.blogspot.com*. Recuperado el 4 de noviembre de 2017, de contaminaciondelagua-riosylagos.blogspot.com: <http://contaminaciondelagua-riosylagos.blogspot.com/2011/11/>
- Brenes, G., & Mora, J. (8 de Marzo de 2007). Evaluación y Clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. *Tecnología en Marcha*, 20-4-2007, 1-9. Recuperado el 12 de Agosto de 2017, de <https://scholar.google.es/>
- Bueno, J., Sastre, H., & Lavin , G. (1997). *Contaminación e Ingeniería Ambiental: Contaminación de aguas*. Oviedo: FICYT.
- Builes, J., & García, R. (2016). Estudio Y Diseño De Una Red De Alcantarillado Sanitario Paramitigar El Impacto Ambiental Y Social Que Genera Elvertimiento De Las Aguas

- Residuales, En El Barrio Nazaret Delmunicipio De Maicao - Departamento De La Guajira. Recuperado el 12 de octubre de 2017
- Castro, L. (1998). *Parámetros Físico-Químicos en el Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lagunas de Estabilización*. Lima: DTIAPA.
- CEC. (2012). *Código ecuatoriano de la construcción C10.07-601*. Quito. Recuperado el 13 de diciembre de 2017
- CELEC. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental Definitivo para la Construcción de la Subestación El Inga*. Informe, GREENLEAF AMBIENTAL COMPANY Cia. Ltda, Electricidad, Ecuador. Recuperado el 3 de NOVIEMBRE de 2017, de <https://www.celec.gob.ec>
- Centeno, E., & Rodríguez, D. (Ingeniería de 2017). Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales ordinarias por medio de un filtro percolador con relleno de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) como postratamiento de un efluente de sedimentador primario. 28(1), 60-79. Recuperado el 7 de enero de 2018, de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/30931>
- CEPAL. (2014). *Diagnóstico de las Estadísticas del Agua en Ecuador*. Quito .
- Cerezo, J. (2011). *Estación depuradora de aguas residuales*. Barcelona. Recuperado el 12 de noviembre de 2017, de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:gdtpuFDm04cJ:https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12885/PFC.pdf+&cd=5&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Charpentier, J. (2014). *Tratamiento de Aguas Residuales con Lodos Activados*. España: INTI. Recuperado el 24 de octubre de 2017
- Cisterna, P., & Peña, D. (2004). *Determinación de la relación DQO/DBO₅ en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Santiago de Chile: Tec. Fed. Sta María .
- Clubensayos. (26 de marzo de 2014). *www.clubensayos.com*. Obtenido de [www.clubensayos.com](https://www.clubensayos.com/Ciencia/importancia-del-oxigeno-disuelto-en-el-agua/1571889.html): <https://www.clubensayos.com/Ciencia/importancia-del-oxigeno-disuelto-en-el-agua/1571889.html>
- Collazos, C. (2016). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas e Industriales . Variaciones del proceso de lodos activados y sus aplicaciones (pág. 37)*. Colombia : Universidad Nacional de Colombia .
- Comisión Nacional del Agua México. (2014). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México: SEMARNAT.
- Contreras, E. M. (2001). *Análisis de las variables que afectan el desarrollo de microorganismos filamentosos en sistemas de barros activados para el tratamiento de efluentes de la*

- industria alimenticia*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata,, Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Ingeniería Química, Buenos Aires. Recuperado el 2 de junio de 2017, de <http://sedici.unlp.edu.ar/>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. McGraw-Hill.
- Cubillos, A. (2012). *Parámetros y Características de las Aguas Residuales*. Lima: CIDIAT.
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (enero-junio de 2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. 78-97. Recuperado el 12 de octubre de 2017, de <http://www.redalyc.org/html/401/40123894005/>
- ECOOSFERA. (4 de junio de 2014). *ecoosfera.com/*. Obtenido de *ecoosfera.com/*: <http://ecoosfera.com/2014/06/como-reusar-aguas-grises-en-tu-casa-y-jardin/>
- Elorriaga, Y., Marino, D., Carriquiriborde, P., & Ronco. (2012). *Contaminantes Emergentes: Productos farmacéuticos en el medio ambiente*. La Plata: VII Congreso de medio Ambiente. La Plata, Argentina. Recuperado el 13 de octubre de 2017, de <http://congresos.unlp.edu.ar/index.php/CC>
- EPMAPS. (2013). *Diseño De La Planta de tratamiento de las aguas Residuales y descarga del centro poblado de Lloa*. Quito: Agua Quito. Recuperado el 27 de noviembre de 2017
- Espigares, M., & Pérez, J. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada: Servicios de Publicaciones Granada.
- Espigares, M., & Pérez, J. (2000). Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Espinel, E. (Martes de Febrero de 2011). *Parroquia LLoa- Blogspot*. Recuperado el 3 de Julio de 2017, de <https://www.blogger.com/profile/03550151994520487328>
- Espinosa Rodríguez, M. A., Flores Álamo, N., Esparza Soto, M., & Fall, C. (Agosto de 2012). Efecto de la temperatura en la tasa de crecimiento y decaimiento heterotrófico en el rango de 20-32°C en un proceso de lodos activados. *Revista mexicana de ingeniería química*, 11(2), 23. Recuperado el 25 de Agosto de 2017, de <http://www.scielo.org.mx>
- Espinoza, A., Enríquez, D., & Masapanta, M. (2014). *Evaluación del Agua en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Iberoamericana. Recuperado el 26 de noviembre de 2017
- García, M. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. *Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones*, 1-4.

- Gavilares, P., Arrellano, M., Vaca, E., Naranjo, S., & Estrella, D. (2012). *Descripción Parroquia Lloa*. Quito: PARASCAL. Recuperado el 23 de julio de 2017
- Giraldo, F., & Restrepo, I. (8 de Mayo de 2003). *Arranque y operación de un reactor experimental de Lodos Activados para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas*. Obtenido de Repositorio UNAL COLOMBIA:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/977/1/luisfernandogiraldov.isabelcristinarestrepom.2003.pdf>
- Glynn, H., & Heinke, G. (2010). *Ingeniería ambiental Segunda Edición*. México: Pearson.
- Gobierno de Pichincha. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Lloa*. Quito: PichinchaGob. Recuperado el 24 de noviembre de 2017, de
http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768124270001_DIAGNOSTICO_LLOA_240615_24-06-2015_18-59-47.pdf
- Gómez, J. L., Cuevas Domínguez, J., González Bucio, J., Ávila, J., & Carrión Jiménez, J. (2007). Análisis del Reactor de Lodos Activados de la Planta Centenario. *Caos Conciencia*, 1(63-71), 9. Recuperado el 25 de agosto de 2017, de <http://dci.uqroo.mx>
- González, C. (2017). *Evaluación de Soluciones Nutritivas Steiner Elaboradas con Efluentes Residuales en el Cultivo del Rábano*. Saltillo. Recuperado el 12 de octubre de 2017, de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bRLwgm7MESEJ:repositorio.uaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8403/64527%2520GONZ%25C3%2581LEZ%2520MOCTEZUMA%252C%2520CANDELARIO.pdf%3Fsequence%3D1+&cd=5&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Hazenand, S. (2014). Programa de Saneamiento Ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito (PSA). *Estudios de Actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ*, 13-20. Recuperado el 23 de noviembre de 2017
- Hernández, A. (2012). *Depuración de Aguas Residuales* (Amazon ed., Vol. 2). Madrid, España, España. Recuperado el 3 de Junio de 2017
- Iagua. (9 de noviembre de 2015). www.iagua.es. Recuperado el 25 de noviembre de 2017, de [www.iagua.es: https://www.iagua.es/blogs/cristina-assenjo-lopez/tratamiento-aguas-grises](https://www.iagua.es/blogs/cristina-assenjo-lopez/tratamiento-aguas-grises)
- INEC, I. N. (2016). *Estadística De Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados*. Informativo, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito. Recuperado el 12 de octubre de 2017, de www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEN. (1998). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 176:1998*. Quito.
- Ingeniera Quimica.org. (6 de abril de 2012). webcache.googleusercontent.com. Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de webcache.googleusercontent.com:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rIesfr0zvxAJ:www.ingenieriaquimica.org/articulos/introduccion-tratamiento-aguas-residuales+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

- INSHT. (2011). *Evaluacion de Riesgos Laborales*. Instituto Nacional de Seguridad Higiene del Trabajo , Seguridad e Higiene, Madrid. Recuperado el 9 de abril de 2016
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. Aguas Calientes: INEGI.
- INVEMAR. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físicos químicos y contaminantes marinos*. San Martha, Colombia: Cargraphics - Impresión Digital. Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>
- Jaimes Hernandez, L. M., & Gómez Gualdrón, F. (2010). *Comparacion del coeficiente de permeabilidad obtenida en el laboratorio con el calculado a partir de las formulas de Hallen Hazen par aalas arenas de rios*. Bugaramanga. Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/965/digital_18469.pdf?sequence=1
- Jimenez, C. (2013). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 2 de noviembre de 2017, de http://www.academia.edu/5868256/Diseno_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales_act_10.
- Jimenez, D. (2016). *Tratamientos terciarios*. Recuperado el 23 de octubre de 2017, de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/material-clase/MC-F-217.pdf>
- Kayser, R. (1999). *"Activated Sludge Process" Biotechnology Set: 253-283*. Minesota: ASD.
- Lenntech. (20 de Febrero de 2009). *Lenntech Water Treatment Solutions*. Recuperado el 03 de Agosto de 2017, de <http://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>
- Liendo, O. (2016). *Abastecimiento de agua y Tratamiento*. Armeria: Ingeniería Sin Fronteras. Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4A6-PhY8UiYJ:https://issuu.com/osmardavidliendocruz/docs/abastecimiento_de_agua_y_saneamient+&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec
- Mara, D. (1985). *Bacteriology for sanitary engineers*,. Livingston: Edinburgh.
- Marín, A., & Osés, M. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados* . México: Jalisco.

- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243. Recuperado el 26 de octubre de 2017, de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2CXVQUR-desJ:publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/download/946/850/+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Mata, K. P. (2010). *Evaluación de la planta de tratamiento de Aguas residuales de un conjunto residencial*. Tesis, Ingeniería Química, Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas, Barcelona. Recuperado El 12 De Noviembre de 2017, de <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve>
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. tratamiento, vertidos y reutilización* (Tercera ed., Vol. I). Madrid, Aravaca, España. Recuperado el 20 de agosto de 2017, de <https://es.scribd.com>
- Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Vol I & II. 3ra. Edición*. Madrid: McGraw-Hill. Recuperado el 25 de noviembre de 2017
- Moeller. (2015). *MICROBIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS*. Mexico. Recuperado el 23 de noviembre de 2017
- Muñoz, A. (2012). *Caracterización y Tratamiento de Aguas Residuales*. México: UAEH.
- Muñoz, D. (2012). Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Matadero: Para Una Población Menor 2000 Habitantes. 3(1), 231-246. Recuperado el 23 de octubre de 2017, de <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Tratamientoaguas2000h.pdf>
- Nalco. (2016). *Manual de agua, naturaleza, tratamiento y aplicaciones: Tomo I*. México: McGraw-Hill. Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de <https://www.freelibros.org/ingenieria-ambiental/manual-del-agua-su-naturaleza-tratamiento-y-aplicaciones-tomo-i-nalco.html>
- Ocampo, A., & Pérez, O. (2013). *Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activados* (Vol. Tomo 1). Jalisco, México: CEA. Recuperado el 13 de noviembre de 2017
- OEFA. (4 de Agosto de 2017). *Aguas Residuales*. Obtenido de http://www.brochure_aguas_residuales.pdf.com
- Olivos, O. (16 de Febrero de 2010). *Universidad Alas Peruanas*. Obtenido de <http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102BT240224E10240108011/20102BT240224E1024010801117880.pdf>
- ONU. (2017). *unesdoc.unesco.org*. Recuperado el 21 de diciembre de 2017, de unesdoc.unesco.org: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Agua, saneamiento e higiene para acelerar y sostener el progreso respecto de las enfermedades tropicales desatendidas*. Londres. Recuperado

- el 22 de octubre de 2017, de
http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/wash-and-ntd-strategy/es/
- Orozco, Á. (2005). Colombia: ACODAL. Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0TzEDM4aFKwJ:biblioteca.udla.edu.ec/client/es_EC/default/search/detailnonmodal/ent:%24002f%24002fSD_ILS%24002f12%24002fSD_ILS:12718/ada%3Fqu%3DTRATAMIENTO%26ic%3Dtrue%26te%3DILS%26ps%3D300+&cd=2&hl=es&c
- Osorio, P. C., & Peña, D. (2014). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menos a 25.000 habitantes en la VIII Región*. Essbío S.A., Jefe Depto. Control de Calidad, Viña del Mar. Recuperado el 9 de Septiembre de 2017, de
<http://www.bvsde.paho.org>
- Pacheco Salazar, V., Jáuregui Rodríguez, B., Pavón Silva, T., & Mejía Pedrero, G. (Mayo de 2003). Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, ISSN 0188-4999*, 19. Recuperado el diciembre de 2017, de
www.redalyc.org/articulo.oa
- Padilla, J. (2012). *Aguas Residuales, generación y tratamiento*. Bogotá, Colombia: LOSSA Ed. Recuperado el 23 de octubre de 2017
- Parra, L. (2006). *Operación de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente*. Manizales-Colombia : UNC-M.
- Perea, S. A., Montaña Grosso, G., & Sigua Tumay, E. (27 de Septiembre de 2013). Reactor Experimental Prototipo de Flujo Continuo y Mezcla Completa para el tratamiento de las aguas residuales. *Innovation in research and engineering education*, 2(345), 7. Recuperado el Septiembre de 2017, de <https://www.acofipapers.org>
- Pérez, M. (1 de Septiembre de 2017). Planta Piloto Lloa. Quito, Pichincha, Ecuador.
- PNUMA. (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*. Suiza: Copyright © Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado el 23 de octubre de 2017, de
https://web.unep.org/greeneconomy/sites/unep.org.greeneconomy/files/field/image/ger_sp_anish.pdf
- Puente, P. (2013). *Diseño y dimensionamiento de plantas de tratamiento convencional de aguas residuales con utilización de software libre. Aplicativo: programa que diseña y dimensiona una planta de tratamiento convencional de aguas residuales industriales a partir de la car*. Tesis, Ibarra. Recuperado el 28 de octubre de 2017, de
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1020>

- Pulido, S., Miranda, V., Guzman, M., & Molano, E. (10 de Abril de 2012). *Origen y Características de las Aguas Residuales*. Recuperado el 8 de Febrero de 2017, de <https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>
- Quiroga, J. A., & Varila Quiroga, J. (14 de Febrero de 2010). Tratamiento de aguas residuales mediantelodos activados a escala de laboratorio. *Journal of Technology*, 7(2), 21-28. Recuperado el 15 de Julio de 2017, de <http://m.uelbosque.edu.co>
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: Reverté S.A.
- Ramalho, R. S. (1996). *Introduction to Wastewater Treatment Processes*. Academic Press, Ciencias Químicas, USA. Recuperado el 23 de Septiembre de 2017, de <http://www.sidalc.net>
- Ramos, R., Marqués, R., & Villalobos, F. (2002). *El agua en el medio ambiente- Muestras y análisis*. Mexicali, Baja California : Plaza y Valdes.
- Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2003). México: Plaza Valdes. Recuperado el 23 de noviembre de 2017
- Rodriguez, H. (marzo de 2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. *Agualia*, 8(12). Recuperado el 23 de octubre de 2017
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales- Teoría y principios de diseño- Primera Edición*. Santafé de Bogota: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado el 26 de octubre de 2017
- Rosales, E. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales Mexicanas*. Tecnológico de tratamiento de aguas residuales. Mérida: Prisma. Recuperado el 23 de octubre de 2017
- Sánchez, D. (12 de mayo de 2016). *blog.uclm.es*. Recuperado el 24 de noviembre de 2017, de [blog.uclm.es: http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/12_Calidad-agua-r%C3%ADos_v2015_resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/12_Calidad-agua-r%C3%ADos_v2015_resumen.pdf)
- Sandoval, D. P., & Cisneros, V. D. (2012). *Tratamiento de aguas servidas en lagunas de oxidación para una poblacion de 10 000 habitantes*. Tesis, Guayaquil. Recuperado el 22 de octubre de 2017, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5039/1/T203.pdf>
- Santiago Díaz, I. (2017). *Tratamiento y vertido de Aguas Residuales por buques en zonas especiales: Gestión de Lodos Generados Por el proceso*. Cantabria: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA DE CANTABRIA. Recuperado el 26 de noviembre de 2017, de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/10672/Iv%C3%A1n%20Santiago%20D%C3%ADaz.pdf?sequence=1>

- Santambrosio, E., Ortega, M., & Garibaldi, P. (2015). *Demanda Bioquímica de Oxígeno*. Tesis, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Recuperado el 14 de octubre de 2017, de www.frro.utn.edu.ar/
- Sarzosa, A. (2013). *Diagnóstico de Potencialidades de la Parroquia de Lloa y Propuestas de Estrategias de Desarrollo en base a las vocaciones*. Quito: PUCE.
- SENAGUA. (25 de Octubre de 2016). AGUAS RESIDUALES EN ECUADOR .
- Seoanez, M. (2001). *Tratado de Gestión del Medio Ambiente Urbano*. Barcelona: Mundi Prensa. Recuperado el 25 de noviembre de 2017
- Skosana, G. G., Hein, H., & Preez, d. (Julio de 2017). Assessment of the Viability of the Reuse of Sedibeng District Municipal Secondary Effluent in Southern Gauteng, South Africa. *Scientific Reserch, An Academic Publisher*, 9(8), 19. Recuperado el 18 de Diciembre de 2017, de <http://www.scirp.org>
- Soza, L. M. (2010). *Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa*. Tesis, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Ingeniería Química (DEQ) , Barcelona. Recuperado el 11 de octubre de 2017, de <http://upcommons.upc.edu>
- Tchobanoglous, C. (2016). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos y descentralizados*. (Vol. 23). Medellín, Colombia. Recuperado el 28 de octubre de 2017, de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/interesantes/tratamientosresiduales/tratamientosresiduales.html>
- Torres, C. A., & Avilá Malaver, D. (2015). *Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales de un campus Universitario*. Tesis de Grado, Universidad de Santo Tomás , Ingeniería Civil, Bogotá. Recuperado el 15 de diciembre de 2017, de [repository. usta.edu.com](http://repository.usta.edu.com)
- Tratamiento del agua . (5 de mayo de 2016). www.tratamientodelagua.com.mx. Recuperado 25 de noviembre de 2017, de www.tratamientodelagua.com.mx: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/que-es-un-tanque-imhoff/>
- TULSMA. (2015). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:Recurso Agua; Anexo 1, Tabla 9*. Quito: Lexis.
- TULSMA. (2017). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:Recurso Agua*. Quito: Lexis.
- UNESCO. (2017). *Presentación pública del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. Durban. Recuperado el 23 de octubre de 2017, de <https://es.unesco.org/news/son-aguas-residuales-nuevo-oro-negro>

- United States Environmental Protection Agency. (2007). *Folleto Informativos de Tecnología de Aguas Residuales de la EPA: Zanja de oxidación. Parte 1*. USA: EPA.
- UPC- Ing Ambiental y Sanitaria. (23 de Julio de 2017). *Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activados*. Obtenido de <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Sistemadetratamiento.pdf>
- Valencia. (2013). "*Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales cabecera parroquial de San Luis – provincia de Chimborazo*". San Luis: Universidad de Chimborazo. Recuperado el 12 de octubre de 2017, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>
- Valencia, A. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la cabecera Parroquial de San Luis*. Tesis, Riobamba. Recuperado el 23 de octubre de 2017, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>
- Vargas, C. (1996). "*Lagunas de Estabilización*" teoría, diseño, construcción, operación, evaluación y mantenimiento" . República Federal de Alemania : CEPIS.
- Villafranca, L. M. (2011). *Estudio de la población de bacterias nitrificantes y su relación con los parámetros físico-químicos, biológicos y operacionales en una EDAR con sistema convencional de Fangos Activos*. tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Valencia. Recuperado el 12 de septiembre de 2017, de <https://riunet.upv.es>
- Vite, L. (julio de 2014). Características de los líquidos. *Universidad Autónoma del estado de Hidalgo*. Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de www.uaeh.edu.mx: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n4/m14.html>
- Von Sperling, M. (16 de Octubre de 2009). Biological Nitrogen and COD Removal of Nutrient-Rich. *J. Water Resource and Protection*, 1(376-380), 17. Recuperado el 3 de Noviembre de 2017, de <http://www.scirp.org/>
- Wanner, J. (2004). *Activated sludge bulking and foaming control* (Vol. 3). Boca Raton, New York, Washinton. EEUU: Lewis Publishers. Recuperado el 5 de Agosto de 2017, de www.crcpress.com

ANEXOS